ЭЛЕКТРИЧЕСТВО
И ЕГО
ПРИМѢНЕНІЯ.

Проф. **Л. Греца.**

Авторизированный переводъ съ 16-го дополненнаго нѣмецкаго изданія: Dr L. Graetz, «Die Elektrizität und ihre Anwendungen»

подъ редакціей **В. К. Лебединскаго.**

Третье русское изданіе.

5 р.

Съ 667 рисунками въ текстѣ.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Изданіе К. Л. РИККЕРА.
Невскій пр., 14.
1913.

Типографія Шредера. Гороховая, 49.

Оглавленіе.

Стр.
Введеніе . . . . . XIII—XV
Предисловіе къ третьему русскому изданію. . . . . XVI—XVIII

ПЕРВЫЙ ОТДѢЛЪ.

Способы проявленія электричества и его дѣйствія. . 1—426

I-я глава. **Электричество отъ тренія.** . . . . . 1—48

Основныя явленія. Притяженіе и отталкиваніе. Положительное и отрицательное электричество. Изоляторы и проводники. Электроскопъ. Количество электричества. Законъ Кулона. Единица количества электричества. Діэлектрики. Электрическая машина. Равновѣсіе электричества. Распредѣленіе электричества на проводникѣ. Электроны. Разность напряженій. Напряженіе. Единица напряженія. Емкость. Измѣрители напряженій Экснера, Брауна. Электрическая энергія. Плотность. Острія. Электризація черезъ вліяніе. Измѣненіе емкости вслѣдствіе индукціи. Конденсаторъ. Діэлектрическія постоянныя Лейденскія банки. Соединеніе ихъ. Перемѣнные конденсаторы. Машина водяная. Машина Вимшерста. Машина сильнаго тока Явленія разряда. Мультипликаторъ. Квадрантный электрометръ Долезалека. Градуировка его. Измѣреніе емкости. Электроны. Дѣйствіе на разстояніи и дѣйствіе черезъ среду. Максуеллевская теорія. Діэлектрическая постоянная и показатель преломленія.

II-я глава. **Электричество при соприкосновеніи. Электрическій токъ** . . . . . 49—65

Открытіе Гальвани. Работы Вольты. Разность напряженій. Вольтовъ элементъ. Электрическая раздѣлительная сила. Электродвижущая сила. Проводники перваго и второго рода. Гальваническіе элементы. Элементъ Даніэля, Крюгера. Элементы Бунзена, Лекланше. Элементъ угольный, С. и Г. Сухіе элементы. Сухой столбъ. Электрическій токъ. Гальваноскопъ.

III-я глава. **Законы электрическаго тока** . . . . . 65—83

Сила тока. Единица ея. Измѣреніе ея. Электродвижущая сила. Сопротивленіе. Законъ Ома. Единица сопротивленія. Включеніе элементовъ. Распредѣленіе напряженія. Потеря напряженія. Развѣтвленіе тока. Мостикъ. Компенсаціонное включеніе.

IV-я глава. **Электрическіе приборы и измѣренія**. . . . . 83—121

Гальваноскопъ. Размыкатель. Коммутаторъ. Таблицы удѣльныхъ сопротивленій. Коэффиціенты сопротивленій. Металлы, жидкости, изоляторы. Селеновый пріемникъ. Нормальный омъ. Реостаты съ передвижными контактами. Реостаты для сильныхъ токовъ. Измѣреніе сопротивленія проводовъ помощью витстонова моста. Устройство его при универсальномъ гальванометрѣ. Сопротивленіе жидкостей. Универсальный мостикъ. Электроды въ жидкости. Томсоновскій мостъ для весьма малыхъ сопротивленій. Нормальные элементы. Измѣреніе электродвижущихъ силъ. Вольтметръ. Измѣреніе напряженія у зажимовъ. Универсальный гальванометръ. Измѣреніе силы тока. Компенсаціонная схема. Компенсаціонные аппараты.

V-я глава. **Тепловыя и свѣтовыя дѣйствія электрическаго тока. Термоэлектричество**. . . . . 121—143

Нагрѣваніе при помощи тока. Джоулевъ законъ. Раскаленіе проводовъ. Лампы накаливанія. Ламповый реостатъ. Электрическій эффектъ. Мѣра его. Вольтова дуга. Ртутная лампа. Явленіе Пельтье. Термотоки. Термоэлектрическій рядъ. Величина термоэлектрической силы. Термостолбикъ. Примѣненіе его для измѣренія температуръ. Термоэлектрическій пирометръ. Пирометрическія измѣренія. Элементъ Гюльхера. Тепло и электричество.

VI-я глава. **Химическія дѣйствія тока. Электролизъ. Поляризаціонные токи** . . . . . 143—175

Электролизъ. Вторичные процессы. Реагентная бумага. Теорія Клаузіуса-Арреніуса. Передвиженіе іоновъ. Законы Фарадея. Вольтаметръ. Измѣреніе силы тока. Вольтаметры съ гремучимъ газомъ. Водяной вольтаметръ. Мѣдный и серебряный вольтаметръ. Іоны и электроны. Количество электричества, связанное съ однимъ эквивалентомъ. Элементарное количество электричества. Электролизъ въ гальваническихъ элементахъ. Теплота химической реакціи и электродвижущая сила. Осмотическое давленіе и давленіе растворенія. Объясненіе возбужденія электричества въ гальваническомъ элементѣ. Поляризація. Поляризаціонный токъ. Аккумуляторы. Эдисоновскіе аккумуляторы. Зарядка аккумуляторовъ отъ центральной станціи. Высоковольтныя батареи. Отсутствіе поляризаціи при перемѣнномъ токѣ. Сопротивленіе при переходѣ. Алюминіевый клапанъ.

VII-я глава. **Магнитныя дѣйствія электрическаго тока** . . . . . 175—225

Магнитная сила. Земной магнитизмъ. Горизонтальная составляющая. Магнитный моментъ. Магнитное поле. Магнитная индукція. Постоянные и временные магниты. Электромагниты. Полукольцевой электромагнитъ. Висмутовы спирали. Магнитныя силовыя линіи. Задерживательная сила. Выдѣленіе тепла при перемагничиваніи. Гистерезисъ. Магнитныя силы вокругъ тока. Число силовыхъ линій. Магнитная проницаемость. Законъ Ома для магнитизма. Магнитные вѣсы. Вращающія силы между магнитомъ и токомъ. Законъ Біо-Савара. Электромагнитная единица силы тока. Соленоиды. Дѣйствіе соленоидовъ. Вращающіеся контуры, обтекаемые токомъ. Дѣйствіе земного поля. Вращеніе токовъ вокругъ магнитовъ и магнитовъ вокругъ токовъ. Правило лѣвой руки. Молоточекъ Нэфа. Электрическій звонокъ. Включеніе его Приборы для измѣренія силы тока. Гальванометры для сильныхъ токовъ. Гальванометръ для точныхъ измѣреній. Гальванометръ для слабыхъ токовъ. Депрэ-гальванометръ Эдельмана, Сименса и Гальске, Гартмана и Брауна. Мультипликаторы. Видемановскій зеркальный гальванометръ. Успокоеніе. Астазированіе. Панцырный гальванометръ. Баллистическій гальванометръ. Измѣреніе емкости и діэлектрической постоянной помощью гальванометра. Струнный гальванометръ.

VIII-я глава. **Дѣйствіе электрическихъ токовъ другъ на друга (электродинамика)** . . . . . 225—235

Изслѣдованія Ампера. Параллельные токи. Астатическіе контуры. Скрещенные токи. Соленоиды. Вращеніе токовъ. Электродинамометръ Кольрауша. Связь между электричествомъ и магнитизмомъ. Магнитные молекулярные токи. Объясненіе магнитныхъ явленій съ точки зрѣнія молекулярныхъ токовъ. Сведеніе электромагнитныхъ явленій къ электродинамическимъ.

IX-я глава. **Индукція** . . . . . 235—272

Изслѣдованія Фарадея. Индукція вслѣдствіе замыканія и размыканія первичнаго тока. Примѣненіе молоточка Нэфа. Индукція вслѣдствіе удаленія и приближенія первичнаго тока. Магнитоиндукція. Законъ Ленца. Правило правой руки. Электродвижущая сила индуктированныхъ токовъ. Пересѣченіе силовыхъ линій. Измѣреніе числа силовыхъ линій помощью индукціи. Правило Максуелля. Магнитъ и проволочная катушка. Непрерывное возбужденіе индуктированныхъ токовъ. Перемѣнные токи. Магнитоэлектрическая машина. Телефонъ. Дискъ Араго. Токи Фуко. Успокоеніе. Экстратоки. Самоиндукція Единица коэффиціента самоиндукціи. Эталоны самоиндукціи. Безъиндукціонныя катушки. Реактивныя катушки. Искра размыканія. Индукціонные приборы. Конденсаторъ. Перемѣнныя емкость и самоиндукція. Молоточный прерыватель. Турбинный прерыватель. Ротаціонный прерыватель. Прерыватели Венельта и Симона. Явленія при высокомъ напряженіи. Предѣльная длина искры.

X-я глава. **Перемѣнные и многофазные токи** . . . . . 273—304

Полученіе перемѣнныхъ токовъ. Перемѣнное напряженіе. Перемѣнная сила тока. Измѣреніе эффективной силы перемѣннаго тока. Точный амперметръ перемѣннаго тока. Измѣреніе эффективнаго напряженія. Точный вольтметръ перемѣннаго тока. Кажущееся увеличеніе сопротивленія. Индуктивныя и безъиндукціонныя сопротивленія. Реактивныя катушки. Измѣреніе коэффиціента самоиндукціи. Зуммеръ. Машина высокой частоты. Сложеніе двухъ перемѣнныхъ токовъ. Фаза. Сдвигъ фазы. Сдвигъ по фазѣ между токомъ и напряженіемъ. Мощность перемѣннаго тока. Безваттный токъ. Точный ваттметръ. Коэффиціентъ мощности. Его измѣреніе. Осциллографъ. Частотомѣръ Гартмана и Брауна. Конденсаторы въ цѣпи перемѣннаго тока. Емкость и самоиндукція при перемѣнномъ токѣ. Многофазный токъ. Магнитное вращающееся поле. Индукціонные моторы. Соединеніе многофазныхъ токовъ.

XI-я глава. **Электрическія колебанія.** . . . . . 305—336

Электрическая искра. Разрядъ конденсатора. Электрическія колебанія. Періоды ихъ. Явленія резонанса. Различные случаи связи между колебательными цѣпями. Опыты Зейбта. Самоиндукція при электрическихъ колебаніяхъ. Индукціонныя дѣйствія электрическихъ колебаній. Схема Теслы. Свѣтовыя явленія. Быстрыя колебанія не дѣйствуютъ физіологически. Очень быстрыя колебанія. Опыты Герца. Когереръ. Когереръ и релэ. Скорость распространенія индукціи. Электрическіе лучи. Отраженіе и преломленіе электрическихъ волнъ. Резонансъ при очень быстрыхъ колебаніяхъ. Тѣсная и слабая связь. Вибраторъ Блондло. Измѣреніе длины волны. Приспособленіе Друде.

XII-я глава. **Прохожденіе электричества черезъ газы. Лучи Рентгена** . . . . . 337—376

Электрическая искра. Длина искры и искровой потенціалъ. Гейсслеровы трубки. Слоистость положительнаго свѣченія. Темное пространство. Сіяніе. Гитторфовы и круксовы явленія. Катодные лучи. Ихъ прямолинейное распространеніе. Возбужденіе фосфоресценціи. Тепловое дѣйствіе. Отклоненіе магнитами. Брауновская трубка. Ея примѣненія. Механическія дѣйствія. Отрицательный зарядъ. Опыты Ленарда. Электронная теорія. Удѣльный зарядъ. Каналовы лучи. Анодные лучи. Іонизація при столкновеніи. Объясненіе явленій въ гейсслеровыхъ трубкахъ по электронной теоріи. Катодное паденіе. Венельтовскій катодъ. Лучи Рентгена. Трубка съ фокусомъ. Антикатодъ. Регулировка степени разрѣженія. Фотографическіе опыты. Флуоресцирующіе экраны. Пронизываніе лучами. Криптоскопъ. Измѣритель жесткости. Разряженіе тѣлъ помощью рентгеновскихъ лучей. Превращеніе воздуха въ проводникъ. Механическія движенія, производимыя рентгеновскими лучами. Теорія этихъ лучей. Газіоны. Токъ насыщенія. Подвижность газіоновъ. Іонизація отъ столкновенія.

XIII-я глава. **Лучи Беккереля и радіоактивность** . . . . . 377—399

Три рода лучей у трубокъ съ разрѣженнымъ газомъ. Излученіе урана и торія. Лучи Беккереля. Радіоактивность. Радій, полоній, актиній. Мезоторій. Доказательство его существованія и свойства его. Іонизація воздуха. Фотографическое дѣйствіе. Возбужденіе флуоресценціи. Три рода лучей, α-, β-, γ- лучи. Дальность дѣйствія α-лучей. Ихъ удѣльный зарядъ. Сѣрноцинковый экранъ. Спинтероскопъ. Альфа-частицы суть іоны гелія. Наведенная активность. Эманація. Выдѣленіе тепла радіемъ. Распадъ радія. Превращеніе наведенной активности. Опытъ Рамзая надъ превращеніемъ радія въ гелій. Конечный продуктъ при преобразованіи. Теорія распада атомовъ.

XIV-я глава. **Электричество и свѣтъ** . . . . . 400—416

Воззрѣнія Фарадея. Поляризація свѣта. Николи. Магнитное вращеніе плоскости поляризаціи. Направленіе этого вращенія. Зеемановское явленіе. Колеблющіеся электроны. Объясненіе зеемановскаго триплета. Поляризація линій триплета. Открытое Герцемъ дѣйствіе свѣта на разрядъ. Снятіе отрицательнаго заряда. Фотоэлектрическое дѣйствіе. Фотоэлектрическіе элементы. Элементы съ рубидіемъ.

XV-я глава. **Единицы электрическихъ измѣреній** . . . . . 417—426

Сведеніе всѣхъ измѣреній къ тремъ—длины, времени и массы. Основныя единицы. Абсолютная (C.G.S.) система. Производныя единицы. Механическія величины. Магнитныя единицы. Электромагнитная система. Опредѣленіе ампера, ома, вольта, фарады и генри.

ВТОРОЙ ОТДѢЛЪ.

Приложенія электричества. . . . . . 427—803

I-я глава. **Динамомашины постояннаго тока** . . . . . 427—459

Различные способы полученія тока. Магнитоиндукція. Магнитоэлектрическія машины. Граммовское кольцо. Реакція якоря. Принципъ динамо. Динамомашины. Различные способы включенія динамо. Барабанный якорь Гефнера. Обмотка его. Искры на коллекторѣ. Добавочные полюса. Электродвижущая сила и напряженіе у зажимовъ. Магнитная часть динамо. Зубчатый якорь. Многополюсныя машины. Современное устройство. Пародинамо и турбодинамо. Напряженіе у зажимовъ и сила тока въ зависимости отъ сопротивленія внѣшней цѣпи въ машинахъ съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ, въ шунтовыхъ машинахъ, въ компаундъ-машинахъ. Электрическое полезное дѣйствіе. Регулировка шунтовой динамо. Вольтметръ и амперметръ. Включеніе вольтметра и амперметра.

II-я глава. **Динамомашины перемѣннаго и многофазнаго токовъ.** 460—477

Машины перемѣннаго тока. Ихъ общее устройство. Обмотка волной и петлей. Машина перемѣннаго и многофазнаго токовъ различныхъ фирмъ. Турбодинамо перемѣннаго тока. Реакція якоря. Регулировка напряженія. Амперметры и вольтметры для перемѣннаго тока. Тепловые приборы Гартмана и Брауна. Электростатическій вольтметръ. Ваттметръ. Параллельное включеніе машинъ перемѣннаго тока. Сравненіе динамомашинъ съ элементами.

III-я глава. **Аккумуляторы** . . . . . 478—504

Токи поляризаціи. Вторичные элементы. Элементъ Плантэ. Формовка его. Способъ Фора. Химія свинцоваго аккумулятора. Емкость и полезное дѣйствіе аккумулятора Аккумуляторы Тюдора. Коробчатыя пластины. Запасъ энергіи на килограммъ вѣса. Аккумуляторъ Эдисона. Зарядка аккумуляторовъ шунтовой машиной. Элементный каммутаторъ. Рубильникъ. Переключатель. Включеніе машинъ, аккумуляторовъ и лампъ. Примѣненіе аккумуляторовъ. Буферныя батареи. Вѣтряныя электрическія станціи.

IV-я глава. **Трансформаторы, умформеры и выпрямители** . . . . 505—523

Мощность тока. Выгода высоковольтнаго тока для передачи на большія разстоянія. Трансформація электрической энергіи при перемѣнныхъ токахъ. Параллельное включеніе трансформаторовъ. Трансформаторы съ сердечникомъ и съ оболочкой. Трансформаторы Сименсъ-Шукерта. Масляные трансформаторы. Трансформаторы трехфазнаго тока Сименсъ-Шукерта и В. К. Э. Трансформація постояннаго тока. Умформеръ для превращенія перемѣннаго тока въ постоянный и обратно. Моторъ-динамо. Преобразованіе перемѣннаго тока въ постоянный при помощи выпрямителей. Схема Греца. Ртутный выпрямитель.

V-я глава. **Электрическая дуга** . . . . . 524—556

Полученіе вольтовой дуги. Видъ дуги. Дуги постояннаго и перемѣннаго токовъ. Сила свѣта и яркость. Фотометрія. Фотометръ Луммеръ-Бродгуна. Нормальная лампа Гефнера. Электрическая регулировка разстоянія углей. Электрическія лампы. Лампа Гефнера. Люксъ. Фотометръ Вебера. Электрическая регулировка. Дуговыя лампы. Дуговыя лампы съ регулировкою въ главной цѣпи и съ регулировкою въ отвѣтвленіи. Дифференціальная лампа. Сравненіе способовъ регулировки. Дифференціальная лампа Сименсъ-Шукерта. Шунтовая лампа В. К. Э. Добавочное сопротивленіе. Дуговая лампа продолжительнаго горѣнія. Дуговая лампа для перемѣннаго тока. Лампа В. К. Э. съ моторомъ. Трансформаторы и реактивныя катушки для дуговыхъ лампъ. Эффектные угли. *T. B.* - угли. Пламенныя дуги. Увіолова лампа. Примѣненіе ея для фотографическихъ цѣлей. Кварцева лампа. Муровскій свѣтъ.

VI-я глава. **Электрическое освѣщеніе лампами накаливанія. Электрическія плиты и грѣлки** . . . . . 557—589

Джоулево тепло. Примѣненіе угольныхъ нитей для накаливанія. Выкачиваніе лампочекъ. Лампы Эдисона. Контакты. Патроны. Сила свѣта. Формы лампочекъ. Законы излученія тепла и свѣта. Примѣненіе ихъ при производствѣ экономическихъ лампочекъ. Нернстова лампа. Лампа Нернста для проэкціи. Танталова лампа. Вольфрамова, осрамова лампы. Осрамова лампа большой яркости. Штепселя. Вилки. Выключатели. Групповые, корреспондирующіе выключатели. Короткое замыканіе. Предохранители. Патронные предохранители. Электрическія грѣлки. Сравненіе электрическаго нагрѣванія съ непосредственнымъ. Число ваттъ-часовъ эквивалентныхъ одной калоріи. Вычисленіе сопротивленія. Устройство сопротивленій. Грѣлки. Различныя включенія грѣлокъ. Аппараты «Прометей». Электрическія кухни. Электрическія печи. Нагрѣвательная система Криптоль. Нагрѣваніе и свариваніе вольтовой дугой.

VII-я глава. **Работа при помощи моторовъ** . . . . . 590—616

Обратимость динамомашинъ. Шунтовые моторы. Ихъ особенности. Пусковой реостатъ. Малые двигатели. Моторы съ возбужденіемъ въ главной цѣпи. Большой моментъ сдвига у нихъ въ начальный періодъ. Многофазные двигатели. Пускъ въ ходъ и регулировка ихъ. Встрѣчное включеніе. Двигатели перемѣннаго тока. Объясненіе дѣйствія однофазнаго индукціоннаго двигателя. Однофазные коллекторные двигатели. Примѣненіе электродвигателей къ сельскому хозяйству. Электрическое паханіе. Распредѣленіе работы. Параллельное включеніе.

VIII-я глава. **Электрическая передача работы** . . . . . 617—632

Возможность передачи работы. Различные случаи передачи. Полезное дѣйствіе передачи. Примѣръ. Передача на большія разстоянія. Токи высокаго напряженія. Передача изъ Лауффена на Неккарѣ во Франкфуртъ на Майнѣ. Новѣйшія установки высокаго напряженія. Громоотводы на линіяхъ высокаго напряженія. Рогатый громоотводъ. Распредѣленіе энергіи. Областныя станціи.

IX-я глава. **Распредѣленіе электрической энергіи** . . . . . 633—648

Послѣдовательное включеніе. Параллельное включеніе. Постоянство напряженія у зажимовъ. Кабель. Соединительныя коробки. Счетчикъ ваттъ-часовъ Арона. Счетчикъ Томсона. Счетчикъ Стіа. Двухпроводная система. Трехпроводная система. Дѣлитель напряженія. Распредѣленіе при помощи перемѣнныхъ токовъ съ трансформаторами. Параллельное включеніе трансформаторовъ и потребляющихъ токъ приборовъ. Комбинированная система распредѣленія.

X-я глава. **Электрическіе желѣзныя дороги, лодки и автомобили.** 649—672

Электрическіе трамваи. Подведеніе тока къ рельсамъ. Надземная проводка. Система троллея. Контактный роликъ. Контактная дуга. Моторы съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ. Контроллеръ. Подземная проводка. Электрическій локомотивъ. Сельскохозяйственные подъѣздные пути. Двойной аккумуляторный вагонъ. Поѣзда дальняго слѣдованія. Опыты передвиженій съ большой скоростью. Безрельсовое передвиженіе. Подвѣсная электрическая дорога. Электрическіе автомобили. Электрическія лодки. Электрическая тяга судовъ.

XI-я глава. **Электрохимія** . . . . . 673—695

Электролизъ. Законъ Фарадея. Эквивалентные вѣса. Поляризація. Вольтажъ, необходимый для работы. Уменьшеніе напряженія. Работа окисленія на анодѣ. Плотность тока. Электрометаллургія. Полученіе электролитической мѣди и друг. металловъ. Эльморовскія мѣдныя трубы. Снятіе олова съ луженаго желѣза. Выдѣленіе золота изъ породы по способу Сименса и Гальске. Полученіе алюминія. Полученіе натрія и магнія. Электрическія печи. Опыты Муассана. Карбиды. Карбидъ кальція. Силундумъ. Полученіе электростали. Электрическій способъ бѣленія. Полученіе озона. Озонаторы. Примѣненія озона. Полученіе азотистыхъ соединеній изъ атмосфернаго азота. Печь Биркеланда. Печь Шёнхерра.

XII-я глава. **Гальванопластика** . . . . . 696—705

Гальваностегія и гальванопластика. Устройство ваннъ. Плотность тока и напряженіе. Серебреніе. Покрытіе мѣдью. Золоченіе, никкелировка. Покрытіе сталью. Примѣненіе шунтовыхъ машинъ. Приключеніе гальванопластическихъ ваннъ къ центральнымъ установкамъ. Металлизированіе. Копіи съ клише. Гравировка и инкрустація на металлѣ.

XIII-я глава. **Телеграфія** . . . . . 706—736

Исторія телеграфа. Земля, какъ проводникъ. Аппаратъ Морзе. Ключъ Морзе. Релэ. Поляризованное релэ. Трансляція. Азбука Морзе. Чернопечатающій аппаратъ Юза. Надземная проводка. Подземная проводка. Кабель. Кабельная телеграфія. Замедленіе тока. Токи разряда. Средство ихъ устраненія. Сифонъ-рекордеръ. Болѣе совершенное использованіе проводовъ. Встрѣчная передача. Дифференціальная метода; схема мостика. Искусственный кабель. Многократная передача. Телеграфъ Бодо. Автоматическій телеграфъ. Быстродѣйствующая телеграфія. Телаутографъ Корна.

XIV-я глава. **Телефонъ и микрофонъ** . . . . . 737—771

Принципъ телефона. Особый случай передачи энергіи. Телефонъ Белля. Высота тона, сила тона, оттѣнокъ. Различныя

формы телефоновъ. Микрофонъ. Принципъ его. Приложенія микрофона. Палочные микрофоны. Зернистые микрофоны. Громкоговорящіе микрофоны. Схема включенія телефона, микрофона и электрическаго звонка. Микротелефонъ. Линейный коммутаторъ. Городской телефонъ. Центральная станція. Коммутаторы. Система центральной батареи. Мультиплексъ Микса и Генеста. Система Янусъ. Автоматическое соединеніе Строуджера. Избиратель линіи. Групповой избиратель. Телефоны на дальнее разстояніе. Токи заряда. Катушки Пюпина. Телеграфонъ Паульсена. Поющая вольтова дуга.

XV-я глава. **Телеграфія безъ проводовъ** . . . . . 772—803

Электрическія колебанія. Когереръ. Вибраторъ Риги. Замкнутый и разомкнутый колебательные контуры. Связь между ними. Резонансъ. Антенна. Стоячія волны въ антеннѣ. Непосредственная и индуктивная связь, тѣсная и слабая. Измѣреніе длины волны. Волномѣръ. Измѣненіе длины волны. Магнитный детекторъ Маркони. Электролитическій детекторъ. Термодетекторъ. Контактный детекторъ. Суммирующіе и несуммирующіе детекторы. Резонансъ и разстроенность. Затуханіе. Вліяніе его на резонансныя явленія. Незатухающія колебанія, возбуждаемыя толчкомъ. Система музыкальной искры. Кольцевой искровой промежутокъ. Формы банокъ, соленоидовъ самоиндукціи, антеннъ. Трансформаторъ пріемной станціи. Примѣненіе телеграфіи безъ проводовъ и его результаты. Вліяніе земной поверхности. Телефонія безъ проводовъ. Направляемая телеграфія. Заключеніе.

Указатель. . . . . . 805—815

Введеніе.

Электричество—есть единственная область физическихъ явленій, которая вообще могла стать извѣстной только послѣ длиннаго ряда трудныхъ изслѣдованій. Для изученія всѣхъ остальныхъ явленій природы—чистыхъ движеній, звука, свѣта, теплоты—самою же природою даны намъ и простѣйшія средства—наши органы чувствъ. Мы осязаемъ, мы видимъ, мы слышимъ. Правда, иногда наши чувства обманываютъ насъ, и мы не можемъ всегда непосредственно полагаться на свидѣтельство ихъ въ нашемъ стремленіи добиться надежнаго, вѣрнаго пониманія явленій. Но въ большинствѣ случаевъ наши чувства говорятъ намъ по крайней мѣрѣ, имѣется ли налицо самое явленіе или нѣтъ. Для воспріятія же электрическихъ явленій мы совершенно не имѣемъ этого важнаго для познаванія природы средства.

У насъ нѣтъ «электрическаго чувства». Къ счастью, однако, между свойствами электричества имѣется одно въ высокой степени желательное—легко и почти безъ всякой съ нашей стороны помощи превращаться въ явленія другихъ видовъ. Благодаря этому становится доступной нашимъ чувствамъ эта сила, играющая первостепенную роль въ природѣ. Не имѣя особаго органа для воспріятія электрическихъ процессовъ, мы пользуемся различными вспомогательными средствами, разными приборами, которые позволяютъ намъ не только отмѣтить наличность электричества, но даютъ также и количественную оцѣнку большаго или меньшаго количества электричества, его плотности, напряженія и т. д. Именно легкая обратимость электричества и позволяетъ намъ строить приборы, служащіе къ опредѣленію присутствія электричества и къ его изученію.

Всѣ наши приборы, всѣ наши изысканія привели насъ постепенно къ убѣжденію, что электричество чрезвычайно распространено въ природѣ, что почти всѣ остальныя явленія природы, какъ свѣтъ, тепло, химическіе процессы, находятся въ тѣснѣйшей связи съ электричествомъ, причемъ свѣтъ, хотя онъ и кажется совершенно особымъ явленіемъ, приходится уже разсматривать теперь совсѣмъ, какъ явленіе электрическое.

Электричество необычайно разнообразно вплетается въ различные физическіе и химическіе процессы; и долгое время именно въ этомъ лежала причина полнаго отсутствія твердаго, обоснованнаго, а главное—лишеннаго противорѣчій представленія о томъ, что такое это электричество. Съ одной стороны было ясно, что многія электрическія явленія происходятъ въ свѣтовомъ эфирѣ, въ которомъ мы всѣ живемъ, какъ въ какомъ-то величайшемъ океанѣ; можно было, слѣдовательно, представлять себѣ электричество, какъ явленія въ эфирѣ; но, съ другой стороны, ясно было также, что въ области электрическихъ явленій мы не имѣемъ дѣла исключительно съ движеніями и состояніями эфира; тутъ участвуетъ и вещественная матерія со своими молекулами и атомами. Вотъ эта-то двойственность и была непреодолимымъ затрудненіемъ при составленіи точной картины, простого объясненія электрическихъ явленій. Многія свойства электричества вполнѣ аналогичны, напр., свойствамъ потока; поэтому совершенно разумно говорить объ электрическомъ токѣ; но другія, какъ, напримѣръ, магнитныя дѣйствія вокругъ тока, никакъ не подходятъ сюда. Они скорѣе понятны, какъ явленія въ эфирѣ. Необходимо признать за большой успѣхъ уже и то, что мы теперь умѣемъ твердо различать среди электрическихъ явленій тѣ, которыя происходятъ въ эфирѣ, отъ тѣхъ, которыя происходятъ въ матеріи. Въ основѣ современныхъ научныхъ взглядовъ лежитъ представленіе, внесшее большую ясность во многія явленія, остававшіяся безъ этого непонятными; по этому представленію электричество само есть своего рода матерія и притомъ, какъ и всякая другая матерія, оно всегда подраздѣлено на мельчайшія частицы, называемыя электронами; и далѣе, эти электроны тѣсно связаны съ эфиромъ, такъ что всякое движеніе электрона вызываетъ движеніе въ эфирѣ и обратно. Насколько такое представленіе позволяетъ уяснить электрическія явленія, излагается въ соотвѣтственныхъ мѣстахъ этого сочиненія.

Историческій ходъ развитія нашихъ свѣдѣній объ электричествѣ былъ таковъ, что въ теченіе цѣлыхъ столѣтій были извѣстны исключительно явленія электричества отъ тренія; тогда умѣли производить электричество только путемъ тренія и изслѣдовать явленія, проявляемыя электричествомъ только въ состояніи равновѣсія. Лишь въ концѣ 18-го столѣтія, въ 1789 г., въ годъ французской революціи, Гальвани, или, согласно извѣстному разсказу, его жена, впервые случайно наблюдали электрическое явленіе, которое совершенно невозможно было объяснить треніемъ. Только начиная съ этого времени, увидѣли въ химическихъ процессахъ источникъ электричества, могущій доставлять электричество въ несравнимо большихъ количествахъ, чѣмъ получалось при помощи тренія. При пользованіи новымъ источникомъ скоро обнаружилось много новыхъ явленій, которыя чрезвычайно расширили

наши свѣдѣнія о свойствахъ и дѣйствіяхъ электричества. Начиная съ этого момента, совершается непрерывный неудержимый прогрессъ въ изслѣдованіи электричества и его дѣйствій. Блестящій рядъ именъ выдающихся людей связанъ съ успѣхами въ области электричества. Благодаря своей силѣ мысли и экспериментальному искусству, такіе ученые, какъ Фарадей, Амперъ, Веберъ, Омъ, Джоуль, Дэви, Эрстедтъ, Гельмгольцъ, Максуэллъ, Герцъ, Д. Д. Томсонъ, Лоренцъ—подняли наши знанія объ электрическихъ явленіяхъ на необычайную высоту. Особенно мы обязаны Фарадею, который своими замѣчательными открытіями, своими оригинальными методами, своими глубочайшими изслѣдованіями не только положилъ широкое основаніе для зданія современнаго нашего ученія объ электричествѣ, но самъ же и возвелъ значительную часть этого зданія, а затѣмъ Гейнриху Герцу, который, хотя къ несчастью судьба удѣлила ему лишь короткую жизнь, въ возведеніи этого зданія поднялся еще выше Фарадея.

Фарадею безспорно принадлежитъ неумалимая заслуга открытія и обслѣдованія именно той области электричества, которая легла въ основу колоссальнаго успѣха современной электротехники, а именно: области индукціонныхъ токовъ. Правда, всегда громадная пропасть отдѣляетъ лабораторное изслѣдованіе и практическое его приложеніе въ техникѣ и жизни. Но и здѣсь нашлись таланты, которые поняли цѣнность электричества для практическихъ приложеній и посвятили свой умъ и способности на то, чтобы подчинить человѣчеству эту все охватывающую силу природы. Имена Гаусса и Вебера, Сименса, Эдисона, Белля и Маркони всегда будутъ чтиться, какъ имена работниковъ прогресса. Гауссъ и Веберъ устроили первый электромагнитный телеграфъ; Якоби первый примѣнилъ электричество къ осажденію металловъ и къ гальванопластикѣ; Сименсъ, давъ намъ динамомашину, положилъ основаніе электрическому освѣщенію, работѣ электрическихъ моторовъ, электрохимическимъ процессамъ; Эдисонъ разработалъ способы освѣщенія лампами накаливанія, а Белль въ своемъ телефонѣ далъ намъ приборъ, богатство приложеній котораго можетъ быть приравниваемо только съ его геніальной простотой; наконецъ, Маркони своимъ безпроволочнымъ телеграфомъ открылъ путь черезъ эфирный океанъ.

Предисловіе къ третьему русскому изданію.

Книга проф. Л. Греца (L. Graetz) хорошо извѣстна. Въ русскомъ переводѣ она появляется въ третьемъ изданіи; переводъ для перваго русскаго изданія съ 6-го нѣмецкаго былъ сдѣланъ А. Л. Гершуномъ и В. К. Лебединскимъ; онъ былъ свѣренъ для второго изданія по 10-му нѣмецкому А. А. Добіашемъ и В. Ф. Миткевичемъ, въ 1905 году; наконецъ, для настоящаго, третьяго изданія онъ передѣланъ по 16-му нѣмецкому въ теоретической части Б. К. Горбуновымъ и въ практической—М. Д. Каменскимъ, а также П. М. Брендстетъ, подъ общей редакціей В. К. Лебединскаго.

За тотъ долгій періодъ времени, который протекъ послѣ перваго изданія сочиненія Греца, весьма многое измѣнилось и прибавилось въ нашихъ знаніяхъ объ электрическихъ явленіяхъ, въ нашемъ представленіи объ электричествѣ и чрезвычайно расширилась область его примѣненій. Авторъ внимательно слѣдитъ за этимъ прогрессомъ, измѣняя и дополняя содержаніе своей книги для каждаго новаго изданія. Типичнымъ примѣромъ такой эволюціи сочиненія Греца можетъ служить опредѣленіе того, что такое электричество, въ связи съ понятіемъ о матеріи; это опредѣленіе категорически измѣнилось въ наукѣ за послѣдніе 6—7 лѣтъ; и дѣйствительно, во введеніи къ 10-му изданію авторъ писалъ: «электричество лишь въ нѣкоторыхъ явленіяхъ проявляетъ свойства, сходныя съ матеріею; въ другихъ же явленіяхъ обнаруживаетъ совершенно иныя свойства» (2-ое русск. изд., стр. II); во введеніи къ 16-му изданію авторъ говоритъ: «электричество само есть своего рода матерія». И этою именно идеею проникнуты теперь всѣ соотвѣтственныя мѣста книги.

Наиболѣе обширныя добавленія сдѣланы авторомъ, въ научной части сочиненія, въ главахъ о прохожденіи электричества чрезъ газы (электронная теорія), объ электрическихъ колебаніяхъ, о радіоактив-

ности, о соотношеніи между свѣтомъ и электричествомъ (введена новая глава); включено описаніе современныхъ лабораторныхъ приборовъ вмѣсто приборовъ, вышедшихъ уже изъ употребленія. Въ отдѣлѣ примѣненій электричества проводится современное расширенное понятіе о цѣляхъ и устройствѣ электрической центральной станціи, сообщается о новыхъ типахъ генераторовъ, а главное—о современныхъ электродвигателяхъ въ связи съ вопросомъ объ электрификаціи желѣзныхъ дорогъ; подробно излагается происшедшій недавно переворотъ въ дѣлѣ электрическаго освѣщенія; описаны печи для добыванія азотистыхъ соединеній изъ атмосфернаго азота, упоминаются новые способы электрическаго нагрѣванія, новыя устройства въ телеграфномъ и телефонномъ дѣлѣ; описаніе же телеграфа безъ проводовъ настолько расширено, что ему отводится отдѣльная глава; техническіе измѣрительные приборы прежней конструкціи замѣнены приборами современныхъ типовъ.

Въ старой и всегда свѣжей книгѣ Греца, дающей такое большое количество интересныхъ и полезныхъ знаній, неизмѣннымъ остается и ея признанное качество—искусное изложеніе. Ея элементарная теорія, доводимая иногда до значительныхъ тонкостей, увлекаетъ читателя; теоретическіе намеки, разсыпанные по разнымъ мѣстамъ книги, приготовляютъ къ воспріятію систематическаго изложенія научныхъ взглядовъ, которому отводится особое мѣсто, по возможности близко къ описанію наиболѣе наводящихъ явленій природы, и которое заключается приподнятіемъ завѣсы предъ научными перспективами будущаго знанія. При описаніи техническихъ приложеній электричества авторъ не только показываетъ ихъ мощь, ихъ полезность, ихъ культурное значеніе, но во многихъ мѣстахъ удачно очерчиваетъ самую логику изобрѣтеній, т. е. тотъ скрытый рычагъ изобрѣтающаго ума, который вѣчно будетъ двигать впередъ независимо отъ вопросовъ о полезности или желательности приложеній электричества.

Чтобы ближе передать способъ изложенія Греца, удачность котораго подтверждается столькими изданіями книги, редакторомъ русскаго перевода въ нѣкоторыхъ мѣстахъ книги оставлены безъ измѣненія такія выраженія, которыя неполны съ научной точки зрѣнія, но, по всей вѣроятности, легче воспринимаются и болѣе подходящи для самостоятельнаго усвоенія начинающимъ читателемъ; сюда относятся: «проявленіе электричества», «возбужденіе электричества», «преобразованіе электричества», точно такъ же, какъ и «передача силы» или: «электричество есть сила природы». Электричество нельзя ни возбудить, ни преобразовать; все это можетъ относиться только къ электрической энергіи. А послѣдняя фраза въ ковычкахъ должна быть, строго говоря, замѣнена утвержденіемъ: электрическая энергія есть одна изъ формъ энергіи природы. Но, можетъ быть, это было бы

слишкомъ сухо для начальной книги, какъ и болѣе обобщающее изложеніе индукціи, искусственно раздѣляемой авторомъ на электро-индукцію и магнито-индукцію, или болѣе раздѣльное примѣненіе терминовъ: напряженіе, разность напряженій, разность потенціаловъ, которые въ книгѣ Греца иногда означаютъ разное, иногда же могутъ замѣнять другъ друга.

В. Лебединскій.

Отдѣлъ I.

Способы проявленія электричества и его дѣйствія.

ГЛАВА I.

Электричество отъ тренія.

Въ основѣ всѣхъ современныхъ познаній въ обширной и многообъемлющей области электричества лежитъ одно всѣмъ извѣстное явленіе. Кусокъ янтаря (по-гречески электронъ), натертый сукномъ, пріобрѣтаетъ свойство притягивать легкія тѣла. Обрѣзки бумаги, легкіе шарики изъ бузинной сердцевины и т. п., положенные вблизи натертаго янтаря, подлетаютъ къ нему. Отъ этихъ, хотя и замѣчательныхъ, но все же едва замѣтныхъ дѣйствій электрической силы довольно еще далеко до гигантской мощности нашихъ современныхъ динамомашинъ; однако, человѣческій геній проложилъ себѣ этотъ путь, пользуясь лишь немногими случайными открытіями, и, подвигаясь впередъ по этому пути медленными, но вѣрными шагами, онъ можетъ не только достигнуть господства надъ великими силами природы, но также и постичь ихъ.

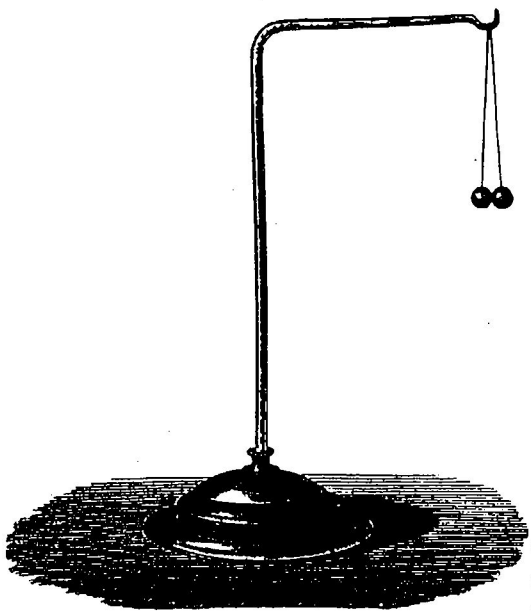
Желая вкратцѣ охарактеризовать явленіе, обусловливаемое янтаремъ, мы можемъ сказать, что благодаря тренію янтарь приведенъ въ нѣкоторое особенное состояніе, въ которомъ онъ можетъ развивать такія силы, какими онъ обыкновенно не обладаетъ. Это особое состояніе, которое тѣмъ только и распознается, что оно даетъ янтарю свойство притягивать легкія тѣла, называютъ электрическимъ. При этомъ говорятъ, что янтарь наэлектризовался. Точно такъ же, какъ и янтарь, и цѣлый рядъ другихъ твердыхъ тѣлъ электризуется отъ тренія. Дѣйствительно, даже дѣти въ играхъ своихъ замѣчаютъ, что стекло, сургучъ, каучукъ, эбонитъ и другія тѣла отъ простого натиранія сукномъ или мѣхомъ пріобрѣтаютъ свойство притягивать легкіе кусочки бумаги, положенные на столъ. Но если прослѣдить внимательнѣе за этимъ явленіемъ, то легко убѣдиться, что оно вовсе не

такъ просто. Нѣкоторые наиболѣе легкіе кусочки бумаги подлетаютъ, правда, къ натертымъ стеклянной или сургучной палочкамъ, но недолго держатся на нихъ, а черезъ нѣкоторое время снова отъ нихъ отлетаютъ. Слѣдовательно, изъ этого опыта можно заключить, что вокругъ тѣла, наэлектризованнаго треніемъ, дѣйствуютъ нѣкоторыя силы, которыхъ нѣтъ, когда тѣло не наэлектризовано. О свойствахъ этихъ силъ и о причинѣ ихъ возникновенія изъ этого опыта нельзя еще ничего заключить, такъ какъ явленія въ немъ слишкомъ сложны.

Оказывается, однако, что кусочки бумаги и подобныя имъ тѣла, если ихъ только коснуться уже наэлектризованнымъ тѣломъ, сами электризуются, т. е. сами пріобрѣтаютъ способность проявлять силы, которыми они обыкновенно не обладаютъ. Это легко можно доказать на опытѣ. Подвѣсимъ на шелковой нити кусочекъ бумаги или, лучше, легкій шарикъ изъ бузинной сердцевины и коснемся его наэлектризованной стеклянной палочкой. Отъ этого прикосновенія бузинный шарикъ самъ пріобрѣтаетъ электрическія свойства. Дѣйствительно, если мы поднесемъ теперь къ нему другой ненаэлектризованный шарикъ, то этотъ послѣдній тоже раньше притянется, а затѣмъ черезъ короткое время оттолкнется.

Это явленіе даетъ намъ простой способъ рѣшить вопросъ о томъ, каковы тѣ силы, которыя дѣйствуютъ между двумя наэлектризованными тѣлами. Подвѣсимъ рядомъ на стойкѣ два бузинныхъ шарика (черт. 1). Если обоихъ шариковъ коснуться наэлектризованной стеклянной палочкой, то оба вслѣдствіе этого одинаково наэлектризуются, и эти оба одинаково наэлектризованныхъ шарика тотчасъ отталкиваются и затѣмъ остаются уже разъединенными. Они отталкиваются также отъ стеклянной палочки. То же самое происходитъ, если шариковъ коснуться не стеклянной наэлектризованной палочкой, а наэлектризованной сургучной или эбонитовой палочкой и т. д. Всегда два одинаково наэлектризованныхъ тѣла отталкиваются.

Черт. 1.



Если же одновременно пользоваться различными наэлектризованными веществами, стекломъ, сургучомъ, эбонитомъ, которыя мы наэлектризовали треніемъ, то легко найти, несмотря на кажущуюся одинаковость ихъ дѣйствія, значительную разницу между ними. Если мы наэлектризовали шарики (черт. 1) прикосновеніемъ наэлектризованной стеклянной палочки, то они отталкиваются другъ отъ друга и отъ стеклянной палочки, но зато каждый изъ шариковъ притягивается наэлектризованной сургучной палочкой, помѣщенной вблизи. Существуетъ и обратное явленіе: если шарики наэлектризовать натертой сургучной палочкой, то они отталкиваются другъ отъ друга и отъ сургучной палочки, но зато притягиваются натертой стеклянной палочкой. Отсюда мы узнаемъ, что то, что мы называемъ электрическимъ состояніемъ, можетъ быть разнаго рода. Натертая стеклянная палочка иначе наэлектризована, чѣмъ натертая сургучная палочка; то, что одна притягиваетъ, другая отталкиваетъ. Про это явленіе, обнаруженное на опытѣ, говорятъ, что мы отличаемъ положительно и отрицательно наэлектризованныя тѣла. Условились называть сургучную палочку, наэлектризованную треніемъ о мѣхъ,—отрицательно наэлектризованной, а натертую стеклянную палочку, производящую обратныя дѣйствія, — положительно наэлектризованной.

Факты, приведенные выше, можно высказать вкратцѣ слѣдующимъ образомъ:

Одноименно наэлектризованныя тѣла отталкиваются, разноименно наэлектризованныя тѣла притягиваются.

Тѣ тѣла, о которыхъ мы пока говорили,—стекло, сургучъ, эбонитъ, каучукъ, бумага, бузина и т. п.,—все это вещества не металлическія. Эти тѣла въ отношеніи электризаціи обнаруживаютъ слѣдующія два свойства: во-первыхъ, они легко электризуются треніемъ и именно только въ тѣхъ мѣстахъ, которыя натирались, и, во-вторыхъ, они сохраняютъ электрическое состояніе, разъ оно возбуждено въ нихъ. Существенно иначе относятся къ электризаціи металлы. Точно такъ же, какъ металлы, относятся къ электризаціи и многія другія вещества, многія жидкости, сырое дерево, земля и т. д; точно такъ же относится къ этому и человѣческое тѣло. Именно, если держать металлическую палочку въ рукѣ и натереть ее, то не замѣчается никакихъ слѣдовъ электрическаго состоянія, никакого притягиванія кусочковъ бумаги и тому подобныхъ легкихъ тѣлъ. Тѣмъ не менѣе электрическое состояніе на ней было возбуждено, но только металлы и другія вышеупомянутыя тѣла обладаютъ особымъ свойствомъ, въ силу котораго электрическое состояніе распространяется по всей ихъ поверхности съ величайшей легкостью и очень быстро. Поэтому электрическое состояніе натертой металлической палочки не

остается только на томъ мѣстѣ, которое подвергнуто тренію, но тотчасъ распространяется по всему металлу, а если держать этотъ металлъ въ рукѣ, то и по рукѣ и всему тѣлу человѣка, черезъ полъ и стѣны комнаты, въ которой человѣкъ находится, наконецъ по всей землѣ, а слѣдовательно распространится по столь большой поверхности, что въ каждомъ отдѣльномъ мѣстѣ его дѣйствіе будетъ слишкомъ ничтожно, чтобы мы были въ состояніи распознать его. Подобное распредѣленіе электрическаго состоянія опредѣляютъ вкратцѣ, говоря, что электричество уведено въ землю.

Отсюда слѣдуетъ: если мы желаемъ посредствомъ тренія привести кусокъ металла въ электрическое состояніе и сохранить его въ этомъ состояніи, то нельзя держать его непосредственно въ рукѣ, но слѣдуетъ придѣлать къ металлу ручку изъ стекла, сургуча, эбонита и т. п. Съ тою же цѣлью проволоку обматываютъ шелкомъ или покрываютъ слоемъ каучука. Только тогда электризація останется на металлѣ, на которомъ ее развили, не уйдетъ оттуда и не распространится по другимъ тѣламъ. Тогда говорятъ, что металлъ изолированъ и, дѣйствительно, изолированный кусокъ металла можно наэлектризовать и сохранить въ такомъ состояніи.

Въ виду сказаннаго различаютъ по отношенію къ электризаціи два рода тѣлъ. Вещества, подобныя стеклу, сургучу и т. д., называютъ изоляторами, такъ какъ они сохраняютъ на себѣ электричество, которое въ нихъ возбудили,—изолируютъ его. Металлы же и нѣкоторыя другія тѣла называютъ проводниками, такъ какъ они тотчасъ проводятъ электричество дальше.

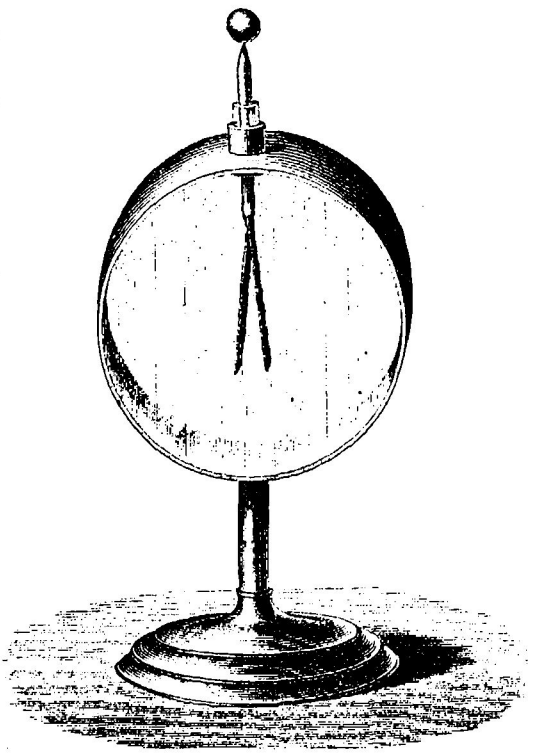
На изолированномъ проводникѣ легко вызвать треніемъ или соприкосновеніемъ электрическое состояніе. Это состояніе сохраняется на немъ, такъ какъ проводникъ изолированъ. Не только натертыя мѣста или тѣ мѣста, которыхъ коснулись, оказываются наэлектризованными, но весь проводникъ по всей своей поверхности. Электричество мгновенно распространяется по всей поверхности проводника. Если коснуться наэлектризованнаго проводника рукой, то онъ вполнѣ теряетъ свою электризацію, не только въ томъ мѣстѣ, котораго коснулись, но вездѣ, такъ какъ все электричество уведено въ землю.

Отсюда видно, что для электрическихъ изслѣдованій изолированный проводникъ имѣетъ значительныя преимущества передъ изоляторомъ въ практическомъ отношеніи. Проводникъ электризуется весь, если мы коснемся лишь одной его точки наэлектризованнымъ тѣломъ; его можно такъ же просто лишить электризаціи, приведя въ соприкосновеніе съ землей лишь одну его точку. Поэтому для электрическихъ изслѣдованій примѣняютъ главнымъ образомъ изолированные проводники.

Первое примѣненіе, которое можно дать этимъ свойствамъ проводниковъ, это —устройство прибора, который бы служилъ для того,

чтобы показать, наэлектризовано ли какое-либо тѣло или нѣтъ; такой приборъ называется электроскопомъ. Берутъ двѣ легкихъ полоски (черт. 2) листового золота—проводника, прикрѣпляютъ ихъ къ металлической палочкѣ, оканчивающейся на другомъ концѣ металлическимъ шарикомъ, и вставляютъ эту палочку, изолировавъ ее парафиномъ или янтаремъ, въ ящичекъ со стеклянными стѣнками; такъ устроенъ простой электроскопъ. Когда мы коснемся шарика прибора наэлектризованнымъ тѣломъ, то шарику передается немного электричества (приборъ наэлектризовывается); электричество распространится по палочкѣ и полоскамъ золота, какъ по проводникамъ, и оба легкихъ листочка оттолкнутся, такъ какъ они вѣдь одноименно наэлектризованы. Такимъ образомъ электрическое состояніе тѣла, которымъ коснулись шарика, обнаружится тѣмъ, что золотые листочки разойдутся. Такой приборъ называется электроскопомъ съ золотыми листочками, хотя теперь листочки эти дѣлаются обыкновенно не изъ золота, а изъ алюминія. Этимъ приборомъ можно тотчасъ воспользоваться, чтобы простымъ способомъ изслѣдовать, какія тѣла отъ тренія электризуются положительно и какія отрицательно. Коснемся, напримѣръ, шарика электроскопа натертой сургучной палочкой. Листочки вслѣдствіе этого наэлектризуются отрицательно и оттолкнутся. Если коснуться теперь шарика другимъ отрицательно наэлектризованнымъ тѣломъ, то листочки сильнѣе наэлектризуются отрицательно и вслѣдствіе этого разойдутся сильнѣе, чѣмъ раньше; если же коснуться положительно наэлектризованнымъ тѣломъ, то отрицательная электризація золотыхъ листочковъ сдѣлается слабѣе и они слегка спадутся. Итакъ, этимъ способомъ можно дѣйствительно узнать, какія тѣла отъ тренія электризуются положительно, какія отрицательно. Такимъ образомъ можно найти, что при треніи двухъ тѣлъ другъ о друга всегда элек-

Черт. 2.



тризуются оба тѣла, а именно: одно изъ нихъ всегда положительно, другое отрицательно. Такъ, напр., сургучъ отъ тренія каучукомъ электризуется отрицательно, а самый каучукъ—положительно. Стекло отъ натиранія оловянной амальгамой (нанесенной на кожу) электризуется положительно, амальгама—отрицательно. Смолы, а также сѣра отъ натиранія шерстью, шелкомъ или полотномъ электризуются отрицательно, шерсть же и т. д. при этомъ электризуется положительно.

Второе важное примѣненіе, которое можно дать электроскопу съ золотыми листочками, это изслѣдованіе того, какія тѣла принадлежатъ къ проводникамъ, какія къ изоляторамъ. Если заставить золотые листочки разойтись, наэлектризовавъ ихъ, то они остаются въ такомъ положеніи до тѣхъ поръ, пока электричество съ нихъ не будетъ уведено въ землю. Если коснуться шарика электроскопа стеклянной палочкой (ненаэлектризованной), то золотые листочки не спадаются, такъ какъ стекло—изоляторъ. Если же его коснуться неизолированной металлической палочкой, которую держатъ въ рукѣ, или просто пальцемъ, то золотые листочки тотчасъ спадаются, такъ какъ электричество мгновенно распространится съ нихъ по всей землѣ. Отсюда мы тотчасъ убѣждаемся, что и воздухъ изоляторъ. Дѣйствительно, шарикъ прибора обыкновенно находится въ соприкосновеніи съ воздухомъ, однако же его листочки не спадаются. Такимъ образомъ мы можемъ изслѣдовать всѣ тѣла относительно того, проводники ли они, или изоляторы. При этомъ оказывается, что это различіе вовсе не такъ рѣзко, но что существуетъ постепенный переходъ отъ проводниковъ къ непроводникамъ. Если коснуться неизолированнымъ металломъ шарика заряженнаго электроскопа, то листочки въ то же мгновеніе спадаются. То же происходитъ, если коснуться шарика рукой или углемъ, или какимъ-либо влажнымъ тѣломъ. Если же коснуться шарика, напримѣръ, бумагой, то въ первый моментъ листочки не спадаются, но мало-по-малу расхожденіе ихъ дѣлается все меньше и меньше и черезъ нѣкоторое болѣе или менѣе продолжительное время они спадаются вполнѣ, потерявъ свою электризацію. Если коснуться шарика сухимъ стекломъ, шеллакомъ и т. п., то нужно очень долго ждать, пока листочки спадутся, но наконецъ все же произойдетъ полное спаденіе ихъ; такое же постепенное, въ теченіе нѣсколькихъ дней, спаденіе листочковъ, пока они, наконецъ, совсѣмъ не потеряютъ своего заряда, произойдетъ и въ томъ случаѣ, если шарикъ электроскопа находится просто въ соприкосновеніи съ окружающимъ его воздухомъ. Отсюда видно, что нельзя рѣзко раздѣлить всѣ тѣла на проводники и непроводники; нужно сказать, что всѣ тѣла проводятъ электричество, но въ чрезвычайно различной мѣрѣ. Металлы проводятъ электричество превосходно, другія вещества—много хуже, такъ называемые изоляторы — чрезвычайно дурно. Для практическихъ цѣлей

можно однако сохранить подраздѣленіе на проводники и изоляторы. Къ проводникамъ принадлежатъ всѣ металлы, затѣмъ уголь, графитъ, кислоты, растворы солей, тѣло человѣка и животныхъ, полотно, бумажная ткань; къ изоляторамъ принадлежатъ масла, каучукъ, фарфоръ, кожа, шерсть, шелкъ, слюда, стекло, воскъ, парафинъ, сѣра, безводныя соли, янтарь, шеллакъ, воздухъ и другіе газы. Всѣ эти послѣднія вещества въ сухомъ видѣ могутъ служить для изоляціи проводниковъ.

Мы видѣли, что соприкосновеніемъ съ наэлектризованнымъ тѣломъ, напр., натертымъ стекломъ, можно наэлектризовать изолированный проводникъ; при этомъ электричество не остается на проводникѣ въ одной только точкѣ соприкосновенія, но весь проводникъ тотчасъ же становится наэлектризованнымъ. Въ такомъ случаѣ говорятъ, что электричество распредѣлилось по проводнику. Если теперь вторично коснуться проводника наэлектризованной стеклянной палочкой, то ему передается новое количество электричества, которое снова распространится по всей поверхности проводника. Такимъ же образомъ можно еще и въ третій, въ четвертый и т. д. разъ придать проводнику электричество. Вслѣдствіе этого проводникъ все сильнѣе и сильнѣе электризуется или, какъ говорятъ, проводникъ все сильнѣе и сильнѣе заряжается. Чѣмъ сильнѣе заряжено тѣло, тѣмъ сильнѣе оно, при прочихъ равныхъ условіяхъ, отталкиваетъ поднесенный къ нему подвѣшенный на ниткѣ бузинный шарикъ. Въ переносномъ смыслѣ можно сказать, что наэлектризованное тѣло, которое, при прочихъ равныхъ условіяхъ, дѣйствуетъ съ большей силой на наэлектризованный бузинный шарикъ, содержитъ и большее количество электричества или большій зарядъ. Очевидно слѣдуетъ различать положительныя и отрицательныя количества электричества. По силѣ, которую можетъ развить наэлектризованное тѣло, мы судимъ, такимъ образомъ, о количествѣ электричества, которое оно содержитъ. Если два заряженныхъ тѣла на одинъ и тотъ же бузинный шарикъ съ того же самаго разстоянія дѣйствуютъ съ одинаковой силой, то мы говоримъ, что эти два тѣла содержатъ равныя количества электричества; если одно изъ нихъ дѣйствуетъ съ силою въ два раза большею, то мы говоримъ, что оно содержитъ въ два раза большее количество электричества. Такимъ образомъ, все количество электричества, которое тѣло содержитъ, мы измѣряемъ по той силѣ, съ которой оно съ опредѣленнаго разстоянія дѣйствуетъ на небольшой наэлектризованный бузинный шарикъ.

Сила, съ которою одно наэлектризованное тѣло дѣйствуетъ на другое, разнится по величинѣ, смотря по разстоянію, на которомъ находятся эти тѣла другъ отъ друга. Возникаетъ, очевидно, вопросъ: какъ зависитъ сила, съ которою одно наэлектризованное тѣло дѣйствуетъ на другое, отъ разстоянія этихъ тѣлъ другъ отъ друга? Чтобы

разрѣшить этотъ вопросъ, нужно обратиться къ опыту и изслѣдовать взаимодѣйствіе весьма небольшихъ наэлектризованныхъ тѣлъ, потому что лишь въ этомъ случаѣ форма ихъ нисколько не вліяетъ. Основной законъ, который найденъ былъ Кулономъ (Coulomb) послѣ очень тщательнаго изслѣдованія вопроса, слѣдующій:

Сила, съ которою два небольшихъ наэлектризованныхъ тѣла дѣйствуютъ другъ на друга, равна произведенію количествъ электричества на нихъ, дѣленному на квадратъ разстоянія между ними, и эта сила отталкивательная, если оба тѣла наэлектризованы одноименно, и притягательная, когда они наэлектризованы разноименно.

Этотъ законъ, найденный въ 1785 году, по имени открывшаго его ученаго, названъ закономъ Кулона.

Прежде всего, руководствуясь закономъ Кулона, легко точно измѣрить количество электричества, т. е. установить единицу, въ которой мы выражаемъ всякія количества электричества. Мы видѣли, что о количествѣ электричества мы судимъ по силѣ, съ которою оно дѣйствуетъ. Но единица силы уже разъ навсегда установлена въ физикѣ; она называется диномъ. Сила, напримѣръ, съ которою земля дѣйствуетъ на одинъ килограммъ (вѣсъ одного килограмма), выраженная въ этихъ единицахъ, равна 981000 динъ. Такимъ образомъ динъ приблизительно равенъ силѣ, съ которою земля притягиваетъ 1 миллиграммъ; точнѣе, вѣсъ одного миллиграмма равенъ 0,981 дина. Основываясь на законѣ Кулона, можно сказать, что мы принимаемъ за единицу то количество электричества, которое на равное ему количество электричества, расположенное на разстояніи одного сантиметра, дѣйствуетъ съ силой, величина которой какъ разъ равна одному дину. Это такъ называемая электростатическая единица количества электричества, такъ какъ она слѣдуетъ изъ основного закона электростатики — изъ закона Кулона. Вмѣсто этой единицы, на практикѣ пользуются всегда другой единицей, которая въ три тысячи милліоновъ разъ больше, чѣмъ та, которую мы опредѣлили. Эту единицу, употребляемую на практикѣ, называютъ кулономъ. Такъ говорятъ, что наэлектризованное тѣло содержитъ 10 кулоновъ, 0,5 кулона и т. д. Причину, которая лежитъ въ основѣ принятія этой единицы, мы узнаемъ позже, пока же удовольствуемся тѣмъ, что будемъ впредь всѣ количества электричества измѣрять въ кулонахъ. Ясно, конечно, что сила, съ которою будутъ дѣйствовать другъ на друга два тѣла, заряженныя каждое однимъ кулономъ, будетъ чрезвычайно велика, такъ какъ кулонъ равенъ тремъ тысячамъ милліоновъ (3.10^9) электростатическихъ единицъ. Даже заряды въ одну милліонную кулона дѣйствуютъ другъ на друга съ огромной силой. Одну милліонную кулона называютъ микрокулономъ. Мы можемъ легко разсчитать, что два небольшихъ

тѣла, изъ которыхъ каждое заряжено однимъ микрокулономъ, т. е. 3000 электростатическихъ единицъ, при разстояніи между ними, равномъ 1 сантиметру, дѣйствуютъ другъ на друга съ силою въ 9 милліоновъ динъ, что, приблизительно, равно вѣсу 10 килограммовъ.

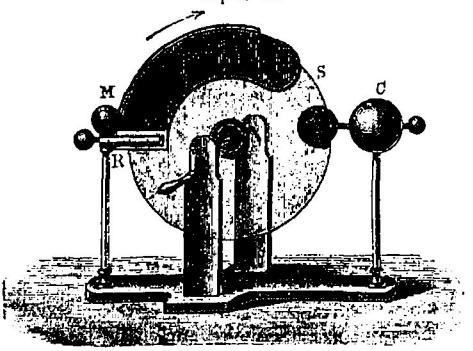
Если какое-нибудь тѣло, заряженное однимъ микрокулономъ электричества, положимъ на чашку обыкновенныхъ вѣсовъ, другое же тѣло, заряженное также однимъ микрокулономъ электричества, но другого знака, расположимъ на разстояніи 1 см. подъ той же чашкой, то на другую чашку вѣсовъ придется положить около 10 килограммовъ, чтобы, несмотря на притяженіе, дѣйствующее между заряженными тѣлами, удержать вѣсы въ положеніи равновѣсія.

Однако въ законъ Кулона необходимо ввести одно существенное добавленіе для того, чтобы онъ дѣйствительно былъ правиленъ,— добавленіе, которое, много лѣтъ спустя послѣ Кулона, было сдѣлано Фарадеемъ (въ 1837 г.). Изъ приведеннаго выше закона Кулона слѣдуетъ, что сила, дѣйствующая между двумя наэлектризованными тѣлами, находящимися на опредѣленномъ разстояніи одно отъ другого, всегда одна и та же, независимо отъ того, находятся ли между этими тѣлами воздухъ или какія-нибудь иныя вещества, какъ напримѣръ, нефть, стекло и т. п. Это, какъ показалъ Фарадей, невѣрно. Наэлектризованныя тѣла оказываютъ нѣкоторое дѣйствіе на промежуточную среду, и потому сила, дѣйствующая между ними, оказывается немного уменьшенной; такимъ образомъ эта сила всегда меньше, если между тѣлами вмѣсто воздуха находится какое-нибудь твердое или жидкое тѣло. Если бы между нашими, упомянутыми ранѣе, заряженными каждое 1 микрокулономъ электричества, тѣлами находилась вмѣсто воздуха нефть, то сила, дѣйствующая между ними, была бы равна не 10 килограммамъ, а всего лишь $\frac{10}{2,2}$ клгр., какъ то легко опредѣлить простымъ взвѣшиваніемъ; въ случаѣ же промежуточной среды изъ касторoваго масла, эта сила была бы равна $\frac{10}{4,3}$ клгр. Итакъ, каждый изоляторъ уменьшаетъ силу, дѣйствующую между двумя заряженными тѣлами въ нѣкоторомъ опредѣленномъ отношеніи. Числа 2,2 въ случаѣ нефти и 4,3 въ случаѣ касторoваго масла называются *діэлектрическими постоянными* этихъ веществъ. О нихъ намъ придется еще много говорить въ дальнѣйшемъ.

Явилась мысль устроить такую машину, которая позволяла бы удобно и непрерывно добывать электричество посредствомъ тренія и одновременно заряжать имъ изолированный проводникъ. Эта задача разрѣшена была устройствомъ *электрической машины*. Вмѣсто того, чтобы натирать кожей стеклянную трубку, на ось крѣпко насаживаютъ круглый стеклянный дискъ S (черт. 3), который можно приводить посредствомъ рукоятки во вращеніе. Во время вращенія

стеклянный кругъ непрерывно трется о два куска кожи R, натертыхъ оловянной амальгамой и называемыхъ подушками. Подушки посредствомъ винтовъ довольно крѣпко прижимаются къ стеклянному кругу. Вслѣдствіе вращенія на кругѣ непрерывно возбуждается положительное электричество, на подушкахъ отрицательное. Чтобы перевести затѣмъ положительное электричество со стекляннаго круга на изолированный проводникъ C, пользуются особымъ приспособленіемъ, дѣйствіе котораго мы теперь и разсмотримъ. Проводникъ C, называемый кондукторомъ (второй кондукторъ шаръ M), соединяютъ съ двумя деревянными кольцами, между которыми вращается кругъ, и которыя усажены по сторонамъ, обращеннымъ къ стеклу, тонкими остріями, напримѣръ, швейными иглами. Эти острія по причинамъ, которыя мы объяснимъ ниже, будутъ непрерывно всасывать въ себя положительное электричество со стекляннаго круга, а такъ какъ они соединены проводниками электричества съ кондукторомъ C, то электричество съ нихъ распространяется по кондуктору. Такимъ образомъ, изолированный проводникъ C электризуется положительно и тѣмъ сильнѣе, чѣмъ дольше вращаютъ стеклянный кругъ. Въ то же время подушки R соединены съ другимъ проводникомъ M, на которомъ скопляется отрицательное электричество. Обыкновенно проводникъ M соединяется съ землей, такъ что электричество съ него уходитъ въ землю. Къ подушкамъ прикрѣпленъ, кромѣ того, еще изогнутый вверхъ эбонитовый стержень, на которомъ висятъ два куска шелковой матеріи, которые, начиная отъ подушекъ, идутъ по стеклянному кругу почти вплоть до острій. Они служатъ для того, чтобы воспрепятствовать соединенію двухъ электричествъ, и благодаря имъ машина дѣйствуетъ успѣшнѣе.

Черт. 3.



Мы имѣемъ, такимъ образомъ, простой способъ доставлять проводнику C *положительное*, а *проводнику* M отрицательное электричество въ большомъ количествѣ.

Какъ же распредѣляется зарядъ, сообщенный проводнику? Мы видѣли, что проводникъ обладаетъ тѣмъ свойствомъ, что электрическое состояніе не можетъ остаться на одной или на нѣсколькихъ его точкахъ, но что оно тотчасъ распространяется по всему проводнику, какъ только мы возбудимъ его хоть въ одной его точкѣ.

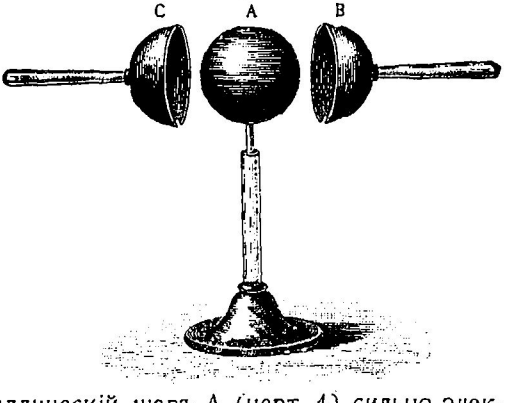
Если сообщить проводнику въ одномъ мѣстѣ нѣкоторое количе-

ство электричества, то, вслѣдствіе его абсолютно легкой подвижности, оно распространяется по всему проводнику, такъ какъ отдѣльныя частички электрическаго заряда стремятся насколько возможно дальше оттолкнуться другъ отъ друга, и этому взаимному отталкиванію электричество слѣдуетъ до тѣхъ поръ, пока весь зарядъ не будетъ находиться исключительно на поверхности проводника; тогда прилегающій къ проводнику изоляторъ будетъ уже мѣшать электричеству подчиняться далѣе силамъ взаимнаго отталкиванія и только тогда наступаетъ состояніе покоя или равновѣсія. Итакъ:

Если электричество находится на проводникѣ въ состояніи равновѣсія, то оно можетъ находиться лишь на поверхности проводника. Внутренность его должна быть ненаэлектризованной.

Фарадей грандіознымъ опытомъ доказалъ справедливость этого слѣдствія. Онъ сдѣлалъ большой кубъ изъ мѣдной проволоки, каждая сторона котораго была больше, чѣмъ въ три метра, слѣдовательно такихъ размѣровъ, что человѣкъ могъ свободно войти въ него. Стѣны этого куба онъ обтянулъ оловянной бумагой, т. е. проводящимъ тѣломъ. Затѣмъ, взявъ въ руки весьма чувствительный электроскопъ, онъ вошелъ внутрь куба, который былъ изолированъ; извнѣ же кубъ весьма сильно электризовали съ помощью электрической машины. Несмотря на то, что на поверхности куба скоплено было чрезвычайно большое количество электричества, онъ не могъ замѣтить внутри, даже у внутренней поверхности стѣнокъ, ни малѣйшихъ слѣдовъ электричества. Итакъ, это слѣдствіе безусловно подтвердилось. Справедливость этого положенія можно доказать и слѣдующимъ простымъ опытомъ. Изолированный металлическій шаръ А (черт. 4) сильно электризуютъ и вполнѣ закрываютъ затѣмъ двумя полыми полушарами В и С, насаженными на изолированныя ручки. Теперь шаръ съ двумя полушарами образуетъ уже одно проводящее тѣло, и электричество, по нашему закону, не можетъ уже остаться на А, но должно перейти на поверхности В и С. Дѣйствительно, если мы теперь снимемъ полушарія, то А оказывается не наэлектризованнымъ, а В и С наэлектризованными.

Черт. 4.



Итакъ, намъ дѣйствительно опытъ показываетъ, что проводникъ,

находящійся въ электрическомъ равновѣсіи, наэлектризованъ лишь по поверхности. Въ виду этого удивительнаго свойства электричества естественно возникаетъ вопросъ: что въ сущности представляетъ собой зарядъ тѣла и въ частности проводника? Этотъ вопросъ въ теченіе болѣе столѣтія занималъ собой выдающіеся умы, и лишь нѣсколько лѣтъ тому назадъ, послѣ многихъ неудачныхъ попытокъ, пришли, наконецъ, къ простому его рѣшенію, не заключающему въ себѣ противорѣчій. Теперь принимаютъ (и многія явленія, съ которыми мы познакомимся далѣе, дѣйствительно подтверждаютъ это), что оба рода электричества представляютъ собой два особенныхъ, чрезвычайно тонкихъ вещества, которыя, какъ и всѣ извѣстныя намъ другія вещества, состоятъ не изъ сплошной массы, а изъ отдѣльныхъ частицъ, называемыхъ атомами. Совершенно такъ же, какъ мы говоримъ объ атомахъ водорода или мѣди, мы можемъ говорить объ атомахъ еще двухъ химическихъ веществъ, а именно объ атомахъ положительнаго и отрицательнаго электричествъ. Предварительно мы будемъ называть эти атомы электричества электронами и различать положительные и отрицательные электроны. Въ изоляторахъ электроны находятся въ болѣе или менѣе крѣпкой связи съ молекулами тѣла, въ проводникахъ же атомы электричества не имѣютъ этой связи съ веществомъ и потому могутъ свободно двигаться; и если проводникъ заряженъ, они будутъ скопляться въ видѣ очень тонкаго слоя на его поверхности. По этому представленію электричество дѣйствительно лежитъ между проводникомъ и изоляторомъ въ такомъ тонкомъ слоѣ, какого не могутъ измѣрить наши приборы.

Металлъ проводника играетъ при этомъ большую роль. Онъ оказываетъ дѣйствіе въ томъ отношеніи, что электрическое состояніе моментально возникаетъ на всей поверхности проводника, а не только на томъ мѣстѣ, на которомъ оно было возбуждено. Сквозь проводникъ электроны, вѣдь, могутъ двигаться съ большой легкостью и потому они скопляются на его поверхности, гдѣ имъ мѣшаетъ въ дальнѣйшемъ ихъ движеніи изоляторъ.

Итакъ, мы имѣемъ на всей поверхности заряженнаго проводника электрическій слой, отдѣльныя частички котораго стремятся взаимно оттолкнуться. Такой слой въ нѣкоторомъ отношеніи похожъ на каучуковый шаръ или мыльный пузырь, которые надуваютъ. Какъ въ послѣднихъ давленіе вдуваемаго воздуха производитъ расширеніе шара или пузыря, такъ и въ случаѣ электрическихъ явленій взаимное отталкиваніе имѣетъ слѣдствіемъ распространеніе электричества по поверхности проводника; образуется какъ бы пленка кругомъ проводника. Въ каучуковомъ шарѣ каучукъ находится въ состояніи нѣкотораго напряженія, которое поддерживаетъ равновѣсіе съ давленіемъ находящагося внутри воздуха; аналогично и электрическій слой имѣетъ

нѣкоторое напряженіе, а именно такое, что оно уравновѣшиваетъ силы взаимнаго отталкиванія.

На самомъ дѣлѣ, мы должны приписать каждому проводнику — извѣстное напряженіе или «потенціалъ»; это понятіе можно себѣ уяснить, представляя себѣ электричество распредѣленнымъ по поверхности проводника, въ видѣ натянутой пленки. Изъ слѣдующаго легко составить себѣ представленіе о величинѣ этого напряженія. Если одинаковое количество электричества, напр. микрокулонъ, придать маленькому шару и большому, то напряженіе будетъ различное, а именно, на большомъ шарѣ оно будетъ меньше, чѣмъ на маломъ. Это объясняется слѣдующимъ образомъ. Напряженіе уравновѣшивается силами взаимнаго отталкиванія; такъ какъ эти силы въ случаѣ большого шара меньше, вслѣдствіе болѣе значительнаго разстоянія между частичками, чѣмъ въ случаѣ малаго шара, то слѣдовательно и напряженіе электрическаго слоя на большомъ шарѣ будетъ меньше, чѣмъ на маломъ.

Вообще мы должны сказать, что каждый проводникъ, которому придали нѣкоторое количество электричества, имѣетъ извѣстное напряженіе, величина котораго зависитъ какъ отъ количества электричества, такъ и отъ формы и величины проводника. Для одного и того же проводника, напр. для шара, конечно, напряженіе будетъ тѣмъ больше, чѣмъ большее количество электричества мы придали ему. Если проводящему электричество шару сообщить одинъ разъ 1 микрокулонъ, другой разъ 10 микрокулоновъ, то силы взаимнаго отталкиванія во второмъ случаѣ будутъ въ десять разъ больше, такъ какъ отталкиваются большія количества электричества; вслѣдствіе этого и напряженіе шара при большемъ зарядѣ будетъ значительнѣе, чѣмъ при меньшемъ.

Мы можемъ уяснить себѣ это слѣдующей аналогіей. Если мы въ сосудъ, закрытый со всѣхъ сторонъ, напримѣръ въ металлическій шаръ, введемъ какой-либо газъ, то онъ произведетъ на стѣнки сосуда нѣкоторое давленіе и самъ будетъ находиться подъ этимъ давленіемъ. Чѣмъ больше мы газа вгонимъ въ сосудъ, тѣмъ больше будетъ это давленіе въ немъ. Что для наполненнаго газомъ тѣла есть давленіе, то для наэлектризованнаго тѣла — его напряженіе. У наполненнаго газомъ сосуда по мѣрѣ увеличенія количества газа растетъ давленіе, а по мѣрѣ его уменьшенія давленіе падаетъ. Точно такъ же напряженіе наэлектризованнаго проводника дѣлается больше, если ему придать большее количество электричества, и становится меньше, если ему придать меньшее количество электричества. Если, затѣмъ, одно и то же количество газа, напр., 1 гр. его, помѣщать въ сосудахъ различной величины, то давленіе газа будетъ разное, именно: въ сосудѣ бо̀льшаго объема, бо́льшей емкости, давленіе будетъ меньше, въ сосудѣ меньшей емкости — больше. Отношеніе между количествомъ

введеннаго газа и производимымъ имъ давленіемъ зависитъ, такимъ образомъ, отъ емкости сосуда. Совершенно аналогичныя явленія мы замѣчаемъ и у наэлектризованныхъ проводниковъ. Отношеніе количества электричества, находящагося на проводникѣ, къ вызванному имъ напряженію зависитъ отъ размѣровъ и формы проводника, заряженнаго электричествомъ. Это отношеніе, аналогичное съ вышеприведеннымъ примѣромъ газа въ сосудѣ, называютъ электрическою емкостью проводника.

Емкость проводника даетъ такимъ образомъ отношеніе количества электричества на проводникѣ къ его напряженію. Такимъ образомъ имѣемъ:

$$\text{Емкость} = \frac{\text{Количество электричества}}{\text{Напряженіе}}.$$

Емкость проводника для электрическаго заряда соотвѣтствуетъ такимъ образомъ объему сосуда при наполненіи послѣдняго газомъ.

Для многихъ тѣлъ емкость электричества (электроемкость) можно вычислить изъ ихъ размѣровъ; вообще же, какъ мы увидимъ дальше, ее легко опредѣлить изъ опытовъ. Если намъ извѣстна емкость тѣла и мы знаемъ, сколько электричества оно содержитъ, то мы знаемъ также величину его напряженія, потому что:

$$\text{Напряженіе} = \frac{\text{Количество электричества}}{\text{Емкость}}.$$

Обратно, если намъ извѣстны емкость и напряженіе, то мы также знаемъ, какое количество электричества находится на проводникѣ, такъ какъ:

$$\text{Количество электричества} = \text{Емкость} \times \text{Напряженіе}.$$

Однако необходимо не только понимать вообще только-что выведенныя величины, напряженіе и емкость, но и выражать ихъ въ опредѣленной мѣрѣ; теперь мы и разберемъ, какъ это сдѣлать.

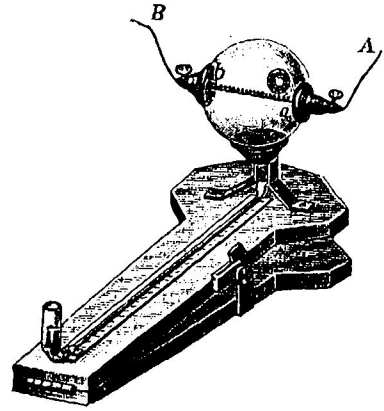
Два различныхъ заряженныхъ проводника имѣютъ вообще различное напряженіе. Если мы соединимъ оба эти проводника проволокой, то они образуютъ вмѣстѣ одинъ сложный проводникъ. Разность ихъ напряженій должна поэтому исчезнуть, и дѣйствительно при этомъ происходитъ новое распредѣленіе электрическаго заряда (электроновъ) на поверхности ихъ, такъ что весь этотъ сложный проводникъ будетъ опять имѣть вездѣ одно и то же напряженіе; электричество, какъ говорятъ, движется вдоль проволоки отъ одного проводника къ другому, пока вездѣ не будетъ одного и того же напряженія. Мы можемъ сказать и обратно:

Всегда, когда мы наблюдаемъ, что нѣкоторое количество электричества движется отъ проводника А къ провод-

нику B, мы говоримъ, что между проводниками A и B существуетъ разность напряженій (или разность потенціаловъ), и напряженіе на проводникѣ A не равно напряженію на проводникѣ B, но оно больше на A, чѣмъ на B.

При этомъ движеніи электричества между двумя проводниками разныхъ напряженій легко замѣтить, что въ проволокѣ, черезъ которую электричество переходитъ отъ одного проводника къ другому, выдѣляется опредѣленное количество теплоты, благодаря которой проволока нагрѣвается; такъ какъ теплота, по основнымъ понятіямъ физики, есть видъ работы (энергіи), то мы можемъ утверждать, что при движеніи электричества отъ проводника съ высшимъ напряженіемъ, напр., A къ другому проводнику B съ низшимъ напряженіемъ электрическія силы производятъ нѣкоторую опредѣленную работу. Нагрѣваніе проволоки въ этомъ случаѣ подтверждено многими наблюденіями. Чтобы въ этомъ убѣдиться, удобнѣе всего воспользоваться приборомъ Рисса, извѣстнымъ подъ именемъ воздушнаго термометра. Спиральную платиновую проволоку *a* (черт. 5) помѣщаютъ въ полый стеклянный шаръ, который внизу переходитъ въ узкую стеклянную трубку, содержащую немного воды. Концы спиральной проволоки, впаянные въ стѣнки шара, соединяютъ проводами съ двумя проводниками различныхъ напряженій, въ которыхъ должно установиться общее равновѣсіе; для этого, напримѣръ, можно примѣнить оба кондуктора электрической машины, изъ которыхъ у одного положительное напряженіе, у другого отрицательное. Тогда платиновая спираль соединяетъ оба кондуктора и черезъ нее проходитъ электричество. При этомъ проволока на самомъ дѣлѣ нагрѣвается, что замѣтно по передвиженію воды въ узкой стеклянной трубкѣ, происходящему отъ расширенія воздуха въ стеклянномъ шарѣ.

Черт. 5.



Этотъ опытъ доказываетъ, что при передвиженіи электричества отъ проводника высокаго напряженія къ проводнику низкаго напряженія, производится нѣкоторая работа. Это обстоятельство послужитъ намъ для установленія единицы мѣры для разности напряженій.

Для этого мы исходимъ изъ понятнаго всѣмъ примѣра о движеніи воды. Если нѣкоторое количество воды (напр., 10 килограммовъ) падаетъ съ высоты A (напр. 30 метровъ) подъ вліяніемъ притяженія земли до высоты B (напр. 12 м.) надъ землей, то работа, совер-

шаемая силою тяжести при этомъ, равна произведенію вѣса воды на разность высотъ, т. е. равна въ данномъ случаѣ 180 килограммометрамъ.

По аналогіи со сказаннымъ установимъ теперь слѣдующее. Если нѣкоторое опредѣленное количество электричества (напр. 10 кулоновъ) перемѣщается отъ заряженнаго проводника A къ проводнику B подъ вліяніемъ притягательныхъ или отталкивающихъ силъ, то работа, совершаемая этими силами при данномъ перемѣщеніи, равна произведенію количества электричества на разность напряженій между A и B. Ту роль, которую въ случаѣ паденія воды играетъ разность высотъ, въ данномъ случаѣ играетъ разность напряженій. Исходя изъ этихъ соображеній, мы можемъ совершенно точно опредѣлить разность напряженій между A и B, если только сумѣемъ измѣрить работу (измѣряя, напр., количество выдѣленнаго тепла), которая необходима, чтобы перемѣстить наши 10 кулоновъ съ A на B. Дѣйствительно, эта разность напряженій будетъ измѣряться десятой частью этой работы, такъ какъ мы перемѣстили 10 кулоновъ съ A на B. Если же мы перенесемъ съ A на B только одинъ кулонъ, то необходимая на это работа какъ разъ измѣряетъ разность напряженій между A и B. Мы пришли, слѣдовательно, къ такому опредѣленію:

Разность напряженій между двумя заряженными проводниками A и B равна работѣ, которую необходимо затратить, чтобы перемѣстить одинъ кулонъ отъ A въ B. (Эту работу совершаютъ силы, съ которыми дѣйствуютъ электричества другъ на друга).

Изъ этого опредѣленія непосредственно вытекаетъ единица для разности напряженій. Въ техникѣ работа измѣряется въ килограммометрахъ (кгм.), причемъ подъ 1 кгм. понимается работа, которую совершаетъ сила тяжести, когда подъ вліяніемъ ея 1 клгр. падаетъ на 1 м. Между тѣмъ въ физикѣ приходится имѣть дѣло не только съ силой земного притяженія, вслѣдствіе чего для физическихъ измѣреній принята иная единица работа, называемая эргомъ, которая такъ мала, что 1 килограммометръ равенъ 98.100.000 эргамъ ($9{,}81.10^7$ эрг.). Если принять эргъ за единицу работы, то можно сказать, что разность напряженій между двумя проводниками равняется единицѣ, если для перевода съ одного проводника на другой 1 кулона электричества необходимо затратить единицу работы (1 эргъ). Однако, вслѣдствіе малой величины эрга, за единицу принимается не эта величина, а та величина разности напряженій двухъ проводниковъ, при которой для перевода 1 кулона съ одного проводника на другой надо затратить не 1 эргъ, а 10 милліоновъ эрговъ (10^7 эрг.). Такую единицу разности напряженій (потенціаловъ) называютъ вольтомъ. Такимъ образомъ

1 вольтъ $\times$ 1 кулонъ $=$ 10 милл. эрговъ (10^7 эрг.).

Это выраженіе и даетъ намъ опредѣленіе вольта.

Такъ какъ 1 килограммометръ содержитъ въ себѣ $9{,}81.10^7$ эрговъ, то мы имѣемъ

$$1 \text{ вольтъ} \times 1 \text{ кулонъ} = \frac{1}{9{,}81} \text{ кгм.}$$

Мы научились, такимъ образомъ, измѣрять и выражать разность напряженій между любыми двумя тѣлами или вообще между любыми двумя точками A и B.

Вспомнимъ теперь, что и земля проводникъ электричества, и что во всѣхъ опытахъ, которые намъ только доступны, мы можемъ разсматривать землю, какъ безконечно большое тѣло. Поэтому любое количество электричества, которое мы придадимъ землѣ, образуетъ на ней пленку громадчѣйшей поверхности. Напряженіе земли будетъ равняться нулю, потому что взаимодѣйствіе, производимое отдѣльными частями электрическаго заряда другъ на друга, равно нулю вслѣдствіе огромнаго разстоянія между ними. Итакъ, напряженіе (потенціалъ) земли мы полагаемъ равнымъ нулю. Теперь мы имѣемъ не только для разности напряженій двухъ проводниковъ, но и для напряженія каждаго проводника отдѣльно—опредѣленную мѣру.

Разность напряженій между какимъ-нибудь проводникомъ и землей равняется напряженію самаго проводника такъ какъ напряженіе земли равно нулю.

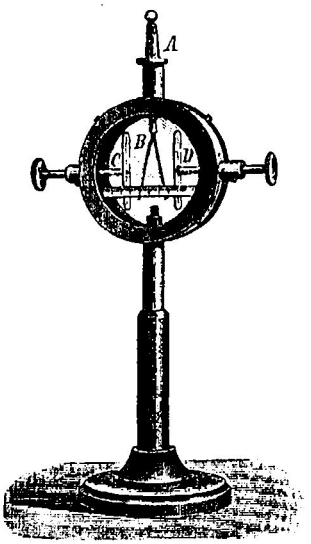
Напряженіе, какъ и разность напряженій, измѣряется въ вольтахъ. Если мы говоримъ, что напряженіе даннаго проводника равно 8 вольтамъ, то это значитъ, что электрическія силы, дѣйствующія въ полѣ, должны совершить работу въ $8.10^7 = 80$ милл. эрговъ для того, чтобы перевести 1 кулонъ электричества съ проводника въ землю.

Такимъ образомъ у насъ имѣется опредѣленная мѣра для напряженій—вольтъ, подобно тому, какъ ранѣе нами была установлена единица для количества электричества—кулонъ. Какимъ же, однако, образомъ мы можемъ измѣрить напряженіе проводника? Для этой цѣли измѣрительнымъ приборомъ служитъ электроскопъ съ золотыми листочками, такъ какъ простыя соображенія показываютъ, что величины отклоненія листочковъ прямо являются мѣрой напряженія тѣла, зарядившаго электроскопъ. Шарикъ съ золотыми листочками нашего электроскопа, описаннаго на стр. 5, обладаетъ нѣкоторой опредѣленной емкостью. Приведемъ этотъ шарикъ въ соприкосновеніе съ большимъ заряженнымъ тѣломъ, напряженіе котораго, допустимъ, равно 1000 вольтъ; въ такомъ случаѣ шарикъ нашего электроскопа приметъ то же напряженіе (т. е. также 1000 вольтъ), что и заряженное тѣло, и слѣдовательно зарядъ его будетъ равенъ нѣкоторому опредѣленному числу кулоновъ, а именно: произведенію емкости шарика на

1000 вольтъ. Приведемъ теперь шарикъ въ соприкосновеніе съ большимъ тѣломъ, заряженнымъ до 2000 вольтъ; въ такомъ случаѣ зарядъ шарика и золотыхъ листочковъ станетъ вдвое больше, чѣмъ ранѣе. Поэтому золотые листочки будутъ теперь сильнѣе расходиться. Отсюда ясно, что, когда мы приводимъ нашъ электроскопъ въ соприкосновеніе съ какимъ-либо заряженнымъ тѣломъ, то расхожденіе листочковъ можетъ служить мѣрою напряженія этого тѣла. Такимъ образомъ мы можемъ пользоваться подобнымъ электроскопомъ прямо какъ вольтметромъ, если только существуетъ возможность измѣрять расхожденіе листочковъ. Если мы разъ навсегда опредѣлили, какъ велико расхожденіе листочковъ нашего электроскопа при 100, 200, 300 и т. д. вольтахъ, то этотъ приборъ будетъ намъ всегда служить для непосредственнаго опредѣленія въ вольтахъ напряженія заряженнаго тѣла.

Подобный приборъ, калибрированный электроскопъ, сконструированный Экснеромъ и часто примѣняемый на практикѣ, изображенъ на черт. 6. Въ снабженной стеклянными стѣнками коробкѣ находится изолированный металлическій стержень, прикрѣпленный къ верхнему зажиму A и оканчивающійся внутри коробки двумя алюминіевыми листочками B (они удобнѣе золотыхъ). При соединеніи зажима A съ заряженнымъ тѣломъ, листочки расходятся, и степень этого расхожденія опредѣляется помощью особой шкалы, которою снабженъ приборъ. Чѣмъ больше расхожденіе листочковъ, тѣмъ значительнѣе напряженіе испытуемаго заряженнаго тѣла. Двѣ сдвигающіяся пластинки C и D служатъ для того, чтобы предохранять отъ поврежденія листочки при переноскѣ этого прибора, который особенно часто примѣняется для изслѣдованія атмосфернаго электричества.

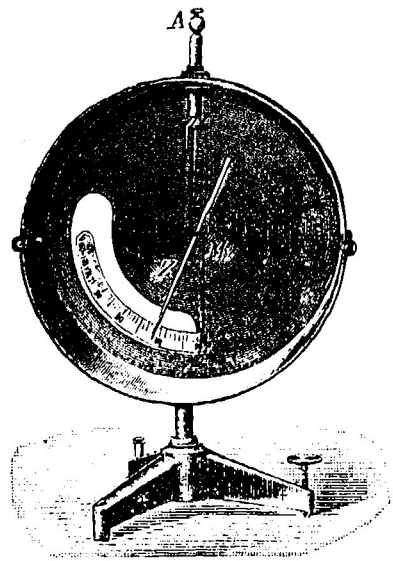
Черт. 6.



Весьма удобны электрометры Брауна, калибрированные прямо на вольты. Подобный приборъ изображенъ на черт. 7. Онъ состоитъ изъ металлической коробки, лицевая сторона которой либо вполнѣ закрыта стеклянной стѣнкой, либо лишь настолько, чтобы можно было видѣть шкалу. Внутри коробки помѣщается изолированная металлическая часть M, прикрѣпленная въ верхней своей части къ зажиму A и имѣющая изломъ въ той части, гдѣ находится ось подвижного алюминіеваго указателя Z. Если приборъ не заряженъ, то алюминіевый указатель Z и вертикальная часть M соприкасаются. Но какъ

только зажимъ A будетъ соединенъ съ наэлектризованнымъ тѣломъ, тотчасъ же обѣ части Z и M одновременно зарядятся и начнутъ отталкиваться. Степень отклоненія указателя Z служитъ мѣрою напряженія испытуемаго тѣла. По шкалѣ можно отсчитывать напряженіе непосредственно въ вольтахъ. Въ изображенномъ здѣсь приборѣ одно дѣленіе шкалы соотвѣтствуетъ 100 вольтамъ. Въ зависимости отъ вѣса подвижного указателя можно сдѣлать приборъ болѣе или менѣе чувствительнымъ.

Черт. 7.



Если соединить нѣкоторое тѣло, заряженное, напримѣръ, до 1000 вольтъ, съ однимъ изъ вышеописанныхъ электрометровъ, то очевидно, что напряженіе тѣла должно нѣсколько понизиться, такъ какъ при этомъ нѣкоторая часть его заряда перейдетъ на электрометръ. Этотъ послѣдній приборъ показываетъ не то напряженіе, которымъ обладало заряженное тѣло само по себѣ, но то, которое будетъ соотвѣтствовать системѣ, состоящей изъ тѣла, соединеннаго съ электрометромъ. Но если емкость электрометра весьма мала, какъ это и есть въ случаѣ двухъ вышеописанныхъ приборовъ, то количество электричества, перешедшее на электрометръ, будетъ весьма мало, а потому и напряженіе испытуемаго тѣла измѣнится весьма мало.

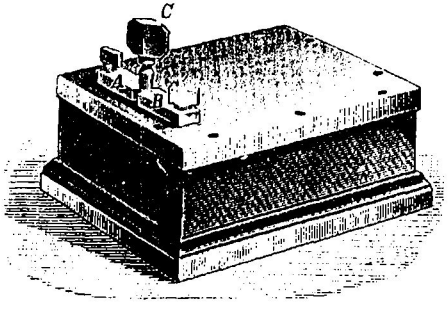
Мы можемъ теперь установить единицу емкости электричества (электроемкости). Такъ какъ емкость всякаго проводника равна отношенію количества находящагося на немъ электричества къ его напряженію, то мы говоримъ, что то тѣло имѣетъ емкость равную единицѣ емкости, которое отъ сообщеннаго ему количества электричества въ 1 кулонъ получаетъ напряженіе въ 1 вольтъ. Эту единицу емкости называютъ фарадой. Итакъ

$$1 \text{ фарада} = \frac{1 \text{ кулонъ}}{1 \text{ вольтъ}}.$$

Если мы, напримѣръ, опредѣлили, что нѣкоторый проводникъ имѣетъ напряженіе въ 1500 вольтъ и съ другой стороны измѣрили, что количество электричества, на немъ находящееся, равно $^1/_{200}$ кулона, то этотъ проводникъ имѣетъ емкость въ $\frac{1}{300000}$ часть фарады. Для обыкновенныхъ цѣлей фарада слишкомъ неудобна по своей величинѣ. Проводники, съ которыми намъ обычно приходится имѣть дѣло, обла-

дают̀ъ емкостью значительно меньшей одной фарады. Поэтому часто пользуются вмѣсто этой единицы одной милліонной частью ея и называютъ ее микрофарадой. Разсмотрѣнный выше проводникъ имѣетъ такимъ образомъ емкость въ 3,33 микрофарады. На практикѣ изготовляютъ проводники, которые имѣютъ емкость, равную какому-либо опредѣленному числу микрофарадъ, и которыми можно затѣмъ измѣрять электроемкость другихъ проводниковъ. Черт. 8 изображаетъ приборъ, емкость котораго равна 0,1 микрофрады. Онъ состоитъ изъ сложеннаго очень большого куска парафинированной бумаги, оклеенной съ обѣихъ сторонъ станіолемъ. Ящикъ, заключающій въ себѣ эту бумагу, закрытъ крышкой, на которой имѣются два металлическихъ бруска A и B, изолированныхъ другъ отъ друга. Одинъ изъ металлическихъ брусковъ соединенъ съ одной станіолевой поверхностью, другой съ другою. Если одинъ изъ брусковъ, напр. A, соединить съ землей, а другой B съ проводникомъ, имѣющимъ какъ разъ потенціалъ въ 1 вольтъ, что̀, какъ мы увидимъ, можно сдѣлать, то на станіоль перейдетъ̀ъ количество электричества, равное

Черт. 8.



$$1 \text{ вольтъ} \times \frac{1}{10} \text{ микрофарады} = \frac{1}{10} \text{ микрокулона}.$$

Если желательно вновь разрядить заряженную станіолевую поверхность B, то для этого слѣдуетъ вставить металлическій стержень C (штепсель) въ промежутокъ между двумя брусками такъ, какъ показано на чертежѣ; при этомъ обѣ станіолевыя поверхности окажутся металлически соединенными между собою и съ землею, и весь станіоль освободится отъ заряда.

Чтобы наэлектризовать проводникъ, нужно затратить нѣкоторую работу; даромъ электричества добыть нельзя. Дѣйствительно, такъ какъ наэлектризованное тѣло можетъ̀ъ совершать работу, то оно есть мѣсто скопленія—источникъ—энергіи, и нужно, очевидно, затратить нѣкоторую работу, чтобы доставить тѣлу эту энергію, такъ какъ даромъ добыть энергіи въ природѣ нельзя. Величину энергіи наэлектризованнаго тѣла мы будемъ въ состояніи сейчасъ же опредѣлить, какъ только будемъ знать величину этой работы.

Мы видѣли (стр. 17), что работа, которую должны совершить электрическія силы, чтобы перенести нѣкоторое число кулоновъ отъ даннаго мѣста, имѣющаго напряженіе въ нѣкоторое число вольтъ, къ

землѣ (напряженіе нуль), равна произведенію изъ числа кулоновъ на число вольтъ и выражается числомъ десятковъ милліоновъ эрговъ. Точно такой же величины работу, какую совершаютъ электрическія силы въ данномъ случаѣ, должны мы затратить, дѣйствуя противъ этихъ силъ, чтобы привести назадъ то же число кулоновъ до мѣста того же напряженія. Слѣдовательно, чтобы привести нѣкоторое количество электричества на проводникъ, напряженіе котораго извѣстно, мы должны затратить работу, равную произведенію напряженія на приведенное нами количество электричества. Когда мы доставили это количество электричества проводнику, мы затратили на это опредѣленную работу, и эта работа хранится теперь какъ бы въ скрытомъ состояніи въ проводникѣ. Мы говоримъ, что проводникъ обладаетъ теперь нѣкоторымъ запасомъ энергіи, который и даетъ ему возможность дѣйствовать на другія количества электричества и производить работу.

Итакъ, энергія, которою обладаетъ наэлектризованный проводникъ, работа, которую онъ можетъ совершить, измѣряется произведеніемъ его напряженія на количество электричества, находящагося въ немъ. (Точнѣе: энергія заряженнаго проводника равна половинѣ произведенія его напряженія на величину находящагося на немъ заряда, т. к. при заряженіи проводника его напряженіе постепенно, хотя и быстро, возрастаетъ отъ нуля до своей окончательной величины).

Если мы будемъ продолжать выражать количества электричества въ кулонахъ, а напряженія въ вольтахъ, то энергія, которую содержитъ проводникъ, работа, которую онъ можетъ совершить, выразится въ вольтъ-кулонахъ, если мы перемножимъ, какъ это обыкновенно и дѣлается, и самыя наименованія. Напримѣръ, проводникъ, напряженіе котораго 10000 вольтъ, а количество электричества на которомъ 100 мимикрокулоновъ, обладаетъ энергіей въ 0,5 вольтъ-кулона, и можетъ совершить такой же величины работу. (Очевидно этотъ проводникъ долженъ обладать электроемкостью, равною 0,01 микрофарады). Если соединить, напр., этотъ проводникъ проволокой съ землей, то онъ получитъ напряженіе нуль, то-есть разрядится, вся его энергія пройдетъ черезъ проволоку, и разовьетъ въ ней, какъ мы видѣли выше, тепло. Образовавшееся количество тепла соотвѣтствуетъ какъ разъ работѣ 0,5 вольтъ-кулона.

Но мы видѣли выше (стр. 17), что

1 вольтъ $\times$ 1 кулонъ $=$ 10 милл. эрговъ $= \frac{1}{9{,}81}$ килограммометра.

Въ нашемъ примѣрѣ проводникъ содержитъ $\frac{0{,}5}{9{,}81} =$ приблизительно 0,051 килограммометра энергіи, т. е. должна была быть затрачена для его заряженія работа въ 0,051 килограммометра, которую заряженное тѣло можетъ вновь произвести.

Зависимость между электрическими величинами—вольтомъ и кулономъ—и механической единицей работы—килограммометромъ—важна въ томъ отношеніи, что она позволяетъ намъ выразить энергію проводника въ обыкновенныхъ мѣрахъ, разъ мы только измѣрили его напряженіе въ вольтахъ и количество электричества въ кулонахъ.

Все количество электричества, находящееся на проводникѣ, должно, когда наступило равновѣсіе, распредѣлиться, какъ было сказано выше, по всей поверхности, и притомъ такъ, чтобы напряженіе вездѣ на проводникѣ было одно и то же. Если это такъ, то все же на всѣхъ равновеликихъ частяхъ поверхности, напримѣръ, на каждомъ квадратномъ миллиметрѣ, могутъ быть не всегда равныя количества электричества, т. е. неодинаковое число электроновъ. Наоборотъ, на различныхъ равновеликихъ частяхъ поверхности количества будутъ разныя въ зависимости отъ формы поверхности. Количество электричества, которое приходится на единицу поверхности, напримѣръ, на 1 квадр. миллиметръ, называютъ плотностью электричества на этомъ мѣстѣ. Мы можемъ, такимъ образомъ, сказать, что хотя на наэлектризованномъ проводникѣ произвольной формы напряженіе вездѣ одно и то же, но плотность элекричества вообще въ разныхъ точкахъ разная. Чѣмъ меньше поверхность, на которой распредѣлено нѣкоторое опредѣленное количество электричества, напримѣръ, 5 микрокулоновъ, тѣмъ больше плотность электричества на этомъ мѣстѣ.

Легко понять и нетрудно убѣдиться изъ опыта, что, когда проводникъ кончается остріемъ, то на этомъ остріѣ плотность электричества должна быть громадная, несравненно большая, чѣмъ на всякой другой точкѣ проводника.

Полное количество электричества на проводникѣ можетъ быть весьма незначительнымъ, между тѣмъ какъ плотность электричества на проводящемъ остріѣ будетъ весьма велика, такъ какъ величина поверхности острія чрезвычайно, мала. Это свойство острій влечетъ за собой много важныхъ слѣдствій. Именно, чѣмъ ближе другъ къ другу расположены электроны, въ нѣкоторомъ мѣстѣ на поверхности проводника, тѣмъ, очевидно, больше отталкивательныя силы между ними въ этомъ мѣстѣ. Какъ только силы отталкиванія между электронами станутъ достаточно велики—это мы и имѣемъ въ случаѣ острія,—то, очевидно, онѣ превзойдутъ сопротивленіе изолятора и вслѣдствіе этого электроны будутъ уноситься отъ острія во внѣшнее пространство; это будетъ особенно замѣтно, если изоляторомъ, окружающимъ тѣло, является воздухъ или какой-нибудь другой газъ.

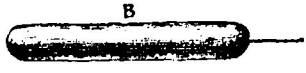
На остріѣ заряженнаго проводника наэлектризованныя частицы будутъ выталкиваться съ проводника наружу.

Это выталкиваніе электроновъ въ воздухъ сопряжено съ нѣкоторымъ потокомъ воздуха. Дѣйствительно, мы наблюдаемъ такой по-

токъ воздуха, исходящій изъ заряженнаго острія, и называемъ его электрическимъ вѣтромъ. Если электроны такимъ образомъ удаляются съ проводника, то зарядъ проводника будетъ уменьшаться, когда къ нему присоединимъ остріе. Это слѣдствіе можно легко провѣрить на опытѣ.

Возьмемъ изолированный проводникъ, напримѣръ, цилиндръ съ закругленными концами B (черт. 9), но пока безъ острія, и зарядимъ его при помощи электрической машины. Если прикрѣпить къ одному или нѣсколькимъ мѣстамъ цилиндра полоски сусальнаго золота, то эти листочки расходятся при заряженіи, и по величинѣ ихъ расхожденія мы судимъ о напряженіи заряженнаго цилиндра. Но какъ только мы приставимъ къ этому заряженному изолированному проводнику остріе, то уголъ расхожденія золотыхъ листочковъ тотчасъ начнетъ уменьшаться, а это доказываетъ, что напряженіе падаетъ, зарядъ уменьшается и частички электричества истекаютъ съ острія.

Черт. 9.



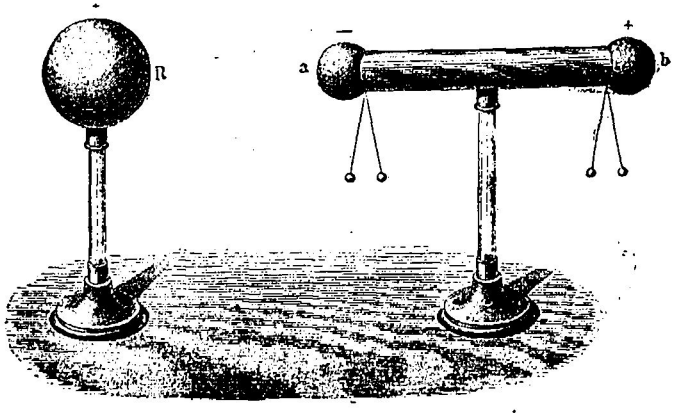
Намъ остается теперь дополнить наши свѣдѣнія однимъ въ высшей степени важнымъ фактомъ, а именно разсмотрѣніемъ одного замѣчательнаго свойства электричества, существованіе котораго нельзя было бы предугадать изъ того, что мы уже знаемъ.

Если мы установимъ электроскопъ съ золотыми листочками и поднесемъ къ шарику натертую стеклянную палочку, то листочки начнутъ расходиться раньше еще, чѣмъ стеклянная палочка коснется шарика. Если держать стеклянную палочку на нѣкоторомъ разстояніи отъ шарика электроскопа, то золотые листочки разойдутся и останутся въ этомъ положеніи, пока мы будемъ держать вблизи палочку. Какъ только мы палочку уберемъ, золотые листочки снова спадутся. Итакъ, электричество стеклянной палочки обладаетъ свойствомъ одною своею близостью вызывать на проводящихъ тѣлахъ электрическое состояніе. Это явленіе называютъ индукціей. Мы говоримъ, что наэлектризованное тѣло индуктируетъ на вблизи находящемся проводникѣ электричество, а возбужденное такимъ образомъ электричество называемъ индуктированнымъ.

Между свойствами проводника, заряженнаго индукціей, и проводника, заряженнаго треніемъ или непосредственнымъ прикосновеніемъ можно замѣтить два различія. Во-первыхъ, индуктированное электричество остается на изолированномъ проводникѣ только, пока вблизи находится индуктирующее тѣло. Если мы это послѣднее уберемъ или какимъ-либо путемъ лишимъ его электризаціи, то тотчасъ исчезаетъ и индуктированное электричество на подверженномъ индукціи проводникѣ. Второе различіе слѣдующее: если мы испытаемъ, какого рода электричество возникло на проводникѣ подъ вліяніемъ индукціи, то

мы найдемъ, что проводникъ содержитъ не одинъ родъ электричества, но что на его поверхности существуютъ въ отдѣльности оба рода электричества какъ положительное, такъ и отрицательное. Одна часть поверхности наэлектризована положительно, другая — отрицательно, причемъ тѣ части поверхности, которыя ближе всего находятся къ индуктирующему тѣлу, всегда получаютъ противоположнаго рода электричество, между тѣмъ какъ болѣе удаленныя части содержатъ тотъ же родъ электричества, что и тѣло индуктирующее. Пусть, напр., (черт. 10) R будетъ положительно наэлектризованный стеклянный шаръ. Если вблизи его поставить изолированный проводникъ ab, то на послѣднемъ индуктируется электричество, причемъ слѣва находящаяся часть a электризуется отрицательно, а справа находящаяся часть b положительно.

Черт. 10.



Если бы шаръ R былъ наэлектризованъ отрицательно, то и распредѣленіе электричества на ab было бы обратное. Электричество, находящееся на a, т. е. на частяхъ наиболѣе близкихъ къ шару R, называютъ индуктированнымъ электричествомъ перваго рода, находящееся на b—индуктированнымъ электричествомъ второго рода. Чѣмъ дальше мы будемъ идти отъ a къ серединѣ тѣла, тѣмъ болѣе будетъ убывать плотность отрицательнаго электричества, чѣмъ дальше же мы будемъ идти отъ b къ серединѣ, тѣмъ болѣе убываетъ плотность положительнаго электричества. Середина же вовсе не наэлектризована. Повидимому явленіе индукціи состоитъ въ томъ, что приближеніе тѣла R возбудило въ проводникѣ ab оба рода электричества, причемъ R притянуло къ себѣ разноименные электроны и оттолкнуло въ b одноименные.

Когда равновѣсіе наступило, то въ данномъ случаѣ, какъ и всегда, напряженіе на проводникѣ ab вездѣ должно быть одинаковымъ. Но напряженіе зависитъ теперь частью отъ силъ, исходящихъ изъ R,

частью отъ силъ, обусловленныхъ самими электрическими зарядами, находящимися на *ab*.

Оба рода индуктированнаго электричества на изолированномъ проводникѣ обладаютъ совершенно различными свойствами. Индуктированное электричество второго рода (одноименное) можно отвести въ землю, между тѣмъ какъ электричество перваго рода вовсе отвести нельзя.

Если коснуться конца *b* цилиндра *ab* проводящей проволокой, сообщенной съ землею, то весь цилиндръ будетъ имѣть напряженіе нуль. Подъ вліяніемъ индукціи положительно наэлектризованнаго тѣла R, разноименное, отрицательное электричество притягивается въ *a*, положительное же уйдетъ въ *b*, въ проволоку и въ землю. Если теперь разобщить тѣло отъ земли, т. е. снова возстановить изоляцію его, то на *ab* остается одно отрицательное электричество. Итакъ, индуктированное электричество второго рода можно отвести въ землю.

Если же проволоку приложить къ концу *a* цилиндра, то нашъ проводникъ будетъ снова соединенъ съ землей; но и въ данномъ случаѣ земля играетъ роль болѣе удаленной части тѣла, т. е. одноименное электричество (второго рода) уходитъ въ землю, а отрицательное электричество остается на проводникѣ. Такимъ образомъ, индуктированное электричество перваго рода нельзя отвести въ землю.

Если индуктированное электричество второго рода отвести въ землю, то на подверженномъ индукціи тѣлѣ, сначала соединенномъ съ землей, а потомъ снова изолированномъ, остается лишь индуктированное электричество перваго рода. Если теперь удалить тѣло R, то это электричество не можетъ болѣе уничтожиться противоположнымъ электричествомъ, такъ какъ послѣднее уведено въ землю, и такимъ образомъ тѣло остается наэлектризованнымъ (въ нашемъ примѣрѣ, отрицательно наэлектризованнымъ). Мы нашли такимъ образомъ способъ заряжать проводникъ посредствомъ индукціи однимъ родомъ электричества. Прикоснемся (влажнымъ) пальцемъ къ проводнику, пока онъ находится подъ дѣйствіемъ индукціи; вслѣдствіе этого электричество второго рода (одноименное) уйдетъ въ землю. Если теперь отнять палецъ отъ проводника, то разноименное электричество останется на немъ и въ томъ случаѣ, когда мы удаляемъ индуктирующее тѣло.

Мы должны, однако, ближе разсмотрѣть обстоятельства, сопровождающія явленія индукціи. До сихъ поръ мы предполагали, что индуктирующее тѣло R есть наэлектризованный изоляторъ (напримѣръ, стеклянный шаръ), на которомъ электричество не можетъ перемѣщаться. Если же въ роли индуктирующаго тѣла взять заряженный

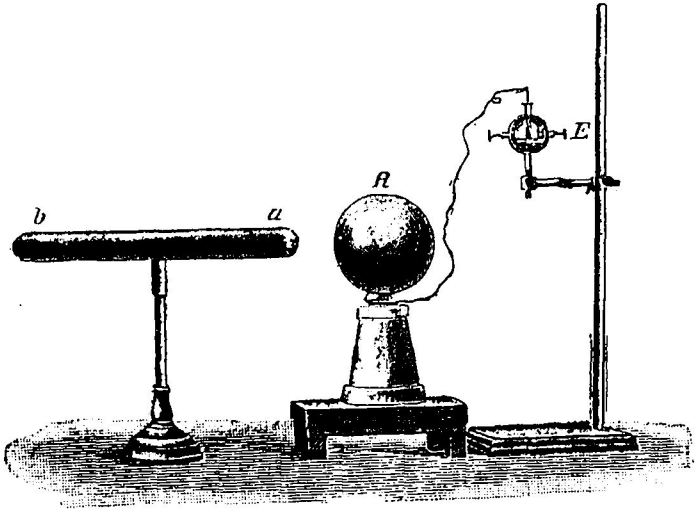
проводникъ, который, понятно, долженъ быть изолированъ, напримѣръ, наэлектризованный металлическій шаръ, то явленія, которыя въ такомъ случаѣ происходятъ, нѣсколько сложнѣе, но все же легко могутъ быть разобраны. Заряженный металлическій шаръ R индуктируетъ на цилиндрѣ *ab* (черт. 10) электричество, притягивая разноименное въ *a* и отталкивая одноименное въ *b*. Но и на металлическомъ шарѣ R электричество должно вслѣдствіе этого смѣститься, должно распредѣлиться какъ-либо иначе. Дѣйствительно, силы, исходящія изъ *ab*, дѣйствуютъ на электричество на поверхности R и, вслѣдствіе близости къ R разноименнаго электричества на *a*, электроны шара R притягиваются, и на части, ближайшей къ индуктируемому тѣлу, скопляются до большей плотности. Благодаря присутствію подверженнаго индукціи тѣла плотность электричества на всѣхъ точкахъ индуктирующаго тѣла измѣняется. Мы можемъ, однако, тотчасъ прійти къ еще болѣе важному заключенію: мы можемъ доказать, что благодаря присутствію подверженнаго индукціи тѣла и особенно, когда послѣднее соединено съ землей, напряженіе R сдѣлается на много меньше того, какимъ оно было раньше. Дѣйствительно, напряженіе R (въ вольтахъ) есть вѣдь работа, которую необходимо затратить, чтобы привести одинъ кулонъ (одну единицу положительнаго электричества) на шаръ R (если онъ заряженъ положительно) изъ точки, напряженіе которой есть нуль, преодолѣвая при этомъ отталкивательныя силы, исходящія изъ R. Но въ нашемъ случаѣ вблизи R находится соединенное съ землей тѣло, подверженное индукціи, и содержащее поэтому отрицательное электричество. Силы, съ которыми это отрицательное электричеество дѣйствуетъ на нашъ кулонъ, суть силы притягательныя, онѣ сами притягиваютъ этотъ кулонъ къ *a*, и поэтому работа, которую мы должны затратить, чтобы преодолѣть силы тѣла R, будетъ меньше, такъ какъ часть работы совершается подверженнымъ индукціи тѣломъ. Итакъ, чтобы привести 1 кулонъ на тѣло R, нужна теперь значительно меньшая работа, т. е. напряженіе шара R, при прочихъ равныхъ условіяхъ, меньше, когда вблизи него находится подверженное индукціи и соединенное съ землей тѣло.

Итакъ: если приблизить къ заряженному проводнику другой, сообщенный съ землей, то напряженіе перваго значительно падаетъ.

Мы легко можемъ убѣдиться въ этомъ путемъ опыта. Соединимъ нашъ шаръ R (черт. 11), помѣщенный для достиженія лучшей изоляціи на парафиновую подставку, съ экснеровскимъ электроскопомъ E и зарядимъ его, напримѣръ, отъ электрической машины. Электроскопъ покажетъ намъ его напряженіе, скажемъ, въ 1500 вольтъ. Теперь, ничего не измѣняя, поднесемъ только къ шару изолирован-

ный проводникъ *ab*. Нашъ электроскопъ тотчасъ же покажетъ, что напряженіе шара R равно теперь только, напримѣръ, 1300 вольтамъ. Послѣ этого прикосновеніемъ пальца соединимъ проводникъ *ab* съ землею. Немедленно расхожденіе листочковъ электроскопа уменьшится и приборъ будетъ показывать, напримѣръ, вольтъ 600, что будетъ намъ свидѣтельствовать, сколь значительно понизилось напряженіе нашего шара, благодаря присутствію подверженнаго индукціи тѣла.

Черт. 11.

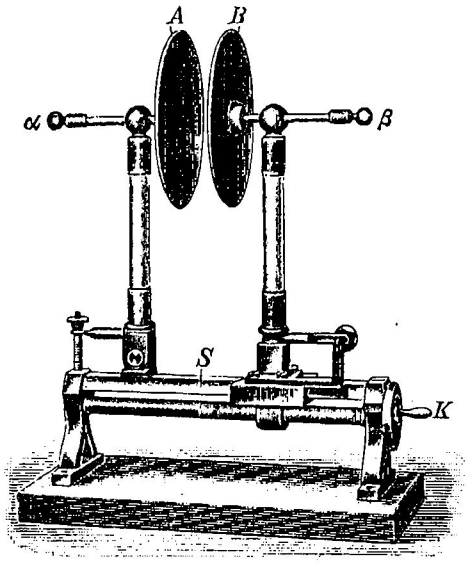


На нашемъ проводникѣ R осталось то же количество электричества; оно не было ни увеличено, ни уменьшено. Но мы видѣли, что отъ одного присутствія подверженнаго индукціи и соединеннаго съ землей тѣла, напряженіе его сдѣлалось меньше. Отношеніе между количествомъ электричества на проводникѣ и его напряженіемъ мы назвали емкостью проводника. Это отношеніе сдѣлалось теперь больше вслѣдствіе того, что напряженіе сдѣлалось меньше, т. е.: одно присутствіе подверженнаго индукціи и соединеннаго съ землею тѣла значительно увеличиваетъ емкость проводника. Отсюда слѣдуетъ, что мы можемъ придать теперь нашему проводнику больше электричества, чѣмъ раньше, пока онъ дойдетъ до того же напряженія. Онъ можетъ, такимъ образомъ, при томъ же напряженіи имѣть бо́льшій зарядъ, чѣмъ раньше.

Эта возможность увеличивать емкость, а слѣдовательно, и зарядъ проводника, чрезвычайно важна. Уже въ 18-омъ столѣтіи построили приборъ — собиратель или конденсаторъ, который въ простѣйшемъ видѣ изображенъ на черт. 12. Онъ состоитъ изъ двухъ изолированныхъ металлическихъ пластинъ A и B, установленныхъ, въ

цѣляхъ изоляціи, на стеклянныхъ стойкахъ и точно расположенныхъ другъ противъ друга. Пластина A неподвижна, въ то время какъ пластину B вращеніемъ рукоятки K можно установить въ любомъ разстояніи отъ A. Когда пластина B находится далеко отъ пластины A и пластина A соединена съ кондукторомъ электрической машины, то A заряжается до тѣхъ поръ, пока ея напряженіе не сдѣлается равнымъ напряженію кондуктора машины. Сильнѣе заряжать ее нельзя. Если же противъ пластины A установить теперь соединенную съ землей пластину B, то, какъ мы видѣли, напряженіе A вслѣдствіе этого значительно уменьшится. Благодаря этому, изъ электрической машины опять потечетъ электричество на A, пока напряженіе A снова не сравняется съ напряженіемъ источника электричества. Такимъ образомъ A получило значительно больше электричества, чѣмъ оно могло бы вмѣстить безъ присутствія пластины B.

Черт. 12.



Пластину A называютъ собирателемъ, пластину B — сгустителемъ. Зажимы α и β служатъ для укрѣпленія проводовъ, при помощи которыхъ A соединяется съ электрической машиной, а B съ землей. Изображенный конденсаторъ называется конденсаторомъ Кольрауша. Итакъ, собиратель можетъ вмѣстить большее количество электричества, когда противъ него стоитъ сгуститель, чѣмъ безъ послѣдняго. Емкость собирателя значительно больше, когда противъ него стоитъ сообщенный съ землей сгуститель, чѣмъ безъ него. Эту новую емкость собирателя обозначаютъ выраженіемъ емкость конденсатора. Итакъ, емкость конденсатора есть отношеніе количества электричества на собирательной пластинѣ къ напряженію ея, когда сгустительная пластина сообщена съ землей.

Емкость конденсатора зависитъ отъ различныхъ обстоятельствъ, Она зависитъ отъ формы и размѣровъ проводящихъ тѣлъ, т. е. въ нашемъ случаѣ—пластинъ; она существенно зависитъ отъ того, на какомъ разстояніи пластины находятся другъ отъ друга. Емкость тѣмъ больше, чѣмъ меньше это разстояніе. Наконецъ, емкость зависитъ еще существенно отъ того, какая изолирующая среда находится

между пластинами. Мы предполагали, что между пластинами воздухъ. Но, если изолирующая среда не воздухъ, а другой изоляторъ – стекло, каучукъ, сѣра и т. д., то емкость конденсатора будетъ уже другая, и притомъ всегда бо́льшая. Это основывается на открытіи Фарадея, о которомъ мы уже говорили выше на стр. 9. Такъ какъ притягательныя и отталкивательныя силы Кулона во всякомъ изоляторѣ слабѣе, чѣмъ въ воздухѣ, то и напряженіе заряженнаго проводника, окруженнаго, напр., нефтью, при одинаковомъ зарядѣ меньше, чѣмъ въ воздухѣ. Емкость вообще равна заряду, дѣленному на напряженіе, и потому емкость проводника или конденсатора, когда они окружены нефтью, больше, чѣмъ когда они находятся въ воздухѣ, и именно во столько разъ больше, во сколько кулоновскія силы отталкиванія и притяженія въ нефти меньше, чѣмъ въ воздухѣ. Итакъ, изоляторы (это обстоятельство имѣетъ чрезвычайную важность) играютъ существенную роль въ явленіи электрической индукціи. По этой причинѣ изоляторы называютъ также діэлектриками. Эти оба выраженія обозначаютъ одно и то же, но при первомъ обозначеніи особенно выставляется на видъ способность изолировать, при второмъ – вліять на распредѣленіе электричества. Если взять одинъ и тотъ же конденсаторъ (т. е. тѣ же металлическія поверхности на томъ же разстояніи) и заполнить промежутокъ одинъ разъ воздухомъ, другой разъ какимъ-либо инымъ діэлектрикомъ, напримѣръ, слюдой, или стекломъ, или сѣрой, то емкость конденсатора во второй разъ окажется больше, чѣмъ въ первый. Если она въ этомъ случаѣ въ 8, или 6, или 3,9 разъ больше, чѣмъ въ первомъ случаѣ, то говорятъ, что соотвѣтственный діэлектрикъ имѣетъ діэлектрическую постоянную 8, или 6, или 3,9. Итакъ, діэлектрическая постоянная какого-либо діэлектрика есть отношеніе емкости конденсатора, когда онъ содержитъ между пластинами соотвѣтственный діэлектрикъ, къ емкости того же конденсатора, когда между его пластинами находится воздухъ. Такимъ образомъ нашли на опытѣ слѣдующія діэлектрическія постоянныя:

Діэлектрическія постоянныя:

Парафинъ	2,3	Слюда	8
Каучукъ	2,9	Стекло (смотря по сорту)	6—10
Эбонитъ	2,6	Масла („ „ „)	2—5
Сѣра	3,9	Газы	1

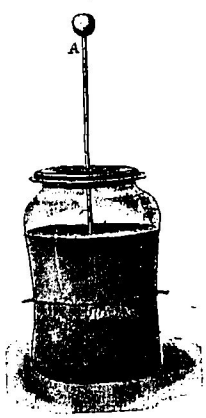
Мы еще вернемся къ діэлектрическимъ свойствамъ изоляторовъ, представляющимъ выдающуюся теоретическую важность.

Твердые изоляторы, стекло, каучукъ, шеллакъ и т. д., въ качествѣ слоя между пластинами кондесатора, имѣютъ и другое болѣе важное преимущество. Дѣло въ томъ, что на двухъ противополож-

ныхъ пластинахъ конденсатора находятся электричества разнаго рода, и притомъ со значительною плотностью. Но, чѣмъ больше плотность электричества на какомъ-либо мѣстѣ, тѣмъ больше, какъ мы знаемъ, силы, съ которыми оно отталкивается наружу. Поэтому можетъ случиться, что оба противоположныхъ электричества на обѣихъ пластинахъ преодолѣютъ сопротивленіе воздуха, и соединятся въ формѣ искры. Въ такомъ случаѣ накопленіе электричества невозможно. Но если діэлектрикъ—твердое тѣло, какъ стекло, то сопротивленіе, которое онъ представляетъ соединенію электричествъ, значительно больше; они вообще говоря не могутъ соединиться, и остаются поэтому на двухъ проводящихъ поверхностяхъ. Итакъ, если мы желаемъ сильно зарядить конденсаторъ, то въ роли изолирующаго слоя—діэлектрика—мы должны взять твердое вещество, парафинъ, бумагу, слюду или стекло. Описанный выше приборъ (стр. 20), содержащій $\frac{1}{10}$ микрофарады, представляетъ собой ни что иное, какъ конденсаторъ; обѣ станіолевыя поверхности (обкладки) замѣняютъ наши пластины, пропитанная же парафиномъ бумага—діэлектрическій (изолирующій) промежуточный слой. При точныхъ измѣреніяхъ въ качествѣ промежуточняго слоя употребляютъ не бумагу, а слюду.

Наиболѣе удобную и распространенную форму конденсатора представляетъ собою лейденская банка, основной принципъ которой легко понятенъ изъ всего вышесказаннаго. Она состоитъ (черт. 13) изъ стекляннаго сосуда въ формѣ обыкновенной банки для варенья. Эта банка изнутри и извнѣ приблизительно до $^2/_3$ своей вышины оклеена оловянной бумагой (станіолемъ)—проводящимъ тѣломъ. Эти два станіолевыхъ листа, такъ называемыя обкладки банки, замѣняютъ здѣсь наши пластины A и B (черт. 12). Стекло служитъ діэлектрикомъ Если мы одну изъ пластинъ, служащую собирателемъ, соединимъ съ электрической машиной, а другую сообщимъ съ землей, то на собирательной пластинѣ скопится большое количество электричества, она сильно зарядится, значительно сильнѣе, чѣмъ мы могли бы ее зарядить, если бы эта пластина была одна.

Черт. 13.



Для того, чтобы можно было произвести эти соединенія, къ банкѣ придѣлана деревянная крышка, сквозь которую проходитъ металлическій стержень съ шарикомъ на концѣ. Металлическій стержень касается внутренней обкладки. Снаружи имѣется обходящая вокругъ наружной обкладки проволока съ петелькой для соединенія. Если соединимъ проводникомъ шарикъ стержня съ кондукторомъ электриче-

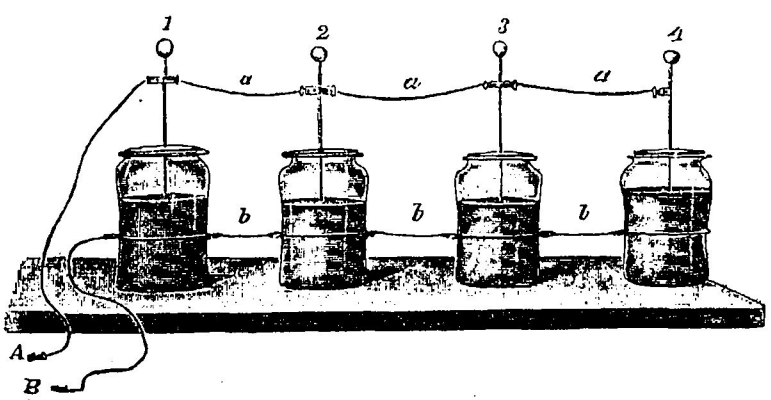
ской машины, а внѣшнюю обкладку—съ землею (проще всего держать банку рукой за внѣшнюю обкладку), тогда мы будемъ въ состояніи, вращая электрическую машину, очень сильно зарядить банку. Если шарикъ банки соединенъ съ положительнымъ кондукторомъ электрической машины, то внутренняя обкладка электризуется положительно, а внѣшняя—отрицательно, такъ какъ индуктированное электричество второго рода отведено было въ землю. Если бы шарикъ заряжался отрицательнымъ электричествомъ, то заряды пластинокъ были бы противоположные.

Количество электричества, которое можетъ вмѣстить банка, тѣмъ больше, чѣмъ больше ея емкость, а емкость банки тѣмъ больше, чѣмъ больше ея обкладки и чѣмъ меньше разстояніе между станіолевыми пластинками, т. е. чѣмъ тоньше стекло банки.

Итакъ, если мы желаемъ накопить очень много электричества нужно стекло взять по возможности тоньше (на практикѣ, однако въ виду ломкости существуетъ извѣстный предѣлъ тонкости стекла), а обкладки взять по возможности большими. Послѣдняго, впрочемъ, легче достигнуть, если взять не одну, а нѣсколько банокъ. Если взять рядъ лейденскихъ банокъ и соединить вмѣстѣ всѣ ихъ внутреннія обкладки а всѣ внѣшнія сообщить съ землею, то такая система банокъ равносильна одной банкѣ съ очень большими обкладками. Всѣ внутреннія станіолевыя обкладки образуютъ вмѣстѣ одну большую станіолевую пластину, точно также и всѣ внѣшнія. Такимъ образомъ можно (въ сущности это само собой очевидно) въ батареѣ изъ 4 лейденскихъ банокъ, внутреннія обкладки которыхъ всѣ соединены другъ съ другомъ, скопить въ 4 раза больше электричества, чѣмъ въ одной.

Подобная батарея изъ 4-хъ банокъ изображена на черт. 14. Внѣшнія обкладки соединены между собой металлическими проволоками *bb*... внутреннія же проволоками *aa*... Проводъ A идетъ къ электри-

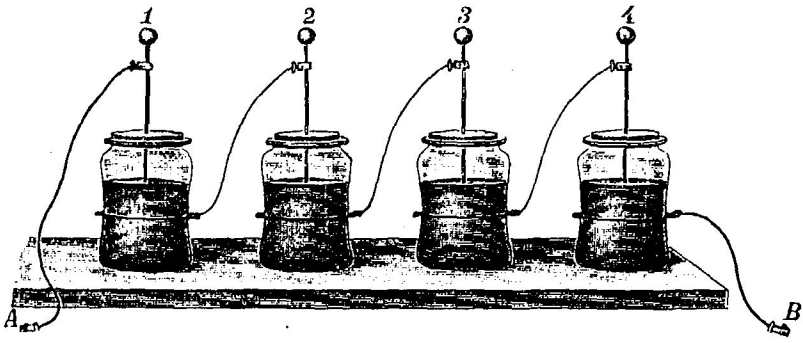
Черт. 14.



ческой машинѣ, проводъ В къ землѣ, для чего его присоединяютъ къ находящимся въ домѣ газовой или водопроводной трубамъ. Соединеніе ряда банокъ описаннымъ способомъ называютъ параллельнымъ.

Однако, рядъ банокъ можно соединить и инымъ способомъ, а именно такъ, какъ показано на черт. 15. Для этого внѣшнюю обкладку первой банки соединяютъ съ внутренней обкладкой второй банки, внѣшнюю обкладку второй съ внутренней обкладкой третьей и т. д. Внутреннюю обкладку первой банки соединяютъ проводомъ А съ электрической машиной, внѣшнюю же обкладку послѣдней банки проводомъ В съ землей. Такой способъ соединенія называется послѣдовательнымъ. Въ этомъ случаѣ дѣло обстоитъ иначе, чѣмъ при параллельномъ соединеніи; вся батарея имѣетъ всего лишь одну четверть емкости каждой банки. Въ самомъ дѣлѣ, когда внутренняя обкладка первой банки получаетъ отъ электрической машины извѣстное количество положительнаго электричества, то на внѣшней обкладкѣ

Черт. 15.

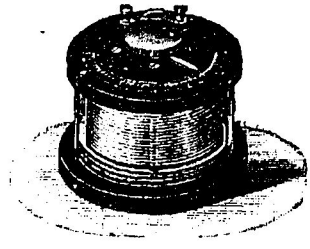


ея останется равное ему количество отрицательнаго электричества, и такое же количество положительнаго, какъ индуктированное электричество второго рода, перейдетъ на 2 и зарядитъ внутреннюю обкладку второй банки. То же происходитъ и со слѣдующими банками. Итакъ, на каждой банкѣ всегда находится одно и то же количество электричества. Но разность напряженій на концахъ всей батареи въ четыре раза больше, чѣмъ на двухъ обкладкахъ каждой банки; поэтому емкость всей батареи равна лишь одной четверти емкости каждой банки, взятой отдѣльно. Отсюда вытекаетъ слѣдующее правило, которымъ впослѣдствіи мы будемъ пользоваться: отъ параллельнаго соединенія конденсаторовъ емкость увеличивается, отъ послѣдовательнаго—уменьшается.

Для нѣкоторыхъ цѣлей употребляютъ конденсаторы, емкость которыхъ можно измѣнять въ извѣстныхъ предѣлахъ. Такіе конденсаторы съ перемѣнной емкостью (черт. 16) изготовляются многими фирмами. Они состоятъ изъ стекляннаго сосуда съ эбонитовыми крышкой

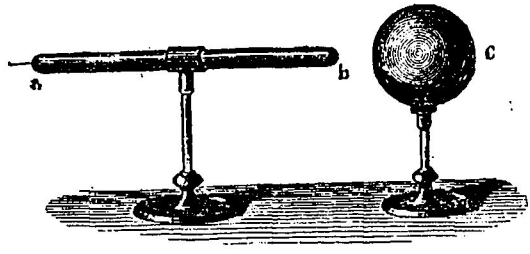
и дномъ, внутри котораго расположены, на равномъ другъ отъ друга разстояніи, нѣсколько неподвижныхъ полукруглыхъ латунныхъ пластинокъ; между ними располается система такихъ же полукруглыхъ латунныхъ пластинокъ, укрѣпленныхъ на одной общей оси, вращая которую можно болѣе или менѣе надвигать одну систему пластинокъ на другую. Какъ неподвижныя пластинки, такъ и подвижныя соединены другъ съ другомъ параллельно, причемъ одна система соединена съ однимъ полюсомъ электрической машины, другая же—съ другимъ или съ землей. Когда обѣ системы пластинокъ совершенно надвинуты другъ на друга, то емкость наибольшая, когда же пластины совсѣмъ не находятъ друга на друга—наименьшая. Указатель, прикрѣпленный къ оси и движущійся по особой шкалѣ, показываетъ положеніе пластины. Обыкновенно въ качествѣ діэлектрика употребляется воздухъ; однако для сильныхъ напряженій сосудъ наполняютъ жидкимъ парафиномъ. Разстояніе между обѣими системами пластинъ не можетъ быть сдѣлано очень малымъ, и потому общая емкость такихъ перемѣнныхъ конденсаторовъ не велика и равна лишь небольшой долѣ микрофарады. Обыкновенно емкости такихъ маленькихъ конденсаторовъ выражаютъ не въ микрофарадахъ, а въ другихъ единицахъ, электростатическихъ (стр. 8), нѣсколько отличающихся отъ употреблявшихся нами ранѣе единицъ. Въ этихъ единицахъ емкость измѣряется какъ длина, и одна микрофарада, выраженная въ этихъ единицахъ, равна 900.000 см. Поэтому очень малыя емкости часто выражаютъ въ сантиметрахъ. Описанный выше конденсаторъ обладаетъ емкостью, которая измѣняется отъ 0 до 0,002 микрофарады, или, во вновь введенныхъ единицахъ, отъ 0 до 1800 см.

Черт. 16.



Чтобы понять нѣкоторыя приспособленія, о которыхъ рѣчь будетъ ниже, намъ нужно разсмотрѣть вліяніе острія, помѣщеннаго на проводникѣ, подверженномъ индукціи. Если проводникъ *ab* (черт. 17), подверженный индукціи, въ точкѣ *a*, удаленной отъ индуктирующаго тѣла C, имѣетъ остріе, то на этомъ остріѣ собирается индуктированное электричество второго рода, а такъ какъ плотность на остріѣ (какъ мы выше видѣли) чрезвычайно велика, то

Черт. 17.



частицы электричества начинаютъ истекать съ острія. На проводникѣ *ab* остается такимъ образомъ лишь индуктированное электричество перваго рода.

Точно также, если остріе прикрѣплено въ точкѣ *b*, на которой собирается индуктированное электричество перваго рода, то на немъ это электричество имѣетъ наибольшую плотность. Поэтому оно истекаетъ, и на *ab* остается лишь индуктированное электричество второго рода (одноименное). Но одновременно и на шарѣ C плотность электричества сдѣлается наибольшей на томъ мѣстѣ шара, которое лежитъ противъ острія (стр. 26). Это сильное увеличеніе плотности вызываетъ на шарѣ точно такъ же, какъ на остріѣ, истеченіе электричества. Если же теперь удалить остріе отъ шара C, то окажется, что въ C теперь электричества меньше, чѣмъ было раньше, а тѣло *ab* окажется заряженнымъ одноименно.

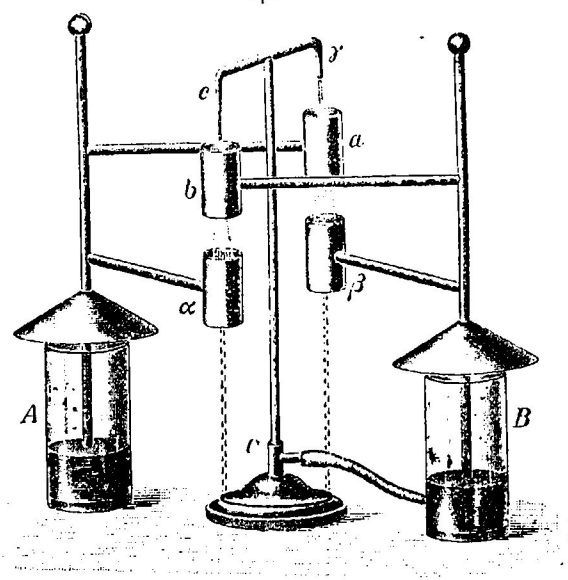
Такимъ образомъ явленіе представляется такъ, какъ будто бы остріе высосало электричество изъ проводника C. Поэтому такое дѣйствіе острій называютъ также высасывающимъ дѣйствіемъ, хотя очевидно, что въ сущности никакого высасыванія тутъ нѣтъ. Этимъ свойствомъ острій пользуются въ электрической машинѣ тренія, описанной нами выше. Въ ней кондукторъ машины сообщенъ былъ съ кольцомъ, между остріями котораго проходилъ вращающійся стеклянный кругъ. Посредствомъ этихъ острій кондукторъ заряжался индуктированнымъ электричествомъ того же рода, какое возбуждалось треніемъ на стеклянномъ кругѣ, т. е. положительнымъ.

Какъ придумали машину, которая посредствомъ тренія можетъ развить большія количества электричества, такъ же точно явилась идея о возможности построить машину, которая посредствомъ индукціи производила бы значительныя количества электричества, или, точнѣе говоря, которая бы раздѣляла въ значительныхъ количествахъ положительные и отрицательные заряды. Дѣйствительно, заряды — электроны—уже существуютъ готовыми, электризація же заключается лишь въ отдѣленіи положительныхъ электроновъ отъ отрицательныхъ. Дѣйствіе этихъ машинъ, называемыхъ статическими машинами, основывается на томъ, что въ нихъ причина и слѣдствіе непрерывно способствуютъ другъ другу, и благодаря этому производительность машины достигаетъ весьма большой величины.

Особенно ясно это взаимное усиленіе причины и слѣдствія можно наблюдать на машинѣ, построенной геніальнымъ англійскимъ физикомъ лордомъ Кельвиномъ; этотъ приборъ наглядно изображаетъ принципъ дѣйствія машинъ, но вовсе не отличается большою производительностью. Это—такъ называемая водяная статическая машина, изображенная на черт. 18, въ которой индукціи подвергается водяная струя. Въ двухъ хорошо изолированныхъ стаканахъ A и B находится по ме-

таллическому стержню, изъ которыхъ каждый несетъ по два пустыхъ сосуда: одинъ—сосуды a и α, другой—b и β. Кромѣ того, на каждомъ стержнѣ имѣется приспособленіе, служащее для прикрытія стакановъ отъ разбрызгивающейся воды. Установка дѣлается такъ, чтобы b какъ разъ приходился надъ α, а a надъ β. Верхнія части α и β имѣютъ воронкообразные придатки, чтобы собирать всю падающую воду. Между обѣими системами находится укрѣпленная на подставкѣ трубка C, по которой изъ водопровода поднимается вода, выливающаяся затѣмъ изъ отверстій c и γ. Если мы зарядимъ систему A положительно прикосновеніемъ натертой стеклянной палочки, то на вытекающую изъ γ струю воды при ея прохожденіи сквозь a будетъ индуктироваться электричество. Индуктированное электричество второго рода (положительное) уходитъ въ землю чрезъ водопроводную трубку, сама же струя остается отрицательно наэлектризованной и, падая на β, заряжаетъ его также отрицательно. Вслѣдствіе этого b тотчасъ становится отрицательно наэлектризованнымъ, и потому вытекающая изъ c струя заряжается положительно и при прохожденіи сквозь α отдаетъ ему свое положительное электричество. Поэтому a, заряженное положительно, еще сильнѣе заряжается, отчего и b и β также становятся сильнѣе заряженными отрицательно, и такимъ образомъ слѣдствіе изъ-за усиленія причины все возрастаетъ по своей величинѣ. До тѣхъ поръ, пока водяная струя продолжаетъ течь, система A постоянно заново заряжается положительно, а B отрицательно, и въ теченіе всего этого времени съ электрической машины можно отводить электричество.

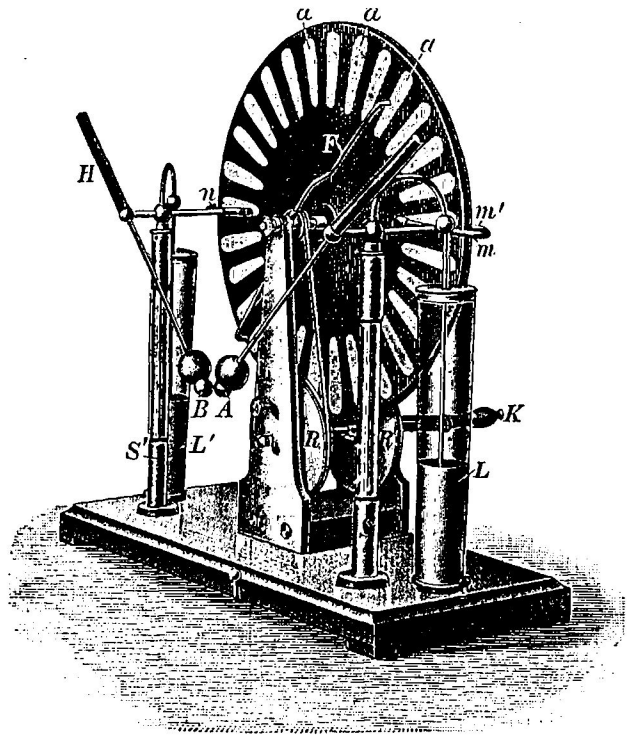
Черт. 18.



Тотъ же принципъ въ различныхъ формахъ употребляется во всѣхъ примѣняющихся на практикѣ статическихъ машинахъ. Такого рода машины были впервые въ очень остроумной формѣ построены Гольцемъ и Теплеромъ, и ихъ машинами пользуются до настоящаго времени. Въ послѣднее время, однако, онѣ все болѣе и болѣе вытѣсняются машинами Вимшёрста, хотя Вимшёрстъ въ принципѣ

не далъ ничего новаго, такъ какъ все существенное было уже сдѣлано Гольцемъ и Теплеромъ. Преимущество ихъ состоитъ въ томъ, что ихъ не нужно заряжать извнѣ, и что онѣ сами по себѣ приходятъ въ дѣйствіе, когда ихъ вращаютъ. Это — самовозбуждающіяся машины. Кромѣ того, онѣ значительно проще по конструкціи и на нихъ не столь сильно вліяетъ влажность воздуха. Внѣшній видъ машины Вимшёрста представленъ на черт. 19.

Черт. 19.

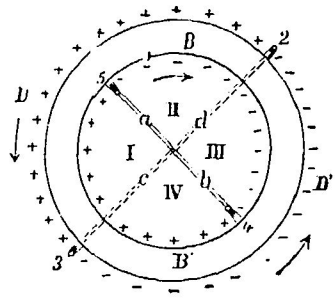


Эта машина имѣетъ два круга изъ стекла или эбонита, расположенные на разстояніи 5 мм. другъ отъ друга. Круги вращаются одновременно, но въ противоположныхъ направленіяхъ, передній, напр., по движенію часовой стрѣлки, задній — обратно этому движенію. Этого достигаютъ тѣмъ, что шнуръ, идущій отъ колесъ R и R′ на шкивъ оси передняго диска, перекидывается прямо, а шнуръ, идущій на шкивъ оси задняго диска, перекрещенъ. На каждый кругъ наклеенъ, какъ показано на чертежѣ, рядъ металлическихъ секторовъ *a*, *a*, *a*. Круги справа и слѣва охватываются металлическими вилками *m*, *m′* и *n*, снабженными со стороны, обращенной къ дискамъ, остріями. Отъ этихъ вилокъ идутъ латунные стержни, поддерживающіеся стеклянными ножками *s* и *s′*; къ этимъ стержнямъ прикрѣплены металлическія, выдви-

гающіяся палки, оканчивающіяся шарами A и B, такъ называемыми кондукторами. Важною частью машины являются затѣмъ два уравнителя F, по одному съ каждой стороны (задній, перпендикулярный къ F, на чертежѣ не виденъ). Уравнители состоятъ изъ металлическихъ стержней, снабженныхъ по концамъ мягкими кисточками изъ металлической проволоки, трущими по секторамъ a, a. Если привести машину во вращеніе, то тотчасъ развивается электричество, обнаруживающееся прохожденіемъ искръ или тихаго разряда между A и B. Уравнители повернуты на уголъ около 50° относительно гребешковъ. Гребешки и соединенные съ ними шары могутъ быть, какъ показано на чертежѣ, соединены съ лейденскими банками L и L' (т. е. съ внутренними ихъ обкладками).

Явленія, происходящія въ этой машинѣ, легче всего прослѣдить по схематическому чертежу 20. На немъ внутренній кругъ BB' изображаетъ одинъ дискъ съ его секторами, внѣшній кругъ DD' — другой дискъ съ его секторами. Уравнитель внутренняго круга съ его кистями обозначенъ a b, уравнитель внѣшняго круга — c d. Гребешки съ остріями пока не изображены. Дѣйствіе машины можно вполнѣ объяснить, если мы будемъ разсматривать пока только явленія, происходящія на секторахъ, не обращая вниманія на роль эбонита. Одновременное вращеніе двухъ круговъ въ противоположныхъ направленіяхъ мы будемъ здѣсь разсматривать, какъ послѣдовательные повороты то одного, то другого круга.

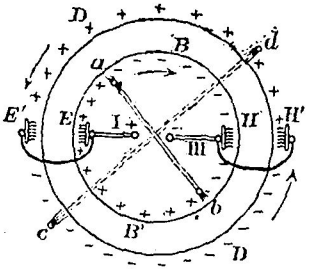
Черт. 20.



Пусть секторъ 1 внутренняго круга по какой-либо причинѣ слегка заряженъ отрицательнымъ электричествомъ. Такъ какъ онъ изолированъ, то зарядъ на немъ обыкновенно сохраняется отъ предыдущаго пользованія машиной. Повернемъ внутренній кругъ направо, внѣшній же кругъ пусть пока будетъ неподвиженъ. Секторъ 1 проходитъ мимо секторовъ внѣшняго круга, которые тоже изолированы, и, проходя мимо, возбуждаетъ въ нихъ оба рода электричества, которые, однако, тотчасъ снова соединяются, какъ только секторъ 1 пройдетъ мимо. Но когда секторъ 1 пройдетъ мимо сектора 2 внѣшняго круга, соприкасающагося съ уравнителемъ dc, на 2 разовьется положительное электричество, а на соединенный съ нимъ металлическимъ уравнителемъ секторъ 3 перейдетъ электричество отрицательное. Но вѣдь и внѣшній кругъ вращается, и въ слѣдующій моментъ уже 2 и 3 не соединены вмѣстѣ, а потому на 2 остается его положительное, а на 3 его отрицательное электричество. Внѣшній кругъ вращается далѣе налѣво, и

какъ только 3 окажется противъ 4, онъ возбудитъ на немъ положительное электричество и оттолкнетъ отрицательное на 5. Въ то же время 2 индуктируетъ на 5 отрицательное электричество и отталкиваетъ положительное на 4. Результатомъ этого является положительный зарядъ сектора 4 и отрицательный — сектора 5. Затѣмъ 4 и 5 снова повернутся, причемъ 5 исполняетъ теперь тѣ же функціи, какія исполнялъ въ началѣ 1 и т. д. Окончательнымъ результатомъ являются заряды на секторахъ внутренняго и внѣшняго круга, расположенные такъ, какъ это показано знаками + + и — — на чертежѣ. Мы видимъ, что между уравнителями обѣ части круговъ имѣютъ справа отрицательно заряженные секторы, слѣва — положительно заряженные. Если здѣсь расположить соединенные съ шаромъ гребешки, какъ это показано на черт. 21, то къ лѣвому шару будетъ непрерывно притекать положительное, а къ правому отрицательное электричество.

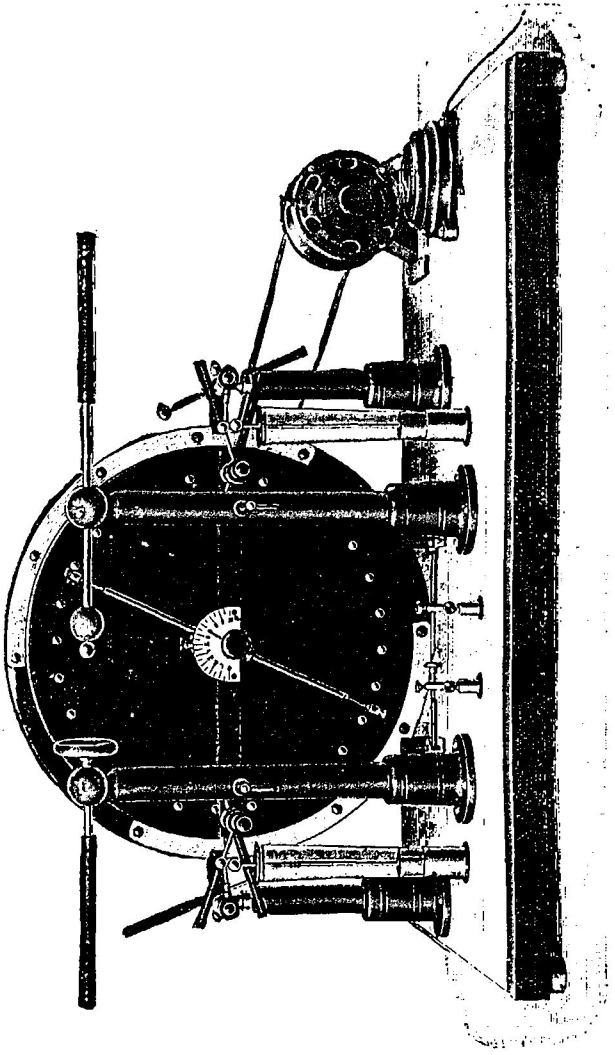
Черт. 21.



Здѣсь такъ же, какъ и въ случаѣ водяной статической машины, имѣетъ мѣсто усиленіе причины и слѣдствія. Однако тамъ водяная струя играетъ роль тѣла, подверженнаго индукціи, и одновременно съ этимъ она переноситъ индуктированное электричество на твердый проводникъ; въ только-что описанной машинѣ индукціи подвергаются секторы, а перенесеніе электричества производится уравнителями.

Въ послѣднее время, нѣкоторыми существенными измѣненіями въ конструкціи машинъ Вимшёрста достигнута очень большая ихъ производительность; такія машины, изготовляемыя Верзеномъ въ Берлинѣ, называются статическими машинами высокаго напряженія. Въ машинѣ Верзена, внѣшній видъ которой изображенъ на черт. 22, одинъ кругъ укрѣпленъ неподвижно, другой же вращается (рукой или маленькимъ моторомъ, какъ то показано на чертежѣ). Существенное измѣненіе состоитъ въ томъ, что секторы у этихъ машинъ не наклеены на кругъ, а вдѣланы въ эбонитовые круги. Они состоятъ изъ волнообразно изогнутыхъ металлическихъ палочекъ. У этихъ машинъ имѣется всего одинъ уравнитель, какъ то видно изъ чертежа, который по имѣющейся особой шкалѣ можетъ быть установленъ въ должномъ положеніи. Вся машина построена чрезвычайно крѣпко для того, чтобы она могла выдержать быстрое вращеніе. При одинаковой величинѣ такая машина дѣйствуетъ въ четыре раза сильнѣе, чѣмъ обыкновенная машина Вимшёрста. Вмѣсто двухъ шаровъ, она имѣетъ шаръ и пластинку, которые при помощи крѣпкихъ эбонитовыхъ стоекъ могутъ быть сближены или раздвинуты. Разъ статическая машина приведена въ дѣйствіе, то вскорѣ количество электричества на кондукто-

рахъ, а слѣдовательно и плотность электричества на нихъ, сдѣлаются столь большими, что ихъ не нужно болѣе держать сдвинутыми. Тогда черезъ воздухъ самъ собой непрерывно происходитъ переходъ электричества отъ положительно наэлектризованнаго кондуктора къ отрицательно наэлектризованному. Дѣйствительно, если раздвинуть



Черт. 22.

шарики, или шарикъ и пластинку, то электрическія частички въ силу ихъ большой плотности стремятся прочь съ шариковъ и, перенося свои заряды чрезъ промежуточный слой воздуха, другъ друга нейтрализуютъ. Это истеченіе электричества сопровождается слабыми свѣтовыми явленіями. Въ темнотѣ видно, какъ изъ кондукторовъ исходятъ слабо свѣтящіеся, синіе или фіолетовые лучи, расположенные въ видѣ

пучка. Это свѣтовое явленіе называютъ свѣтовою кистью; оно сопровождается обыкновенно легкимъ шипящимъ звукомъ; самый же разрядъ называется тихимъ.

Можно, однако, заставить оба электричества соединиться не только въ видѣ тихаго разряда, но и иначе. Если оба шарика соединить съ шариками двухъ лейденскихъ банокъ, какъ изображено на черт. 19 (въ машинѣ, представленной на черт. 22, при помощи рычага можно по желанію соединять кондукторы съ шариками лейденскихъ банокъ), то при вращеніи машины объ банки и съ ними оба шарика зарядятся весьма сильно, но въ то же время непрерывнаго разряда электричества между этими кондукторами не будетъ. При этомъ постепенно увеличивается разность напряженій между кондукторами. Когда она достигнетъ извѣстной величины, совершенно опредѣленной для каждаго даннаго разстоянія между шариками, тогда слой воздуха съ силою пробивается электричествомъ. Положительное электричество на шарикѣ одной лейденской банки и отрицательное электричество на шарикѣ другой — сильно притягиваются, и между шариками съ трескомъ проскакиваетъ электрическая искра. Если продолжать вращать машину, то одинъ кондукторъ опять наэлектризуется положительно съ большой плотностью, а другой отрицательно; мало-по-малу силы, дѣйствующія между шариками, снова преодолѣваютъ сопротивленіе воздуха, и такимъ образомъ отъ времени до времени между шариками будутъ перескакивать искры. Послѣ каждаго появленія искры оба кондуктора частью разряжаются, такъ какъ разноименныя электричества ихъ нейтрализуютъ другъ друга. Такое явленіе называютъ взрывнымъ или мгновеннымъ разрядомъ.

То же явленіе произойдетъ и тогда, когда мы не имѣемъ двухъ близкихъ другъ къ другу и противоположно наэлектризованныхъ проводниковъ, но когда мы просто къ заряженному наэлектризованному проводнику приблизимъ другой ненаэлектризованный. На ненаэлектризованномъ проводникѣ индуктируется электричество, и когда мы его достаточно приблизимъ къ первому заряженному проводнику, то оба противолежащихъ и разноименныхъ электричества дойдутъ до столь большой плотности, что преодолѣютъ сопротивленіе воздуха. И въ этомъ случаѣ между ними проскочитъ электрическая искра. Даже если приблизить къ заряженному проводнику палецъ, то и тогда проскакиваетъ искра и въ пальцѣ чувствуется легкій уколъ.

Мы дошли теперь уже до совершенно новой области электрическихъ явленій. Всѣ наши разсужденія до сихъ поръ относились къ явленіямъ, въ которыхъ электричество находится въ равновѣсіи, въ покоѣ. Теперь же мы коснулись уже перехода электричества съ одного заряженнаго проводника на другой, т. е. явленія движенія электричества. Изъ всѣхъ этихъ явленій, которыя дальше будутъ

разсмотрѣны подробно, мы здѣсь вкратцѣ коснемся лишь двухъ, которыя намъ вскорѣ понадобятся.

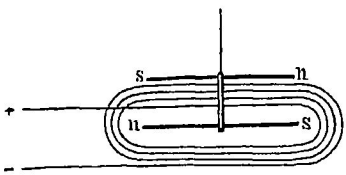
Если оба шарика нашей машины, или, вообще, два противоположно наэлектризованныхъ проводника, соединить другъ съ другомъ металлической проводящей проволокой, то, очевидно, соединеніе электричествъ произойдетъ уже не черезъ воздухъ, а черезъ проволоку, такъ какъ черезъ металлы электричество перемѣщается съ чрезвычайно большой легкостью. Тогда съ положительно наэлектризованнаго тѣла, на которомъ электричество имѣетъ большее напряженіе, положительное электричество пойдетъ на отрицательно наэлектризованное тѣло, напряженіе котораго меньше, и будетъ идти до тѣхъ поръ, пока электричества не уравновѣсятъ другъ друга. Итакъ, по проволокѣ или вдоль нея происходитъ уравновѣшиваніе электричествъ, или, выражаясь вкратцѣ: электричество течетъ по проволокѣ. Мы можемъ представить себѣ это явленіе, какъ движеніе по проволокѣ электроновъ— положительныхъ по направленію къ отрицательно заряженному проводнику, и отрицательныхъ въ противоположномъ направленіи, къ положительно заряженному тѣлу. Вращеніе машины вызываетъ непрерывно на одномъ проводникѣ положительное, на другомъ отрицательное электричество; одинъ проводникъ имѣетъ положительное напряженіе, другой — отрицательное, слѣдовательно между ними есть разность напряженій, и по этой именно причинѣ оба электричества и текутъ непрерывно по проволокѣ. Мы говоримъ тогда, что по проволокѣ проходитъ электрическій токъ. Этотъ электрическій токъ вызываетъ въ проволокѣ и кругомъ нея нѣкоторыя явленія, изъ которыхъ главныя мы здѣсь вкратцѣ укажемъ.

Мы уже раньше убѣдились (стр. 15), что при этомъ проволока нагрѣвается. Изъ этого можно заключить, что въ явленіи тока принимаетъ участіе сама проволока, самъ проводникъ. Въ случаѣ равновѣсія электричества мы видѣли, что только поверхность проводника находится въ электрическомъ состояніи, при явленіи же электрическаго тока внутренность проволоки принимаетъ въ немъ участіе; мы убѣждаемся въ этомъ изъ того, что проволока нагрѣвается, а впослѣдствіи еще подробнѣе изслѣдуемъ это, когда будемъ разсматривать законы, которымъ слѣдуетъ нагрѣваніе проводниковъ.

Другое весьма замѣчательное дѣйствіе электрическаго тока заключается въ отклоненіи магнитной стрѣлки, находящейся вблизи него. Это можно обнаружить слѣдующимъ образомъ. Проволоку, по которой долженъ проходить токъ, тщательно покрываютъ каучукомъ и затѣмъ наматываютъ въ большомъ числѣ оборотовъ на деревянную рамку (черт. 23). Сквозь отверстіе, продѣланное въ этой рамѣ, свободно проходитъ палочка изъ слоновой кости, подвѣшенная на ниточкѣ; къ ней прикрѣплены двѣ магнитныхъ стрѣлки *sn* и

ns, такъ что одна стрѣлка находится внутри витковъ, другая внѣ ихъ. Полюсы стрѣлокъ расположены такъ, что противъ сѣвернаго полюса одной лежитъ южный полюсъ другой. Такая система стрѣлокъ называется астатической. Какъ только черезъ эту проволочную обмотку, называемую мультипликаторомъ, мы пропустимъ электрическій токъ, соединивъ, напримѣръ, объ обкладки лейденской банки прикосновеніемъ къ каждой изъ нихъ одного изъ концовъ нашей проволоки, то стрѣлки отклонятся отъ своего положенія и останутся отклоненными все время, пока проходитъ токъ. Когда электрическій токъ прекратится, стрѣлки вернутся въ свое прежнее положеніе равновѣсія. Этимъ дѣйствіемъ электрическаго тока, ближайшимъ разсмотрѣніемъ котораго мы еще займемся впослѣдствіи, мы часто будемъ пользоваться, чтобы узнать, проходитъ ли вообще электрическій токъ черезъ какую либо проволоку. Электрическій токъ производитъ еще цѣлый рядъ другихъ дѣйствій, которыя, однако, трудно замѣтить съ помощью тѣхъ слабыхъ токовъ, съ которыми мы теперь пока имѣемъ дѣло.

Черт. 23.

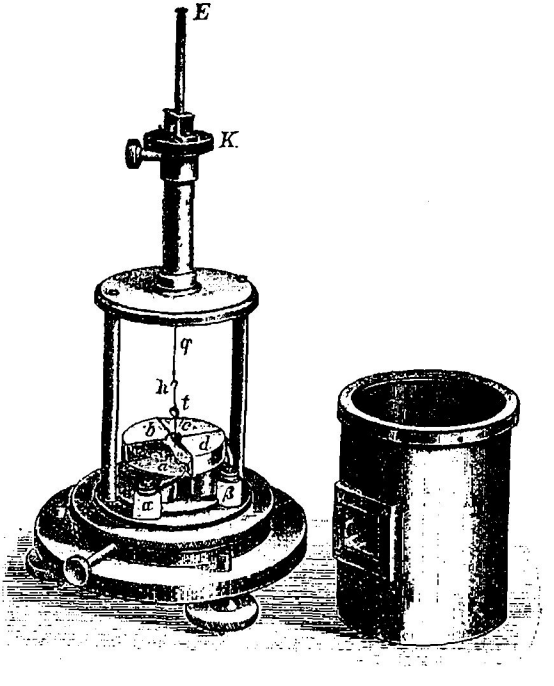


Въ каждой наукѣ прогрессъ знанія заключается въ переходѣ отъ грубыхъ, бросающихся въ глаза явленій, къ явленіямъ тонкимъ, которыя сначала остаются незамѣченными. Однако этотъ переходъ осуществимъ лишь въ томъ случаѣ, когда устраиваются все болѣе чувствительные измѣрительные приборы, при помощи которыхъ можно точно измѣрять даже самыя незначительныя измѣненія. Область явленій, соприкасающихся съ электрическими зарядомъ и напряженіемъ, также обязана своимъ развитіемъ прибору, дающему возможность обнаружить и точно измѣрить самыя незначительныя количества электричества и напряженія. Приборы, позволяющіе намъ производить эти наблюденія, называются электрометрами. Обыкновенный электроскопъ съ золотыми листочками даетъ намъ уже возможность замѣтить присутствіе электричества и въ формѣ вышеописаннаго экснеровскаго прибора можетъ служить даже для измѣреній. Точно также и электроскопъ Брауна позволяетъ измѣрять напряженіе заряженныхъ тѣлъ. Однако всѣ эти электроскопы мало чувствительны. Значительно болѣе чувствительнымъ является квадрантный электрометръ, который даетъ возможность измѣрять весьма малыя величины напряженій.

Впервые такой электрометръ былъ построенъ лордомъ Кельвиномъ, но впослѣдствіи онъ подвергался значительнымъ измѣненіямъ. Ниже (черт. 24) описывается электрометръ, построенный Долезалекомъ.

Внутри латунной коробочки, раздѣленной на четыре квадранта a, b, c, d (квадрантъ a на чертежѣ не изображенъ для того, чтобы можно было видѣть внутренность), подвѣшена пластинка u, сдѣланная изъ посеребренной бумаги и имѣющая форму восьмерки (такъ называемый бисквитъ). Къ пластинкѣ придѣланъ стержень, выступающій изъ коробки и кончающійся наверху крючкомъ h; кромѣ того на стержнѣ укрѣплено зеркальце t. За этотъ крючекъ бисквитъ подвѣшенъ къ тонкой кварцевой нити q, укрѣпленной въ свою очередь наверху прибора въ k. Для лучшей изоляціи, квадранты установлены на янтарныхъ ножкахъ. Квадранты a и c соединены между собой проволокой и отъ a идетъ еще проволока къ зажиму α; b и d также соединены другъ съ другомъ и отъ d идетъ проволока къ зажиму β. Зажимы α и β называются электродами электрометра. Кварцевая нить, сама по себѣ являющаяся изоляторомъ, а также и все, что къ ней прикрѣплено, погружаются передъ употребленіемъ, для приданія имъ проводимости, въ растворъ хлористаго кальція. Эта соль гигроскопична, поглощаетъ изъ воздуха воду и остается поэтому влажной и проводящей. Весь приборъ, для защиты отъ движеній воздуха, помѣщаютъ подъ колпакъ, изображенный отдѣльно, и чрезъ имѣющееся въ немъ окошечко наблюдаютъ за движеніемъ зеркальца.

Черт. 24.



Чтобы пользоваться этимъ приборомъ, устанавливаютъ бисквитъ u такъ, чтобы онъ находился между ad и bc и разъ навсегда заряжаютъ его весьма сильно положительнымъ электричествомъ (доводятъ до высокаго положительнаго напряженія), соединивъ зажимъ E, напримѣръ, съ магистралью освѣтительной сѣти, если таковая имѣется. Его напряженіе чрезъ кварцевую нить передается бисквиту. Затѣмъ одинъ изъ электродовъ, напр. α, соединяется съ землею, т. е. приводится къ напряженію, равному нулю, а вмѣстѣ съ тѣмъ и соединенные съ нимъ квадранты a и c. Посредствомъ другого электрода β

квадрантамъ *d* и *b* сообщаютъ изслѣдуемое электричество. Если оно положительно, то положительно наэлектризованный бисквитъ отталкивается квадрантами *d* и *b* и движется по направленію къ *a* и *c*, т. е. по направленію движенія часовой стрѣлки. Если же сообщенное электричество отрицательное, то пластинка притягивается квадрантами *d* и *b*, т. е. движется въ направленіи, обратномъ движенію часовой стрѣлки. Итакъ, направленіе вращенія указываетъ намъ на то, положительно или отрицательно сообщенное нами электричество, а уголъ поворота, который можетъ быть измѣренъ по перемѣщенію изображенія шкалы въ зеркальцѣ, даетъ намъ мѣру величины изслѣдуемаго напряженія. Изображеніе шкалы въ зеркальцѣ наблюдается въ подзорную трубу.

Если мы ближе разсмотримъ дѣйствіе квадрантнаго электрометра, то мы замѣтимъ, что, подобно экснеровскому и брауновскому электроскопамъ (стр. 18), онъ измѣряетъ, въ сущности, вовсе не количества электричества, а лишь напряженіе, и что только по немъ мы затѣмъ можемъ сравнивать уже другъ съ другомъ различныя количества электричества. Дѣйствительно, при измѣреніяхъ бисквитъ разъ навсегда доводится до нѣкотораго высокаго напряженія соединеніемъ его электрода E съ наэлектризованнымъ до высокаго напряженія тѣломъ. Изслѣдуемое тѣло соединяется тонкой проволокой съ одной парой квадрантовъ, напр. съ *b* и *d*. Изъ изслѣдуемаго тѣла черезъ проволоку электричество течетъ на пару квадрантовъ *b* и *d* до тѣхъ поръ, пока ихъ напряженіе не сдѣлается равнымъ напряженію изслѣдуемаго тѣла. Слѣдовательно количество электричества на этой парѣ квадрантовъ будетъ тѣмъ больше, чѣмъ выше напряженіе испытуемаго тѣла. Итакъ, уголъ поворота пластинки даетъ непосредственно мѣру напряженія изслѣдуемаго тѣла, но вовсе не мѣру находящагося на немъ количества электричества. Такимъ образомъ, мы имѣемъ возможность сравнивать напряженія различныхъ заряженныхъ тѣлъ. Для того, чтобы выражать величины напряженій, измѣряемыхъ электрометромъ, прямо въ вольтахъ, надо электрометръ проградуировать. Это дѣлается слѣдующимъ образомъ. Существуютъ такъ называемые нормальные элементы, напряженіе которыхъ, выраженное въ вольтахъ, имѣетъ разъ навсегда опредѣленную точными измѣреніями величину; о нихъ мы будемъ подробно говорить въ главѣ IV. Здѣсь мы принимаемъ безъ доказательства, что элементъ Вестона имѣетъ на своихъ полюсахъ разность напряженій, равную 1,019 вольтъ. Если соединить одинъ полюсъ элемента Вестона съ землей, а другой съ парой квадрантовъ нашего электрометра, то они получатъ напряженіе въ 1,019 вольтъ; бисквитъ вмѣстѣ съ зеркальцемъ сдѣлаетъ нѣкоторый поворотъ, который измѣряется числомъ пройденныхъ имъ дѣленій шкалы, отражающейся въ зеркальцѣ, и отсчитываемыхъ при помощи зрительной трубы. Пусть,

напримѣръ, пройдено 100 дѣленій шкалы. Тогда каждый поворотъ бисквита на одно дѣленіе шкалы соотвѣтствуетъ заряду въ 0,01019 вольтъ; въ такомъ случаѣ при измѣреніи нѣкотораго напряженія, опредѣливъ только число пройденныхъ дѣленій шкалы, т. е. уголъ поворота бисквита, мы можемъ тотчасъ выразить искомое напряженіе въ вольтахъ.

Соотвѣтственнымъ расположеніемъ такихъ электрометрическихъ измѣреній можно съ помощью ихъ опредѣлять также и емкости проводниковъ или конденсаторовъ въ микрофарадахъ, если для сравненія у насъ имѣется конденсаторъ опредѣленной емкости, напр., описанный на стр. 20—въ $^1/_{10}$ микрофарады. Для этой цѣли изслѣдуемый конденсаторъ заряжаютъ, напримѣръ, при помощи электрической машины. Тогда собирательная пластина получаетъ нѣкоторое опредѣленное напряженіе и будетъ содержать нѣкоторое опредѣленное количество электричества; величины ихъ намъ неизвѣстны, но про нихъ мы знаемъ (стр. 28), что количество электричества собирательной пластины равно емкости конденсатора, умноженной на напряженіе. Это напряженіе мы можемъ измѣрить, соединивъ собирательную обкладку конденсатора съ электрометромъ и измѣривъ отклоненіе бисквита. Когда это выполнено, отдѣлимъ конденсаторъ отъ электрометра и соединимъ его собирательную пластину съ одной изъ пластинъ конденсатора въ $^1/_{10}$ микрофарады (другая пластина котораго, какъ и всегда, соединена съ землей). Тогда количество электричества, бывшее на испытуемомъ конденсаторѣ, распредѣлится уже по обѣимъ собирательнымъ пластинамъ. Напряженіе изслѣдуемаго конденсатора падаетъ, напряженіе же конденсатора въ $^1/_{10}$ микрофар., равное раньше нулю, растетъ до тѣхъ поръ, пока обѣ пластины не будутъ имѣть одно и то же напряженіе, которое, понятно, будетъ меньше, чѣмъ то, которое раньше было на первомъ конденсаторѣ, количество же электричества на обѣихъ пластинахъ—то же самое, что и раньше. Это новое напряженіе мы опять можемъ измѣрить съ помощью электрометра и, очевидно, что это новое напряженіе будетъ во столько разъ меньше прежняго, во сколько сумма обѣихъ емкостей будетъ больше, чѣмъ емкость перваго конденсатора, отдѣльно взятая. Итакъ, отношеніе емкости изслѣдуемаго конденсатора къ емкости конденсатора въ $^1/_{10}$ микрофарады опредѣлено, и потому подобнымъ сравненіемъ емкость всякаго конденсатора можно выразить въ микрофарадахъ.

Если емкость заряженнаго проводника или конденсатора измѣрена въ фарадахъ, а напряженіе при помощи электрометра въ вольтахъ, то мы опредѣляемъ величину находящагося на немъ заряда въ кулонахъ.

Все разсмотрѣнное нами выше привело насъ, главнымъ образомъ, лишь къ цѣлому ряду опытныхъ данныхъ; но эти опытныя данныя мы часто выражали въ формѣ, которая содержала въ себѣ много гипотетическихъ элементовъ. Такъ, напримѣръ, мы говорили о томъ, что

проводникъ можно зарядить электричествомъ, о томъ, что электричество распространяется по поверхности проводниковъ, говорили о плотности электричества на каждой точкѣ проводника. Но во всемъ этомъ мы смѣшивали и путали факты, наблюденные непосредственно путемъ опыта, съ ничѣмъ не доказанными гипотетическими представленіями. Въ сущности вѣдь мы наблюдали только, что «заряженный» проводникъ производитъ притягательныя и отталкивательныя силы и притомъ во всѣхъ своихъ точкахъ. Но «электричества», будто бы лежащаго на проводникѣ, мы вовсе не наблюдали, мы только гипотетически предположили его существованіе. Въ дѣйствительности, однако, мы пытаемся во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда мы наблюдаемъ такіе факты, представить себѣ картину того, какъ эти факты связаны другъ съ другомъ, мы стремимся свести наблюденныя нами явленія на невидимыя, лишь однимъ умственнымъ окомъ познаваемыя явленія, которыя проще, чѣмъ непосредственно наблюденныя. Такъ электрическія явленія, описанныя выше, объясняются допущеніемъ существованія двухъ различныхъ веществъ—положительнаго и отрицательнаго электричествъ—обладающихъ свойствами, аналогичными съ другими веществами, какъ напр., водородъ или серебро. Подобно тому, какъ допускается, что послѣднія состоятъ изъ атомовъ, приходится допустить, на основаніи явленій, съ которыми мы далѣе познакомимся, что и оба рода электричества состоятъ также изъ атомовъ, называемыхъ, какъ было выше сказано, электронами. Для объясненія явленій, происходящихъ въ проводникахъ, мы должны принять, что въ каждомъ проводникѣ находятся, въ практически неисчерпаемомъ количествѣ, оба рода электроновъ, и что въ металлѣ, т. е. между молекулами проводника, они могутъ свободно двигаться. Изоляторы, или иначе діэлектрики, наоборотъ, не даютъ никакихъ указаній на свободную въ нихъ подвижность электричества. Наиболѣе простое представленіе о сущности изолятора состоитъ въ томъ, что каждая самая маленькая частица діэлектрика, т. е. его молекула (которая состоитъ по крайней мѣрѣ изъ двухъ частей — атомовъ или комплексовъ атомовъ) имѣетъ на одномъ изъ этихъ атомовъ положительный, а на другомъ отрицательный электронъ. Поэтому каждая молекула представляетъ собой полярное тѣло, такъ какъ она имѣетъ два полюса съ зарядами разныхъ знаковъ. Вліяніе діэлектрика при индукціи, напр. на емкость конденсатора, объясняется въ такомъ случаѣ тѣмъ, что положительные электроны діэлектрика болѣе притягиваются къ отрицательно заряженной пластинкѣ, тогда какъ отрицательные—къ положительной, вслѣдствіе чего молекулы располагаются по отношенію другъ къ другу болѣе или менѣе параллельно; въ обыкновенномъ же состояніи, когда индукціи не происходитъ, онѣ всѣ расположены въ совершенномъ безпорядкѣ.

На основаніи закона Кулона мы знаемъ, что эти электроны взаимно притягиваются и отталкиваются. Приписывая электронамъ это свойство, мы какъ бы допускаемъ существованіе силы, дѣйствующей на разстояніи, т. е. силы, исходящей отъ тѣла А и дѣйствующей на тѣло В, безъ всякаго вліянія этой силы на промежуточную между обоими тѣлами среду. Но понятіе о силѣ, дѣйствующей на разстояніи, содержитъ что-то непостижимое, даже мистическое. Когда мы видимъ, что за столомъ сидитъ человѣкъ, и стаканъ на томъ же столѣ движется, то мы, очевидно, раньше всего попытаемся найти, нѣтъ ли какого связывающаго звена между человѣкомъ и стаканомъ, нитки, что ли, или механизма, скрытаго въ доскѣ, или не есть ли это движеніе стакана лишь кажущееся, вызванное оптическимъ обманомъ. Если мы даже не найдемъ ничего подобнаго, то все же—развѣ только если мы склонны къ спиритизму—мы не оставимъ нашего убѣжденія, что это движеніе совершается при посредствѣ какой-либо реальной связи, а не при помощи силъ, дѣйствующихъ на разстояніи безъ посредства среды, силъ, вызываемыхъ хотя бы напряженіемъ воли этого человѣка. Не иначе и съ силами, которыя мы наблюдаемъ вообще въ природѣ, напр., съ электрическими силами притяженія. Съ перваго взгляда онѣ кажутся намъ силами, дѣйствующими непосредственно на разстояніи, но это предположеніе не удовлетворяетъ насъ; мы только тогда поймемъ эти силы, когда намъ удастся выяснить механизмъ, съ помощью котораго тѣло А дѣйствуетъ на тѣло В. Великій англійскій физикъ Фарадей первый проникся убѣжденіемъ, что это необходимо для полнаго пониманія, и стремленіемъ всей его жизни было доказать опытными фактами, что такая передача существуетъ, и показать, въ чемъ она состоитъ. Въ виду того, что, съ одной стороны, электрическія дѣйствія зависятъ отъ природы изолятора, съ другой же, какъ мы это дальше увидимъ, электрическія явленія распространяются черезъ изоляторы съ чрезвычайно большою скоростью, которая столь же велика, какъ и скорость свѣта, то отсюда нужно заключить, что хотя носителемъ электроновъ, можетъ быть, является матеріальное вещество изоляторовъ—его молекулы, но что передача электрическихъ дѣйствій отъ одного электрона къ другому происходитъ при посредствѣ чрезвычайно тонкаго упругаго вещества, того самаго, которое мы принуждены принять для объясненія свѣтовыхъ явленій и которое называютъ, какъ извѣстно, свѣтовымъ эфиромъ. Этотъ эфиръ распространенъ во всемъ міровомъ пространствѣ, но онъ существуетъ и внутри всѣхъ тѣлъ между электронами. Извѣстно, что въ различныхъ прозрачныхъ тѣлахъ свѣтъ распространяется съ различной скоростью, и что такъ называемый показатель преломленія вещества тѣмъ больше, чѣмъ меньше въ немъ скорость свѣта. По взглядамъ Максуэлля этотъ эфиръ есть въ то же время и передатчикъ электрическихъ явленій. Согласно

тому, что было нами только-что принято, отдѣльныя молекулы соединены съ электронами и при распространеніи электрическихъ явленій чрезъ эфиръ, всѣ эти электроны должны быть затронуты и ихъ взаимныя разстоянія должны измѣняться. Отсюда слѣдуетъ, что скорость распространенія электрическихъ дѣйствій чрезъ изоляторъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше въ единицѣ объема находится такихъ паръ электроновъ, т. е. чѣмъ больше діэлектрическая постоянная соотвѣтственнаго изолятора; и дѣйствительно подробное изслѣдованіе показываетъ, что корень квадратный изъ діэлектрической постоянной равенъ скорости распространенія электрическихъ дѣйствій. Изъ этого вытекаетъ слѣдующее важное и интересное заключеніе. Такъ какъ скорость свѣта тѣмъ меньше, чѣмъ больше показатель преломленія, а скорость распространенія электрическихъ явленій тѣмъ меньше, чѣмъ больше квадратный корень изъ діэлектрической постоянной и въ то же время эти двѣ скорости, какъ происходящія въ одномъ и томъ же эфирѣ, должны быть равны, то

Діэлектрическая постоянная вещества равна квадрату его (оптическаго) показателя преломленія.

Эта замѣчательная зависимость, высказанная впервые Максуэллемъ, называется также Максуэллевымъ закономъ. До сихъ поръ онъ прекрасно подтверждается опытными данными, если только для показателей преломленія брать вѣрныя числа. Вотъ, напр., діэлектрическія постоянныя для различныхъ веществъ и квадраты показателей преломленія этихъ веществъ:

Названіе вещества:	Діэлектрическая постоянная:	Квадратъ показателя преломленія.
Сѣра.	3,97	3,89
Парафинъ	2,00	2,01
Тяжелый флинтъ (стекло).	3,16	3,05
Керосинъ	2,07	2,07
Скипидаръ	2,23	2,13

Силы, съ которыми, согласно закону Кулона, дѣйствуютъ другъ на друга два наэлектризованныхъ тѣла, вызываются, такимъ образомъ, согласно этой теоріи, не дѣйствіемъ на разстояніи, а сжатіемъ или растяженіемъ, производимыми электронами въ окружающемъ ихъ эфирѣ; эти смѣщенія распространяются въ эфирѣ и вызываютъ движенія. Такимъ образомъ, электрическія явленія можно разсматривать совершенно иначе, чѣмъ, казалось бы, нужно было ихъ разсматривать, и чѣмъ ихъ разсматривали раньше. Дѣлая изъ этихъ новыхъ воззрѣній надлежащіе выводы, въ важности которыхъ и состоитъ превосходство новыхъ воззрѣній надъ старыми теоріями, мы приходимъ къ познанію совершенно новыхъ явленій, которыя нашли фактическое подтвержденіе въ опытахъ Г. Герца.

ГЛАВА II.

Электричество при соприкосновеніи. Электрическій токъ.

Долгое время считалось невозможнымъ добывать электричество инымъ путемъ, кромѣ тренія. Возможно было, правда, съ помощью разъ наэлектризованнаго тѣла получать дальше уже электричество индукціей, но для этого все же необходимо было имѣть раньше наэлектризованное тѣло, а таковое можно было добыть только треніемъ. Но вотъ въ концѣ восемнадцатаго столѣтія Вольта, профессоръ въ Павіи, исходя изъ случайнаго наблюденія, сдѣланнаго Гальвани, произвелъ цѣлый рядъ опытовъ, которые не только дали совершенно новые методы для полученія электричества, но въ то же время чрезвычайно расширили область нашихъ познаній о дѣйствіяхъ электричества. Вольта первый показалъ, что тѣла можно привести въ электрическое состояніе совершенно безъ тренія, и онъ первый произвелъ опыты, въ которыхъ являлось электричество отъ одного химическаго взаимодѣйствія двухъ проводящихъ тѣлъ.

Случай, благодаря которому открылся этотъ новый рядъ явленій, былъ слѣдующій.

Гальвани, профессоръ медицины въ Болоньи (по другой версіи, его жена), въ 1789 году сдѣлали наблюденіе, которое на первыхъ порахъ было очень загадочно. Гальвани, обнаживъ концы нервовъ задней лапки лягушки, пропустилъ черезъ нихъ мѣдный крючекъ и повѣсилъ на желѣзной рѣшеткѣ балкона. Когда случайно отъ вѣтра нижняя часть лапки пришла въ соприкосновеніе съ желѣзной рѣшеткой, то лапка вздрогнула, и это вздрагиваніе имѣло мѣсто каждый разъ, когда Гальвани умышленно приводилъ въ соприкосновеніе лапку съ желѣзной рѣшеткой.

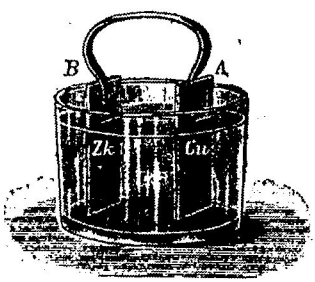
Этотъ опытъ обошелъ тогда всѣ научные круги Европы. Но какъ было объяснить опытъ Гальвани? Гальвани, благодаря предвзятости своего мнѣнія, впалъ въ ошибку; онъ полагалъ, что этотъ опытъ содержитъ въ себѣ доказательства о давно всѣми предполагавшейся жизненной силѣ, и ему не удалось разложить это сложное явленіе на болѣе простыя, элементарныя. Вольта впервые доказалъ цѣлымъ рядомъ опытовъ существенное значеніе и необходимость для успѣха опыта соблюденія слѣдующихъ условій.

Во-первыхъ, кромѣ лапки лягушки должны быть на лицо два различныхъ металла. Въ опытѣ Гальвани это были мѣдь и желѣзо, но можно примѣнять и цинкъ съ мѣдью, или цинкъ съ платиной— или вообще два разнородныхъ металла. При употребленіи двухъ одинаковыхъ металловъ опытъ не удается.

Во-вторыхъ, эти три предмета, лапка лягушки и оба металла, должны образовать замкнутую цѣпь—мѣдь съ одной стороны должна соприкасаться съ желѣзомъ, съ другой стороны—съ лапкой лягушки; также и желѣзо должно касаться какъ мѣди, такъ и лягушечьей лапки; при несоблюденіи этого условія опытъ не удается.

Третье условіе касается той роли, которую играетъ при этомъ опытѣ лапка лягушки. Достовѣрно то, что въ этой замкнутой цѣпи, состоящей изъ двухъ металловъ и лапки лягушки, происходитъ нѣчто необыкновенное, что обнаруживается вздрагиваніями лапки. Тутъ возможны два предположенія: или лягушечья лапка существенно необходима, чтобы вызвать необычайное явленіе—взглядъ Гальвани, который полагалъ, что нашелъ доказательство существованія жизненной силы,—или вышеописанное явленіе не находится въ связи съ органической тканью лягушечьей лапки, а лапка эта своимъ вздрагиваньемъ служитъ лишь для обнаруженія происходящаго удивительнаго явленія, подобно тому, какъ синее окрашиваніе крахмала указываетъ на присутствіе іода. Второе предположеніе оказалось вѣрнымъ. Дѣло не въ томъ, чтобы непремѣнно въ соприкосновеніи съ двумя металлами была именно лягушечья лапка, а въ томъ, чтобы металлы соприкасались съ жидкостью,—какъ напримѣръ, содержащая соль влага въ лягушечьей лапкѣ,—и между собою; тогда получится замкнутая цѣпь изъ одной жидкости и двухъ разнородныхъ металловъ.

Черт. 25.



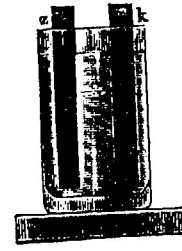
Если, какъ показалъ Вольта, два металла, цинкъ (Zk) и мѣдь (Cu) (см. черт. 25) находятся въ жидкости, напр., въ разведенной сѣрной кислотѣ или даже въ простой колодезной водѣ, и мѣдь внѣ жидкости соединена съ цинкомъ прямой или изогнутой проволокой AB,—то въ этой закнутой цѣпи происходитъ то же удивительное явленіе, что и въ опытѣ Гальвани. На самомъ дѣлѣ, здѣсь то же самое расположеніе, какъ и у Гальвани, только вмѣсто мѣди и желѣза мы взяли мѣдь и цинкъ, а вмѣсто лягушечьей лапки прямо сосудъ съ жидкостью.

Что же происходитъ въ этой цѣпи и что именно вызываетъ вздрагиванія лягушечьей лапки? То, что въ этомъ явленіи играетъ роль электричество, было выяснено еще Гальвани при его первыхъ опытахъ, такъ какъ онъ могъ вызвать вздрагиванія лапки, производя вблизи нея электрическія искры при помощи электрической машины. Вольта, однако, первый понялъ, что въ этой замкнутой цѣпи происходитъ явленіе, которое мы уже раньше назвали электрическимъ токомъ (стр. 41), и что черезъ проволоку AB непрерывно движется электричество. Дока-

зательствомъ этого предположенія можетъ служить то, что здѣсь происходятъ тѣ же дѣйствія, что и при движеніи электричества по проволокѣ отъ положительнаго кондуктора электрической машины къ отрицательному. Тамъ первое наблюденное дѣйствіе состояло въ томъ, что проволока, по которой двигалось электричество, нагрѣвалась, что и было доказано воздушнымъ термометромъ Рисса. То же самое дѣйствіе мы можемъ наблюдать и здѣсь, но въ гораздо большей степени. Дотрагиваясь до проволоки AB только рукой, мы замѣчаемъ сейчасъ, что она теплѣе окружающей среды, а съ помощью термометра мы можемъ это доказать еще лучше. Во-вторыхъ, выше мы замѣчали отклоненіе астатической пары магнитовъ при пропусканіи электричества по проволокѣ, намотанной на рамкѣ кругомъ нихъ. Воспользуемся тѣмъ же мультипликаторомъ (стр. 42), чтобы посредствомъ него соединить A и B, вмѣсто толстой проволоки AB, изображенной на черт. 25; тогда мы замѣтимъ очень сильное отклоненіе астатической пары, и даже, какъ мы увидимъ дальше, для этого опыта достаточно одной только магнитной стрѣлки.

Итакъ, мы болѣе не можемъ сомнѣваться, что въ этомъ приборѣ, который мы называемъ элементомъ Вольта, возникаетъ электрическій токъ. Но мы должны, однако, задать себѣ вопросъ (которымъ задавался и Вольта), откуда возникаетъ тутъ электричество, и чѣмъ объяснить, что оно не остается въ покоѣ, какъ на заряженномъ проводникѣ, а движется? Прежде всего мы знаемъ, что электричество можетъ двигаться отъ одного заряженнаго проводника A къ другому заряженному проводнику B только тогда, когда проводники имѣютъ разныя напряженія, когда существуетъ разность напряженій. Отсюда самъ по себѣ возникаетъ вопросъ, есть ли между обѣими металлическими пластинками, опущенными въ жидкость, разность напряженій въ томъ случаѣ, когда онѣ не соединены проволокой, т. е. когда, какъ говорятъ, элементъ не замкнутъ. Произвести этотъ опытъ очень легко—намъ нужно примѣнить лишь квадрантный электрометръ. Въ стаканъ, наполненный разведенной сѣрной кислотой, опустимъ цинковую пластинку Z и мѣдную K (черт. 26); соединивъ проволокой цинковую пластинку съ какой-нибудь парой квадрантовъ нашего электрометра (бисквиту котораго мы сообщили, какъ и раньше, посредствомъ лейденской банки, высокое напряженіе), мы замѣтимъ отклоненіе бисквита, положимъ, на 40 дѣленій шкалы; при этомъ направленіе отклоненія покажетъ отрицательное напряженіе цинковой пластинки. Повторивъ точно такимъ же образомъ нашъ опытъ съ мѣдной пластинкой, мы замѣтимъ отклоненіе бисквита опять на 40

Черт. 26.



дѣленій, но въ противоположную сторону, что доказываетъ положительное напряженіе на мѣдной пластинкѣ.

Этимъ опытомъ мы доказали, что оба металла, погруженные въ жидкость, въ дѣйствительности имѣютъ разность напряженій, выраженную числомъ 80 (40 положительныхъ и 40 отрицательныхъ дѣленій) въ произвольно взятой нами мѣрѣ. Если нашъ электрометръ заранѣе проградуированъ (стр. 44), то будетъ легко выразить найденную нами разность напряженій въ принятыхъ нами единицахъ, т. е. вольтахъ. При принятой нами величинѣ отклоненія, одно дѣленіе соотвѣтствуетъ приблизительно $^1/_{80}$ вольта, слѣдовательно, изъ нашихъ измѣреній получается, что между цинкомъ и мѣдью въ жидкости существуетъ разность напряженій приблизительно въ одинъ вольтъ.

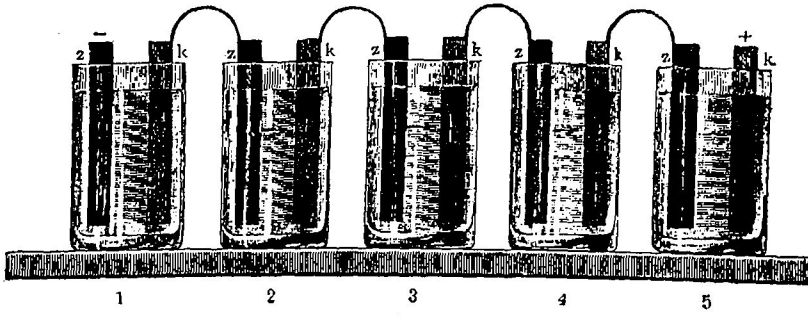
Эта разность напряженій между обоими металлами, какъ показали опыты, постоянна, что бы мы ни дѣлали съ даннымъ элементомъ.

Когда нашъ сосудъ изолированъ, т. е. когда оба металла и жидкость не соединены съ землей или иными источниками электричества, то напряженіе на мѣди равно $+ ^1/_2$ вольта, а на цинкѣ $- ^1/_2$ вольта, такъ что разность напряженій равна одному вольту. Если же цинкъ соединенъ съ землей, такъ что напряженіе его нуль, то напряженіе мѣди равно $+ 1$ вольтъ; если же мѣдь соединена съ землей, т. е. напряженіе ея равно нулю, то цинкъ имѣетъ напряженіе -1 вольтъ. Если цинкъ соединить съ кондукторомъ электрической машины, напряженіе котораго 1000 вольтъ, то и цинкъ будетъ имѣть напряженіе 1000 вольтъ, на мѣди же тогда будетъ напряженіе 1001 вольтъ, такъ что разность напряженій опять 1 вольтъ. Изъ этого слѣдуетъ, что напряженіе на мѣди при всѣхъ условіяхъ будетъ больше напряженія на цинкѣ на опредѣленную величину, приблизительно на 1 вольтъ.

Комбинацію, подобную только что описанной, изъ одной или нѣсколькихъ жидкостей и двухъ металловъ, называютъ гальваническимъ элементомъ, а два металлическіе конца, выступающіе изъ жидкости, носятъ названіе полюсовъ элемента. Въ каждомъ незамкнутомъ гальваническомъ элементѣ между двумя металлами существуетъ опредѣленная разность напряженій, которая зависитъ исключительно отъ природы обоихъ металловъ и жидкости, но не зависитъ ни отъ величины и формы металловъ, ни отъ количества жидкости. Независимо отъ того, будемъ ли мы опускать въ растворъ сѣрной кислоты большія, или маленькія пластинки цинка и мѣди, мы всегда будемъ на нашемъ электрометрѣ имѣть одну и ту же разность напряженій. Эту опредѣленную разность напряженій называютъ электродвижущей силой элемента. Такимъ образомъ каждый гальваническій элементъ имѣетъ свою опредѣленную электродвижущую силу, которая выражается въ вольтахъ.

Напряженія обоихъ металловъ въ элементѣ разнятся на опредѣленную величину, независимо отъ того, каковы дѣйствительныя величины ихъ напряженій. Отсюда слѣдуетъ важный на практикѣ результатъ, что соединеніемъ нѣсколькихъ элементовъ вмѣстѣ мы можемъ произвольно увеличить разность напряженій между конечными частями ихъ. Если взять нѣсколько элементовъ, состоящихъ изъ опущенныхъ въ слабый растворъ сѣрной кислоты мѣдныхъ и цинковыхъ стерженьковъ и соединить, какъ показано на черт. 27, мѣдный стерженекъ нашего перваго стакана съ цинковымъ второго стакана и поступать также и далѣе, то произойдетъ слѣдующее. Первая мѣдь имѣетъ напряженіе на 1 вольтъ больше, чѣмъ первый цинкъ, и такое же напряженіе имѣютъ всѣ соединенныя съ нимъ тѣла. Поэтому второй цинкъ имѣетъ на 1 вольтъ болѣе высокое напряженіе, чѣмъ первый цинкъ. Но, съ другой стороны, мѣдь второй системы имѣетъ снова напряженіе на 1 вольтъ болѣе высокое, чѣмъ цинкъ этой системы, слѣдовательно мѣдь второй системы, а также

Черт. 27.



и цинкъ третьяго стакана, имѣетъ напряженіе на 2 вольта болѣе высокое, чѣмъ цинкъ первой системы. Слѣдовательно, если соединить указаннымъ способомъ произвольное число гальваническихъ элементовъ, напримѣръ 5, то разность напряженій конечныхъ пластинъ будетъ въ 5 разъ больше, чѣмъ у каждой системы, отдѣльно взятой. Итакъ, 5 нашихъ элементовъ, соединенныхъ указаннымъ образомъ имѣютъ между своими конечными пластинами разность напряженій въ 5 вольтъ. Если всѣ системы изолированы, то первый цинкъ будетъ имѣть напряженіе —2,5 вольта, а послѣдняя мѣдь напряженіе +2,5 вольта. Электродвижущая сила этой системы равна 5 вольтамъ.

Рядъ гальваническихъ элементовъ — такой, что положительный металлъ одного всегда соединенъ проволокой съ отрицательнымъ сосѣдняго,—называютъ батареею или цѣпью или точнѣе батареею изъ элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно. Въ такой батареѣ лишь двѣ крайнихъ металлическихъ пластинки совершенно свободны, всѣ же другія соединены между собой. Концы двухъ свободныхъ металловъ называютъ полюсами батареи.

Отчего же однако происходитъ, что въ подобной комбинаціи двухъ металловъ и жидкости постоянно поддерживается нѣкоторая опредѣленная разность напряженій? Откуда появляется то электричество, благодаря которому обнаруживается эта разность напряженій? Дать точный отвѣтъ на эти вопросы не легко. Вольта предположилъ, что простого соприкосновенія металла и жидкости достаточно, чтобы возникло электрическое состояніе; по этой причинѣ это явленіе названо имъ электризаціей при соприкосновеніи (контактѣ). Названіе это сохранилось до сихъ поръ, хотя мы теперь и знаемъ, что причина этого явленія не есть простое соприкосновеніе безъ всякаго взаимодѣйствія, но что электричество развивается въ этомъ случаѣ вслѣдствіе химическихъ процессовъ, именно вслѣдствіе растворенія металла въ жидкости. Однако, независимо отъ всякихъ особыхъ разъясненій мы можемъ описать новый опытный фактъ слѣдующими немногими словами: при соприкосновеніи металла и проводящей жидкости на поверхности соприкосновенія возникаетъ сила, возбуждающая электрическое состояніе на обоихъ тѣлахъ, и при этомъ на металлѣ — одного, на жидкости — другого знака. Этимъ мы, однако, ничего не говоримъ о природѣ этой силы.

Эту силу называютъ электрической раздѣляющей силой. Раздѣляющая сила, возникающая на поверхности соприкосновенія, и есть причина того, что напряженія металла и жидкости дѣлаются различными. Металлъ на всемъ своемъ протяженіи имѣетъ одно опредѣленное напряженіе, жидкость по всему своему протяженію имѣетъ также опредѣленное напряженіе, но отличное отъ перваго. Опытъ показалъ намъ, что электрическая раздѣляющая сила всегда развиваетъ столько электричества, что напряженія (потенціалы) обоихъ соприкасающихся тѣлъ всегда разнятся на одну и ту же величину, какой бы величины и формы ни были эти тѣла, и независимо отъ того, есть ли еще электричество на нихъ, или его нѣтъ.

Благодаря экспериментальнымъ трудностямъ, долгое время не удавалось опредѣлить изъ опыта достаточно точно величину разности напряженій между однимъ изъ металловъ и жидкостью. Лишь лѣтъ 100 спустя послѣ открытія Вольта была точно получена величина возникающей разности напряженій, которая въ то же время есть мѣра величины соотвѣтственной раздѣляющей силы.

Раздѣляющую силу между двумя веществами обозначаютъ обыкновенно тѣмъ, что пишутъ рядомъ ихъ названія, а между ними ставятъ вертикальный штрихъ. Такимъ образомъ

цинкъ | сѣрная кислота

обозначаетъ раздѣляющую силу между цинкомъ и сѣрною кислотою.

Если раздѣляющая сила положительна, то это значитъ, что вещество, названіе котораго стоитъ первымъ, получаетъ высшее напря-

женіе; если раздѣляющая сила отрицательна, то первое по порядку вещество получаетъ меньшее напряженіе.

Такимъ образомъ, раздѣляющая сила

сѣрная кислота | цинкъ

имѣетъ знакъ, обратный тому, что было раньше, такъ какъ теперь порядокъ веществъ измѣненъ.

Были получены слѣдующія величины для разностей напряженій и, слѣдовательно, для раздѣляющихъ силъ между различными металлами и растворами солей. Эти разности напряженій выражены въ вольтахъ и на нихъ слѣдуетъ смотрѣть, какъ на непосредственные результаты измѣреній.

Магній	растворъ сѣрнокислаго	магнія	= —	1239	вольта.
Алюминій	»	»	алюминія = —	1,040	»
Цинкъ	»	»	цинка = —	0,524	»
Кадмій	»	»	кадмія = —	0,162	»
Желѣзо	»	»	желѣза = +	0,093	»
Мѣдь	»	»	мѣди = +	0,515	»
Ртуть	»	»	ртути = +	0,980	»
Серебро	»	»	серебра = +	0,974	»

Итакъ, эти цифры показываютъ, что у поверхности раздѣла между цинкомъ и растворомъ сѣрнокислаго цинка всегда существуетъ разность напряженій въ 0,524 вольта и при этомъ цинкъ имѣетъ меньшее, а жидкость высшее напряженіе. Наоборотъ, мѣдь въ соприкосновеніи съ растворомъ сѣрнокислой мѣди получаетъ высшее напряженіе и именно на 0,515 вольта, чѣмъ жидкость. Если одинъ изъ этихъ металловъ погрузить не въ растворъ соотвѣтственной сѣрнокислой соли, а въ растворъ сѣрной кислоты, то немедленно у поверхности соприкосновенія образуется соотвѣтственная сѣрнокислая соль въ химически чистомъ видѣ и, такимъ образомъ, вышеприведенныя числа имѣютъ мѣсто также и въ томъ случаѣ, когда металлъ погруженъ просто въ растворъ сѣрной кислоты.

Далѣе, въ томъ случаѣ, когда два металла приходятъ въ непосредственное соприкосновеніе, между ними возникаетъ подобная разность напряженій. Но только въ этомъ случаѣ она значительно меньше, чѣмъ при соприкосновеніи металла и проводящей жидкости. Точно также возникаетъ незначительная разность напряженій, когда приходятъ въ соприкосновеніе двѣ различныхъ проводящихъ жидкости. Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ, какъ мало-по-малу выяснилось, возникаетъ столь ничтожная раздѣляющая сила, что по малости ея мы можемъ ею въ дальнѣйшемъ пренебречь и обратить наше вниманіе только на болѣе значительную разность напряженій между металлами

и соприкасающимися съ ними жидкостями. Такимъ образомъ металлы и проводящія жидкости различаются въ томъ отношеніи, что при ихъ соприкосновеніи возникаетъ большая разность напряженій, между тѣмъ какъ при соприкосновеніи металловъ между собой или жидкостей между собой возникаетъ лишь ничтожная разность напряженій.

Въ виду этого всѣ проводящія тѣла раздѣляютъ на два класса: на проводники перваго рода и проводники второго рода.

Проводники перваго рода—это всѣ металлы, нѣкоторыя окиси металловъ, напр., перекись марганца, перекись свинца, затѣмъ нѣкоторыя сѣрнистыя соединенія, напримѣръ свинцовый блескъ, сѣрный колчеданъ и т. д.

Проводники второго рода—это тѣ, при соприкосновеніи которыхъ съ проводниками перваго рода возникаетъ значительная разность напряженій. Къ нимъ принадлежатъ водные растворы кислотъ и солей и расплавленныя соли.

Это различіе между напряженіями проводниковъ перваго и второго рода приводитъ къ весьма важнымъ слѣдствіямъ.

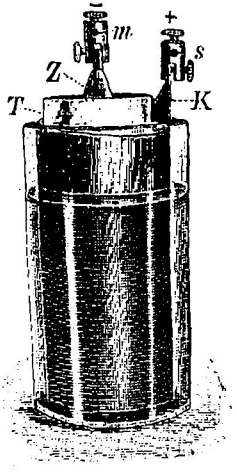
Представимъ себѣ, что мы опустили въ растворъ сѣрной кислоты цинковую и мѣдную пластинки и не соединили ихъ одну съ другой посредствомъ проволоки; тогда произойдетъ слѣдующее. Цинковая пластинка, благодаря электрической раздѣляющей силѣ, электризуется отрицательно, т. е. получаетъ отрицательное напряженіе, а растворъ сѣрной кислоты электризуется положительно, т. е. получаетъ положительное напряженіе, и раздѣляющая сила стремится поддержать постояннымъ такое распредѣленіе электричествъ. Напряженіе раствора сѣрной кислоты превыситъ напряженіе цинка на 0,524 вольта. Но въ растворѣ сѣрной кислоты находится еще и мѣдная пластинка. Благодаря соприкосновенію ея съ разведенной сѣрной кислотой и въ этомъ случаѣ возникаетъ разность напряженій, а именно, напряженіе мѣди будетъ выше напряженія жидкости на 0,515 вольта. Изъ этого слѣдуетъ, что мѣдь содержитъ такъ много электричества, что ея напряженіе выше напряженія сѣрной кислоты на 0,515 вольтъ, а напряженіе этой послѣдней выше на 0,524 вольта напряженія цинка, такъ что разность напряженій между мѣдью и цинкомъ будетъ равна суммѣ этихъ двухъ разностей напряженій, именно $0{,}515 + 0{,}524 = 1{,}039$ вольта. Это и есть то, что мы назвали разностью напряженій или электродвижущей силой элемента Вольта. Дѣйствительно мы видимъ, что она приблизительно равна 1 вольту, какъ раньше и было упомянуто. Въ данномъ случаѣ мы имѣемъ комбинацію двухъ металловъ, которые различно относятся къ жидкости. То же имѣемъ и въ томъ случаѣ, когда мы помѣстимъ въ растворъ сѣрной кислоты, напримѣръ, цинкъ и кадмій. Растворъ сѣрной кислоты будетъ имѣть на 0,524 вольта высшее напряженіе, чѣмъ цинкъ, и на 0,162 вольта

высшее, чѣмъ кадмій, такимъ образомъ кадмій будетъ имѣть напряженіе на 0,524 безъ 0,162, т. е. на 0,362 вольта высшее, чѣмъ цинкъ. Итакъ, если весь элементъ будетъ изолированъ, то кадмій наэлектризуется положительно, цинкъ—отрицательно. Такимъ образомъ мы пришли къ слѣдующему общему выводу: если два металла опустить въ одну и ту же жидкость, то одинъ изъ нихъ электризуется отрицательно, другой положительно, причемъ тотъ металлъ, который благодаря своей раздѣляющей силѣ сильнѣе электризуется отрицательно, и остается въ данномъ случаѣ отрицательнымъ.

Отсюда слѣдуетъ, что если цинкъ и одинъ изъ металловъ, слѣдующихъ за цинкомъ въ вышеприведенной таблицѣ (стр. 55), опустить одновременно въ растворъ сѣрной кислоты, то цинкъ всегда электризуется отрицательно. Только при магніи и алюминіѣ цинкъ электризуется положительно.

Мы видѣли выше, что каждый металлъ въ соприкосновеніи съ жидкостью электризуется. Поэтому можно составить и такіе элементы, въ которыхъ оба металла находятся не въ одной жидкости, какъ мы это предполагали до сихъ поръ, но въ которыхъ каждый металлъ опущенъ въ свою собственную жидкость, причемъ, однако, эти жидкости находятся въ проводящемъ соприкосновеніи другъ съ другомъ. Въ этомъ случаѣ также одинъ металлъ электризуется положительно, другой отрицательно, и подобный элементъ имѣетъ точно опредѣленную электродвижущую силу, которая зависитъ только отъ природы его металловъ и жидкостей. Такими элементами, составленными изъ двухъ металловъ и изъ двухъ жидкостей, пользуются особенно часто по причинамъ, которыя мы узнаемъ дальше; поэтому мы опишемъ нѣкоторые изъ этихъ элементовъ. Для того, чтобы обѣ жидкости не смѣшались, но все же находились въ соприкосновеніи между собой, одна изъ нихъ наливается обыкновенно въ пористый глиняный сосудъ, въ порахъ котораго происходитъ соприкосновеніе жидкостей.

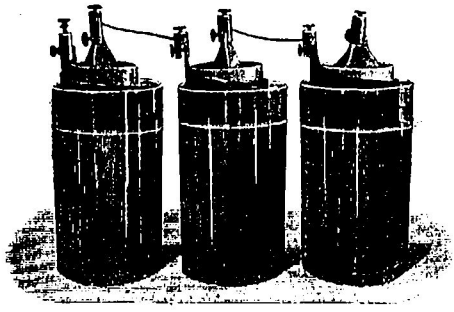
Черт. 28.



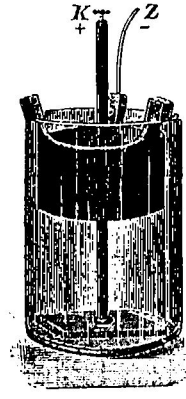
Въ элементѣ Даніэля (черт. 28) металлами служитъ цинкъ Z и мѣдь К. Мѣдь опущена въ растворъ мѣднаго купороса, цинкъ въ разбавленную сѣрную кислоту или разбавленный растворъ цинковаго купороса. Въ стаканъ наливаютъ растворъ мѣднаго купороса и вставляютъ въ него полый мѣдный цилиндръ К. Въ послѣдній ставятъ глиняный цилиндръ, въ который наливаютъ разбавленную сѣрную кислоту (1 часть сѣрной кислоты на 10 частей воды) и опускаютъ въ нее

массивный цинковый стержень Z. Цинкъ снабженъ у своего верхняго конца зажимомъ m, а мѣдный цилиндръ зажимомъ s, въ которыхъ укрѣпляются провода, и такимъ образомъ достигается проводящее соединеніе. Оконечности цинка и мѣди называютъ полюсами элемента. На цинковомъ полюсѣ существуетъ отрицательное напряженіе, на мѣдномъ—положительное. Электродвижущая сила элемента Даніэля равна приблизительно 1 вольту (точнѣе отъ 1,08 до 1,12 вольта). Если мы желаемъ соединить нѣсколько такихъ элементовъ въ батарею, какъ это было описано выше, то это легко выполнить, соединяя зажимъ s одного элемента съ зажимомъ m другого элемента посредствомъ проволоки. На черт. 29 изображена такая батарея изъ трехъ элементовъ.

Черт. 29.



Черт. 30.



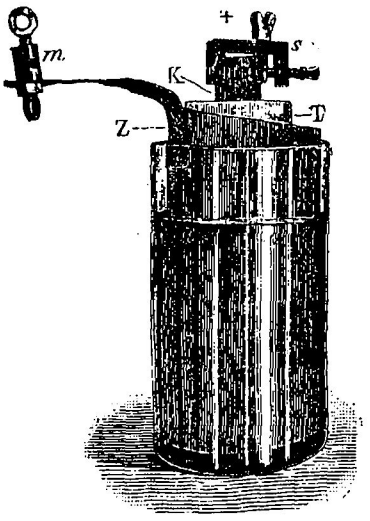
Въ такъ называемомъ мѣдномъ элементѣ или иначе элементѣ Крюгера, употребляющемся на нѣмецкомъ телеграфѣ, металлами служатъ мѣдь и цинкъ, жидкостями же — растворъ мѣднаго купороса и слабый растворъ цинковаго купороса; элементу придана такая форма, чтобы можно было избѣжать употребленія глинянаго сосуда.

На днѣ стакана (черт. 30) лежитъ свинцовая пластинка, которая снабжена стержнемъ съ зажимомъ K на концѣ. Цинкъ имѣетъ форму толстостѣннаго цилиндра, висящаго на трехъ лапкахъ на краѣ стакана. Въ одной изъ этихъ лапокъ залита проволока Z, представляющая собой полюсъ. Верхній край стакана покрытъ сверху тонкимъ слоемъ парафина. Во время дѣйствія элемента свинцовая пластинка покрывается слоемъ мѣди и дѣйствуетъ тогда уже какъ мѣдная пластинка. Въ стаканъ наливаютъ растворъ цинковаго купороса, растворъ же мѣднаго купороса образуется на днѣ его изъ кристалловъ мѣднаго купороса, которые бросаются въ жидкость. Такъ какъ растворъ мѣднаго купороса тяжелѣе слабаго раствора цинковыхъ солей, то, когда элементъ стоитъ неподвижно, образуется рѣзкая граница между синимъ растворомъ мѣднаго купороса и свѣтлымъ растворомъ

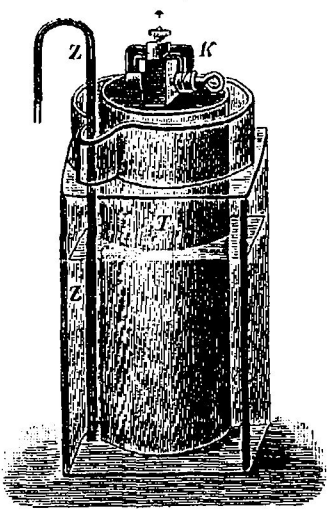
цинковой соли. Электродвижущая сила такого элемента колеблется между 1,08 и 1,12 вольта.

Другой элементъ, который имѣетъ большую электродвижущую силу, есть элементъ *Бунзена*. Въ простѣйшемъ видѣ онъ изображенъ на черт. 31. И здѣсь одинъ изъ металловъ цинкъ, другой же металлъ замѣненъ углемъ, который дѣйствуетъ, въ данномъ случаѣ, какъ металлъ. Цинкъ опущенъ въ разбавленную сѣрную кислоту, уголь же въ крѣпкую азотную кислоту. Въ стаканъ наливаютъ раньше сѣрную кислоту, затѣмъ вставляютъ полый цинковый цилиндръ Z, а въ него глиняный цилиндръ T; въ послѣдній наливаютъ азотную кислоту и вставляютъ уголь K. Цинкъ снова служитъ отрицательнымъ полюсомъ, уголь положительнымъ. На цинковомъ цилиндрѣ находится зажимъ m, а на углѣ латунный зажимъ s. Электродвижущая сила элемента Бунзена равна 1,9 вольта.

Черт. 31.

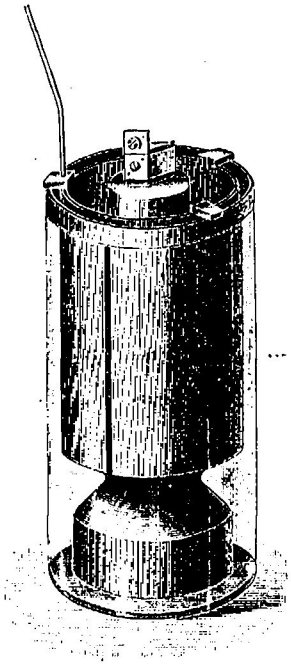


Черт. 32.



Изъ другихъ гальваническихъ элементовъ опишемъ еще элементъ Лекланше, такъ какъ онъ очень часто примѣняется въ телефоніи и при устройствѣ электрическихъ звонковъ; онъ изображенъ на черт. 32. Въ немъ, какъ и въ элементѣ Бунзена, металлами служатъ уголь и цинкъ. Но уголь K, представляющій положительный электродъ, стоитъ въ глиняномъ стаканѣ T, наполненномъ смѣсью изъ перекиси марганца и угля. Цинковый стержень Z погруженъ въ растворъ нашатыря (20—25 гр. нашатыря на всю находящуюся въ стаканѣ воду). Этотъ элементъ имѣетъ, такимъ образомъ, лишь одну жидкость. Электродвижущая сила элемента Лекланше равна приблизительно 1,49 вольта.

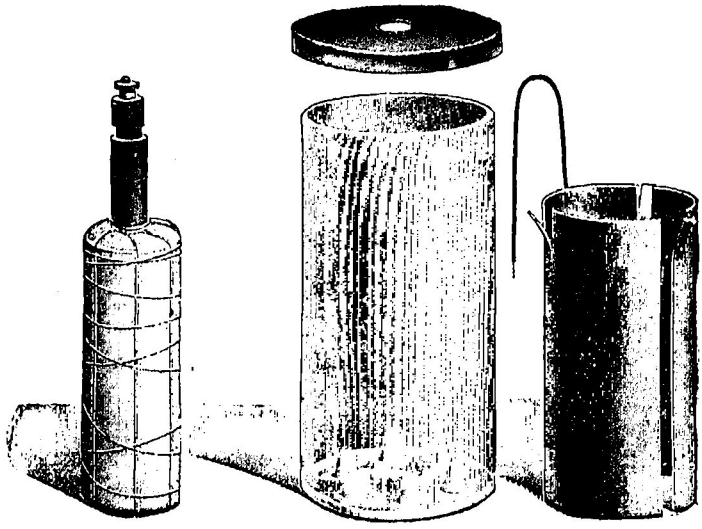
Черт. 33.



На германскомъ телеграфѣ этотъ элементъ употребляется въ нѣсколько измѣненномъ видѣ (черт. 33). извѣстномъ подъ названіемъ угольнаго элемента. Цинковый цилиндръ, какъ и въ элементѣ Крюгера (черт. 30), виситъ на борту стакана на четырехъ лапкахъ. Въ стаканъ опускается цилиндръ изъ угля и перекиси марганца, изображенной на чертежѣ формы. Сосудъ наполняется водой до такой высоты, чтобы борта стакана выступали надъ ея поверхностью на $1^1/_2$ см., въ воду прибавляютъ граммовъ 20—25 нашатыря.

Къ тому же типу принадлежатъ и элементы (S. & H.—Beutelelemente), изготовляемые Сименсомъ и Гальске, особенно удобные для полученія сильнаго тока въ теченіе короткаго времени; отдѣльныя части ихъ изображены на черт. 34. Въ стаканъ вставляется изображенный въ правой сторонѣ чертежа цинковый цилиндръ, который, благодаря возвышеніямъ, находящимся на днѣ стакана, не можетъ сдвинуться со своего мѣста. Внутрь вставляется уголь, окруженный нахо-

Черт. 34.



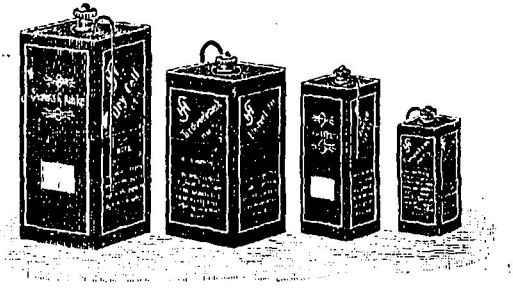
дящейся въ мѣшечкѣ особой массой, состоящей изъ смѣси перекиси марганца и угля; онъ такъ же, какъ и цилиндръ, неподвижно укрѣп-

ляется на днѣ и въ крышкѣ. Сосудъ наполняется растворомъ нашатыря. Электродвижущая сила такого элемента равна 1,5 вольта.

Кромѣ описанныхъ элементовъ построено еще много другихъ, состоящихъ изъ двухъ металловъ и двухъ жидкостей; однако на практикѣ преимущественно употребляются элементы, подробно разобранные нами выше.

Особенно удобны гальваническіе элементы особаго вида, называемые сухими элементами. Ихъ можно легко переносить, они всегда готовы къ употребленію и ихъ не нужно каждый разъ составлять заново. Этого достигаютъ тѣмъ, что наполняютъ элементы не прямо жидкостью, а какой-либо массой, пропитанной данной жидкостью и всегда сохраняющейся сырой. Электродами служатъ обыкновенно цинкъ и уголь. Составъ массы, заполняющей элементъ, составляетъ секретъ изобрѣтателя. Одинъ изъ такихъ элементовъ — Т — элементъ (черт. 35), изготовляемый Сименсомъ и Гальске, — очень часто употребляется на практикѣ; онъ имѣетъ форму ящичка. Угольный полюсъ, выходящій изъ середины ящичка, окруженъ перекисью марганца, содержащейся въ мѣшочкѣ изъ пергаментной бумаги. Цинкъ, полюсъ котораго изображенъ въ видѣ изогнутаго конца проволоки, окружаетъ въ видѣ продырявленнаго цилиндра пергаментный мѣшокъ и погруженъ въ массу, пропитанную нашатыремъ. Электродвижущая сила такого элемента равна, приблизительно, 1,5 вольта. Подобнаго рода сухіе элементы изготовляются многими фабриками.

Черт. 35.



Величина электродвижущей силы всѣхъ вышеописанныхъ и другихъ элементовъ колеблется между 1 и 2 вольтами. Поэтому для измѣренія напряженій ихъ полюсовъ нельзя употреблять обыкновенные электроскопы, напримѣръ, электроскопъ съ золотыми листочками, такъ какъ они обнаруживаютъ напряженіе лишь съ 200 вольтъ и выше; тутъ приходится пользоваться болѣе чувствительными электрометрами, какъ напримѣръ, квадрантные электрометры. Однако, соединивъ послѣдовательно нѣсколько сотъ такихъ элементовъ, можно легко обнаружить образующееся при этомъ напряженіе электроскопомъ съ золотыми листочками. Если же требуется большое напряженіе, но не нужно при этомъ сильнаго тока — для котораго главнымъ образомъ и употребляются элементы—то можно приготовить необходимую для этого батарею болѣе простымъ способомъ, а именно въ

Черт. 36.



видѣ, такъ называемаго, сухого столба; такой столбъ былъ вскорѣ послѣ изслѣдованій Вольта устроенъ Замбони, и еще до настоящаго времени имъ пользуются для многихъ цѣлей; онъ пригодится впослѣдствіи и намъ. Сухіе столбы, одинъ изъ которыхъ изображенъ на черт. 36, состоятъ изъ большого числа расположенныхъ другъ на другѣ кусочковъ золотой и серебряной бумаги. Собственно жидкости въ такихъ столбахъ нѣтъ, а ее замѣняетъ влажность бумаги, сохраняющаяся въ теченіе многихъ лѣтъ. Золотыя и серебряныя стороны бумаги складываются другъ съ другомъ и образуютъ соединеніе двухъ элементовъ, каждый изъ которыхъ состоитъ изъ золота (заряжено положительно), влажной бумаги и серебра (заряжено отрицательно). Такимъ образомъ столбы не абсолютно сухи; иначе не образовалось бы никакого напряженія. Положивъ около 1000 такихъ элементовъ другъ на друга, можно получить напряженіе приблизительно въ 500 вольтъ.

Разсмотримъ теперь явленія, которыя происходятъ въ какомъ-либо гальваническомъ элементѣ, напримѣръ въ элементѣ Даніэля. На мѣдномъ полюсѣ находится положительное электричество и положительное напряженіе, на цинковомъ полюсѣ—отрицательное электричество и отрицательное напряженіе. Эти оба полюса аналогичны, слѣдовательно, двумъ кондукторамъ электрической машины, которую мы разсмотрѣли выше. Если оба полюса мы соединимъ проволокой, замкнемъ, какъ говорятъ, элементъ, то электричество потечетъ отъ одного полюса къ другому. Оба электричества тотчасъ нейтрализовались бы, и элементъ потерялъ бы свою электризацію, если бы, благодаря электрической раздѣляющей силѣ, тотчасъ не образовались бы новыя количества электричества, которыя снова нейтрализуютъ другъ друга и т. д. Такимъ образомъ получается постоянный электрическій токъ (гальваническій токъ). Положительное электричество течетъ отъ мѣста высшаго напряженія по проволокѣ, соединяющей оба полюса, къ мѣсту низшаго напряженія. Въ элементѣ Даніэля положительное напряженіе имѣетъ мѣдный полюсъ, а потому положительное электричество течетъ отъ мѣднаго полюса черезъ соединительную проволоку къ цинковому полюсу. Вблизи цинка жидкость имѣетъ высшее напряженіе, чѣмъ вблизи мѣди; поэтому положительное электричество течетъ отъ сѣрной кислоты, окружающей цинкъ, черезъ заполненныя жидкостью поры глинянаго сосуда въ мѣдный купоросъ. Соприкасающаяся съ послѣднимъ мѣдь опять имѣетъ высшее напряженіе сравнительно съ жидкостью, и, такимъ образомъ, электричество снова течетъ отъ мѣди далѣе. Итакъ, на самомъ металлѣ всегда происходитъ какъ бы нѣкоторый скачекъ въ величинѣ напряженія.

Токъ поддерживается непрерывнымъ благодаря электрической раздѣляющей силѣ, которая взамѣнъ каждыхъ уравновѣсившихся количествъ электричества возбуждаетъ тотчасъ новыя. Мы могли бы сказать также, что отрицательное электричество течетъ отъ цинка черезъ соединительную проволоку къ мѣди, затѣмъ отъ мѣди черезъ жидкости обратно къ цинковому полюсу. Здѣсь все дѣло въ условномъ обозначеніи. Обыкновенно то направленіе, въ которомъ течетъ положительное электричество, принимаютъ за направленіе тока. Направленіе тока въ элементѣ показано на черт. 37. Черезъ соединительную проволоку положительный токъ идетъ отъ мѣди къ цинку, а черезъ жидкость — обратно отъ цинка къ мѣди.

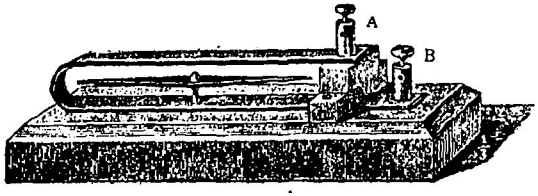
Черт. 37.



Такимъ образомъ объясняется существованіе электрическаго тока въ замкнутомъ элементѣ. Въ томъ, что подобный токъ дѣйствительно идетъ по проволокѣ, мы выше убѣдились двумя способами. Такъ, мы видѣли, что проволока, по которой проходитъ токъ, нагрѣвается. Это нагрѣваніе по причинамъ, съ которыми мы познакомимся дальше, можетъ быть въ настоящемъ случаѣ весьма значительно. Если, напримѣръ, замкнуть батарею, изображенную на черт. 27, тонкой проволокой, то эта проволока накалится и можетъ даже расплавиться.

Второе дѣйствіе, по которому мы узнаемъ о прохожденіи тока по проволокѣ, есть отклоненіе магнитной стрѣлки, вокругъ которой онъ проходитъ. Тѣ токи, которыми мы располагаемъ теперь, вызываютъ это явленіе въ значительно болѣе сильной степени, чѣмъ токъ, который получается между обоими кондукторами электрической машины. Для того, чтобы показать это отклоненіе пока лишь качественно, мы воспользуемся приборомъ (черт. 38), называемымъ гальваноскопомъ.

Черт. 38.



Внутри согнутой въ петлю мѣдной ленты, укрѣпленной на деревянной доскѣ, вращается на остріѣ магнитная стрѣлка. На свободные концы ленты навинчены зажимы A и B. Если мы соединимъ посредствомъ проволокъ положительный полюсъ элемента съ A, а отрицательный съ B, то элементъ окажется замкнутымъ черезъ проволоки и ленту, а магнитная стрѣлка тотчасъ повернется, выйдетъ изъ петли

и послѣ нѣсколькихъ колебаній установится въ отклоненномъ положеніи. Для того, чтобы магнитная стрѣлка до присоединенія элемента стояла внутри петли, какъ показано на чертежѣ, необходимо, очевидно, предварительно расположить петлю, а слѣдовательно и весь приборъ, изображенный на черт. 38, по направленію сѣверъ-югъ.

При указанномъ соединеніи полюсовъ элемента съ А и В сѣверный конецъ стрѣлки выйдетъ изъ мѣдной петли впередъ по направленію къ намъ.

Если бы мы соединили мѣдный полюсъ съ В, а цинковый съ А, то положительный токъ пошелъ бы по цѣпи въ обратномъ направленіи, и стрѣлка отклонилась бы также въ обратномъ направленіи.

Мы видѣли, разсматривая явленія равновѣсія электричества, что проводники-металлы свободны отъ электризаціи, что внутри нихъ вообще не дѣйствуютъ электрическія силы, и что все явленіе заряда проводника состоитъ въ томъ, что электроны скопляются на его внѣшней поверхности. Въ случаѣ гальваническаго тока явленія уже далеко не такъ просты. Многія явленія, напримѣръ, нагрѣваніе проводниковъ токомъ, показываютъ намъ, что въ явленіи тока принимаетъ участіе внутренность проводника. Мы должны допустить, что электроны двигаются внутри проводника. Однако при этомъ не надо думать, что каждый электронъ, попавшій съ положительнаго полюса въ проволоку, доходитъ до отрицательнаго полюса. Наоборотъ, въ виду того, что въ проволокѣ допускается заранѣе присутствіе чрезвычайно большого числа электроновъ, наиболѣе простое и находящее себѣ наилучшее подтвержденіе на опытахъ объясненіе состоитъ въ слѣдующемъ: электронъ, вступающій въ проволоку отъ положительнаго полюса, приводитъ сосѣдній съ нимъ электронъ, чрезъ столкновеніе съ нимъ, въ движеніе въ томъ же направленіи, въ какомъ движется и самъ; этотъ второй электронъ приводитъ въ движеніе третій и постепенно — отъ одного слоя къ другому — всѣ электроны, находящіеся въ проволокѣ, пріобрѣтаютъ стремленіе двигаться по направленію къ отрицательному полюсу, хотя каждый электронъ мало при этомъ перемѣстится отъ своего первоначальнаго положенія. Электроны, несмотря на свои малые размѣры, не могутъ двигаться совершенно безпрепятственно, въ виду присутствія молекулъ металловъ; они постоянно встрѣчаютъ на своемъ пути преграды, чѣмъ и объясняется нагрѣваніе проволоки.

Хотя движеніе электроновъ и происходитъ внутри проволоки, но оно оказываетъ также нѣкоторое дѣйствіе и на среду, находящуюся внѣ этой проволоки, вызывая, напримѣръ, отклоненіе магнитной стрѣлки, съ которымъ мы познакомились выше. Явленія, происходящія внутри проводниковъ и въ граничащемъ съ ними діэлектрикѣ, тѣсно связаны другъ съ другомъ и представляютъ собой явленіе электрическаго тока.

Мы, однако, коснемся этихъ вопросовъ подробнѣе лишь тогда, когда ближе познакомимся съ количественнымъ выраженіемъ явленій, происходящихъ при электрическомъ токѣ.

ГЛАВА III.

Законы электрическаго тока.

Каждый гальваническій элементъ способенъ дать постоянный электрическій токъ. Электричество находится въ равновѣсіи лишь тогда, когда напряженіе повсюду одинаково. Если же, по какой бы то ни было причинѣ, на различныхъ мѣстахъ проводника напряженіе не одинаково, то положительное электричество должно течь по проводнику отъ мѣстъ высшаго къ мѣстамъ низшаго напряженія. Въ каждомъ гальваническомъ элементѣ, полюсы котораго не соединены другъ съ другомъ, т. е. который, какъ говорятъ, разомкнутъ, каждая изъ металлическихъ пластинъ съ ея полюсомъ имѣетъ опредѣленное напряженіе, но напряженіе одного полюса всегда на опредѣленную величину выше напряженія другого. Какъ только мы соединимъ оба металла проволокой, то положительное электричество должно потечь отъ одного металла (мѣди въ элементѣ Даніэля) къ другому (цинку). Но и въ жидкостяхъ элемента должно течь электричество. Дѣйствительно, на границѣ каждаго изъ металловъ дѣйствуетъ электрическая раздѣляющая сила, благодаря которой жидкость вблизи одного металла (цинка) имѣетъ болѣе высокое напряженіе, чѣмъ вблизи другого металла (мѣди). Итакъ, какъ только мы соединимъ оба металла проволокой, то электричество потечетъ черезъ проволоку и черезъ самый элементъ, а электрическая раздѣляющая сила будетъ поддерживать этотъ токъ постояннымъ. Мы можемъ уяснить себѣ это явленіе, если сравнимъ его съ теченіемъ воды. Представимъ себѣ двѣ трубы, стоящія въ пруду, наполненныя при помощи насоса водой и притомъ такъ, что уровень воды въ одной трубѣ выше, чѣмъ въ другой. Когда мы соединимъ обѣ трубы третьей трубочкой, то вода потечетъ изъ трубы съ высшимъ уровнемъ въ трубу съ низшимъ. Если мы посредствомъ насоса будемъ непрерывно поддерживать высоты уровней въ обѣихъ трубахъ постоянными, то вода будетъ непрерывно течь отъ первой трубы черезъ соединительную трубочку ко второй трубѣ и посредствомъ насоса снова подыматься до уровня первой трубы. Аналогичное явленіе происходитъ и съ электричествомъ. Уровню воды соотвѣтствуетъ напряженіе электричества, работѣ же насоса дѣйствіе элек-

трической раздѣляющей силы. Отъ мѣста высшаго напряженія на мѣди положительное электричество течетъ по соединительной проволокѣ къ цинку и черезъ жидкость—обратно къ мѣди. Электрическая раздѣляющая сила приводитъ его опять къ первоначальному напряженію, т. е. къ напряженію мѣди. Такимъ образомъ электрическій токъ непрерывно идетъ въ замкнутой цѣпи, т. е. въ цѣпи, которая составлена изъ элемента, полюсы котораго соединены другъ съ другомъ проводникомъ.

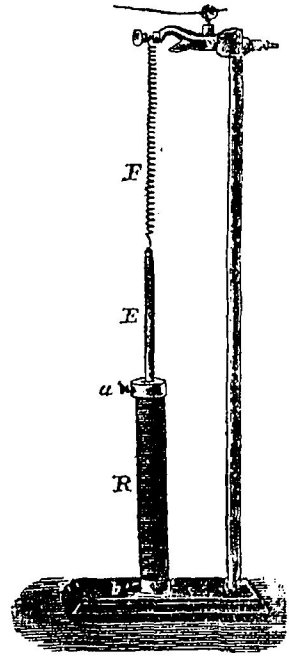
Такой замкнутый рядъ проводниковъ, состоящій изъ элемента (или батареи) и соединительной проволоки, называютъ цѣпью тока, или, точнѣе, простою цѣпью (въ отличіе отъ развѣтвленныхъ цѣпей, о которыхъ мы будемъ говорить дальше). Соединительную проволоку называютъ внѣшней цѣпью, самые же элементы внутренней. Такимъ образомъ, когда элементъ замкнутъ, то черезъ каждую часть всей замкнутой цѣпи въ каждое мгновеніе протекаетъ опредѣленное количество электричества, опредѣленное число кулоновъ. Цѣпь можетъ имѣть въ различныхъ мѣстахъ различныя величины сѣченія; однако, при постоянномъ токѣ черезъ всѣ сѣченія въ каждую секунду должны протекать равныя количества электричества. Дѣйствительно, если бы къ какому-нибудь поперечному сѣченію притекало больше электричества, чѣмъ отъ него истекаетъ, то въ такомъ мѣстѣ должно было бы произойти накопленіе электричества. То количество электричества, т. е. число кулоновъ, которое протекаетъ черезъ какое-нибудь сѣченіе цѣпи въ одну секунду, называютъ силою тока. Количество электричества, протекающее черезъ сѣченіе въ одну секунду, зависитъ, понятно, отъ многихъ обстоятельствъ. Прежде всего оно зависитъ отъ того, какъ велика сила, вызывающая электрическій токъ, т. е. какъ велика электродвижущая сила элемента (стр. 52). Во-вторыхъ, оно зависитъ также отъ того, черезъ какія вещества проходитъ токъ, и какую форму эти вещества имѣютъ. Но какія бы формы они ни имѣли, въ данной цѣпи всегда черезъ каждое ея сѣченіе, сколь бы велико или мало оно ни было, въ одну секунду протекаетъ одно и то же количество электричества. Другими словами, сила тока во всей цѣпи вездѣ одна и та же. Итакъ, въ каждой простой цѣпи электрическій токъ имѣетъ опредѣленную силу, и сила эта во всѣхъ частяхъ цѣпи одна и та же. Мы можемъ опять уяснить себѣ это, сравнивъ эти явленія съ движеніемъ воды по трубамъ. Если мы имѣемъ трубку, которая въ различныхъ мѣстахъ имѣетъ различный діаметръ, и заставимъ каждую секунду втекать въ трубку съ одного конца ея 300 куб. см. воды и вытекать съ другого конца каждую секунду то же количество воды, такъ что трубка всегда будетъ наполнена водой, то черезъ каждое сѣченіе ея, сколь бы мало или велико оно ни было, въ каждую секунду протекаетъ какъ разъ 300 куб. см. воды. Въ болѣе узкихъ

мѣстахъ трубки вода течетъ быстрѣе, въ болѣе широкихъ медленнѣе. То же происходитъ и съ электрическимъ токомъ. Сила тока вездѣ одна и та же, и черезъ каждое сѣченіе цѣпи въ одинъ и тотъ же опредѣленный промежутокъ времени протекаетъ одно и то же количество электричества.

Для того, чтобы можно было измѣрить силу тока въ каждой цѣпи, необходимо предварительно установить единицу силы тока. Мы говоримъ, что тотъ токъ имѣетъ единицу силы тока, при которомъ въ каждую секунду чрезъ каждое сѣченіе цѣпи протекаетъ какъ разъ одинъ кулонъ электричества. Эту единицу мы называемъ однимъ амперомъ, и выражаемъ такимъ образомъ всѣ силы тока въ амперахъ. Способы, посредствомъ которыхъ мы можемъ измѣрить силу тока въ какой-либо цѣпи, т. е. выразить ее въ амперахъ, мы сейчасъ узнаемъ. Тысячную долю ампера называютъ миллиамперомъ.

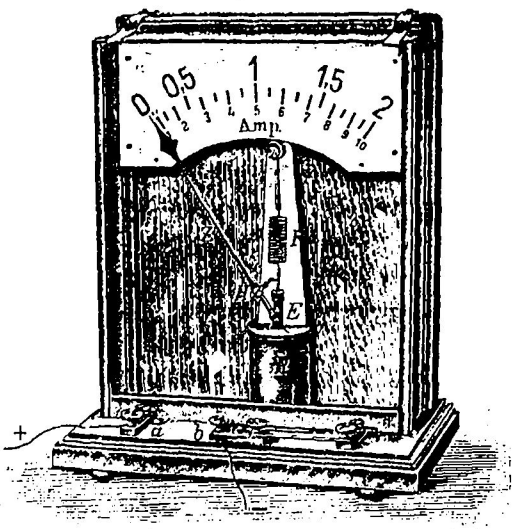
Чѣмъ больше электрическій токъ, тѣмъ сильнѣе тѣ дѣйствія, которыя онъ вызываетъ. Мы можемъ, слѣдовательно, судить о силѣ тока по интенсивности его дѣйствій. Простѣйшимъ средствомъ для этого могутъ служить магнитныя дѣйствія токовъ, примѣръ чего мы видѣли въ вышеописанномъ (стр. 63) простомъ гальваноскопѣ. Иное магнитное дѣйствіе электрическаго тока, которымъ мы далѣе будемъ пользоваться, можно наблюдать при помощи прибора, изображеннаго на черт. 39. Оно состоитъ въ томъ, что желѣзный стержень E, висящій на пружинѣ F, втягивается внутрь проволочной катушки R, по которой проходитъ токъ, и тѣмъ глубже, чѣмъ сильнѣе проходящій черезъ катушку токъ. Для производства наблюденій оба зажима, a и b, которыми оканчивается обмотка катушки, соединяются съ гальваническимъ элементомъ. Если, напримѣръ, для этого прибора было опредѣлено, насколько глубоко желѣзный стержень втягивается катушкою, когда чрезъ нее проходитъ токъ силою въ 1, 2, 3 и т. д. ампера, то очевидно, и наоборотъ всегда можно по положенію желѣзнаго стержня узнать силу тока, проходящаго по катушкѣ. На такомъ же точно принципѣ основаны приборы для измѣренія силы тока, называемые пружинными гальванометрами. На черт. 40 изображенъ одинъ изъ такихъ приборовъ, служащій для демонстрированія и изготовляемый фирмою Гартмана и Брауна во Франкфуртѣ-на-Майнѣ; на чертежѣ видны

Черт. 39.



проволочная катушка R, желѣзный стержень E и пружина F, на которой виситъ этотъ стержень. Указатель Z сдѣланъ вращающимся вокругъ оси въ цѣляхъ болѣе удобнаго наблюденія издали; при опусканіи желѣзнаго стержня указатель наклоняется направо, при поднманіи же — налѣво; движенія его происходятъ передъ шкалой, на которой для каждаго его положенія нанесена въ амперахъ сила тока, соотвѣтствующаго данному положенію. Токъ въ катушку R можно ввести, соединяя полюсы какого-нибудь элемента съ зажимами *a* и *b*. Эти приборы, конструированные по даннымъ Ф. Кольрауша, могутъ быть устроены такъ, чтобы измѣрять какъ очень слабые, такъ и очень сильные токи. Для нашихъ цѣлей пока достаточно знать, что мы имѣемъ приборъ, при помощи котораго можно измѣрять силы тока въ амперахъ.

Черт. 40.



Отчего же зависитъ сила тока? Прежде всего, очевидно, отъ электродвижущей силы элемента. Чѣмъ больше электродвижущая сила, которая гонитъ электричество, тѣмъ больше должно быть и количество электричества, которое проходитъ въ секунду черезъ каждое сѣченіе, т. е. тѣмъ больше должна быть сила тока въ цѣпи. Это дѣйствительно такъ и есть, въ чемъ легко можно убѣдиться съ помощью пружиннаго гальванометра. Возьмемъ, напримѣръ, элементъ Бунзена и соединимъ его посредствомъ двухъ тонкихъ проволокъ (почему онѣ должны быть тонкими, мы увидимъ дальше) съ измѣрительнымъ приборомъ; тогда мы получимъ нѣкоторую опредѣленную силу тока, напр., 0,5 ампера.

Если же мы соединимъ три такихъ элемента послѣдовательно, и крайніе полюсы этихъ элементовъ соединимъ съ помощью тѣхъ же тонкихъ проволокъ съ зажимами прибора, то онъ покажетъ силу тока въ три раза больше, чѣмъ раньше, а именно 1,5 ампера.

Тѣ же результаты мы получили бы, если бы произвели этотъ опытъ съ другимъ большимъ или меньшимъ числомъ элементовъ. Отсюда мы выводимъ законъ:

А. Чѣмъ больше электродвижущая сила, дѣйствующая

въ нѣкоторой цѣпи, тѣмъ больше при прочихъ равныхъ условіяхъ сила тока. Если мы увеличимъ электродвижущую силу въ два, три или четыре раза, то и сила тока увеличится соотвѣтственно въ два, три или четыре раза. Такимъ образомъ мы опредѣлили одну изъ величинъ, имѣющихъ вліяніе на силу тока, и узнали, какъ именно она на нее вліяетъ.

Кромѣ электродвижущей силы, сила тока должна еще зависѣть отъ формы и размѣровъ тѣхъ тѣлъ, черезъ которыя протекаетъ электричество.

Мы уже раньше убѣдились, что всѣ тѣла при прохожденіи черезъ нихъ электричества оказываютъ нѣкоторое сопротивленіе, изоляторы — чрезвычайно большое, полупроводники—меньшее, а проводники—сравнительно весьма небольшое. Чѣмъ больше сопротивленіе, которое токъ долженъ преодолѣть во всей цѣпи, тѣмъ меньшее количество электричества можетъ въ опредѣленное время, напримѣръ въ 1 секунду, при прочихъ равныхъ условіяхъ, пройти черезъ сѣченіе цѣпи, тѣмъ меньше, слѣдовательно, будетъ сила тока. Такимъ образомъ, сила тока зависитъ и отъ того сопротивленія, которое токъ долженъ преодолѣть на своемъ пути. Но это сопротивленіе составляется изъ различныхъ частей. Оно состоитъ изъ сопротивленія, которое оказываетъ току самъ элементъ, т. е. его металлъ и его жидкости, и затѣмъ изъ сопротивленія соединительной проволоки или вообще всѣхъ тѣхъ проволокъ, черезъ которыя приходится проходить току; такъ, напримѣръ, если токъ проходитъ чрезъ нашъ пружинный гальванометръ, то въ общее сопротивленіе входитъ и сопротивленіе его проволочной катушки. Что собственно понимаютъ подъ словомъ сопротивленіе, мы разъяснимъ дальше. Во всякомъ случаѣ мы пришли къ слѣдующему выводу:

B. Чѣмъ больше полное сопротивленіе цѣпи, тѣмъ меньше сила тока. Если мы полное сопротивленіе увеличимъ въ два, три, четыре раза (оставивъ электродвижущую силу той же самой), то сила тока будетъ лишь половиною, третью или четвертью первоначальной силы тока.

Совокупность этихъ двухъ законовъ, A и B, представляющихъ чрезвычайную важность для всего ученія объ электричествѣ, называютъ закономъ Ома.

Оба эти закона мы можемъ объединить въ слѣдующей формѣ:

Въ каждой простой замкнутой цѣпи сила тока равна электродвижущей силѣ, раздѣленной на полное сопротивленіе:

$$\text{Сила тока} = \frac{\text{Электродвижущая сила}}{\text{Сопротивленіе}}.$$

Этотъ законъ Ома пригоденъ для всѣхъ электрическихъ токовъ если только мы будемъ всегда принимать во вниманіе всѣ электродвижущія силы, дѣйствующія въ цѣпи, и всѣ сопротивленія, въ нее входящія.

Теперь мы ближе разсмотримъ, какъ сопротивленіе проводниковъ зависитъ отъ величины и формы ихъ, отъ вещества, изъ котораго они сдѣланы, и отъ распредѣленія ихъ въ цѣпи.

Въ большинствѣ примѣненій электрическаго тока, путь, по которому течетъ электричество, представляетъ собой проволоку или имѣетъ по крайней мѣрѣ форму проволоки. Для проведенія тока пользуются обыкновенно мѣдными, платиновыми или желѣзными проволоками. Но даже когда электрическій токъ проходитъ черезъ жидкость, мы можемъ разсматривать ея форму, какъ форму проволоки, и говорить о длинѣ жидкости и ея поперечномъ сѣченіи.

Итакъ, изслѣдуемъ, какъ зависитъ сопротивленіе проволоки отъ ея длины, ея сѣченія и вещества, изъ котораго она сдѣлана.

Возьмемъ какой-либо гальваническій элементъ, напримѣръ элементъ Даніэля, и соединимъ его полюсы съ пружиннымъ гальванометромъ при помощи двухъ мѣдныхъ проволокъ, имѣющихъ нѣкоторое опредѣленное сѣченіе, и длина которыхъ въ суммѣ представляетъ собой также нѣкоторую опредѣленную длину, напримѣръ, 10 метровъ. Тогда нашъ приборъ покажетъ нѣкоторую опредѣленную силу тока. Замѣнимъ затѣмъ проволоки длиною въ 10 мт. другими мѣдными проволоками точно такой же толщины, но длиною въ 20 мт.; мы получимъ тогда другую, меньшую силу тока; если мы замѣнимъ теперь послѣднюю проволоку другими той же толщины, но длиною въ 30, 40, 50 метровъ и т. д., то мы будемъ получать все меньшія и меньшія силы тока. Электродвижущая сила элемента, сопротивленіе жидкостей въ элементѣ и сопротивленіе проволоки пружиннаго гальванометра остались все время неизмѣнными; лишь сопротивленіе соединительныхъ проволокъ стало инымъ и, благодаря этому, измѣнилась и сила тока. Мы можемъ, слѣдовательно, разсчитать, какъ мѣняется сопротивленіе проволоки постояннаго сѣченія изъ извѣстнаго вещества при измѣненіи ея длины. Такимъ образомъ мы нашли бы, что при увеличеніи длины въ два, три или четыре раза и сопротивленіе проволоки растетъ въ два, три или четыре раза. Отсюда слѣдуетъ законъ:

а) Сопротивленіе проволокъ изъ одного и того же вещества и постояннаго сѣченія тѣмъ больше, чѣмъ больше ихъ длина.

Совершенно подобнымъ же образомъ мы можемъ изслѣдовать, какъ мѣняется сопротивленіе проволоки съ измѣненіемъ ея сѣченія. Возьмемъ для этого рядъ мѣдныхъ проволокъ одной и той же длины,

но различныхъ сѣченій и послѣдовательно заставимъ токъ изъ элемента проходить черезъ каждую изъ нихъ. Тогда по различнымъ показаніямъ гальванометра, дающимъ различныя силы тока, мы можемъ разсчитать величину сопротивленія различныхъ проволокъ. Мы находимъ такимъ образомъ, что

b) Сопротивленіе проволокъ изъ одного и того же вещества и той же длины тѣмъ меньше, чѣмъ больше ихъ сѣченіе.

Если мы увеличимъ сѣченіе въ два, три, четыре раза, то сопротивленіе будетъ представлять собой лишь половину, треть или четверть первоначальной величины сопротивленія.

Форма сѣченія, круглая, четырехугольная, или вообще какая-нибудь другая неправильная, не играетъ никакой роли. Сопротивленіе зависитъ лишь отъ величины сѣченія.

Такимъ образомъ мы нашли законы, указывающіе, какъ сопротивленіе проволоки зависитъ отъ ея величины и формы. Но сопротивленіе зависитъ также существенно и отъ рода того вещества, изъ котораго сдѣланъ проводникъ. Мѣдная проволока въ 1 мт. длиной и 1 кв. мм. сѣченіемъ имѣетъ, напримѣръ, иное сопротивленіе, чѣмъ алюминіевая проволока той же длины и того же сѣченія. Если принять сопротивленіе мѣдной проволоки опредѣленной длины и опредѣленнаго сѣченія за единицу, и положить эту единицу въ основу нашихъ разсчетовъ, то для всякаго другого вещества можно найти число, которое покажетъ, во сколько разъ сопротивленіе этого вещества, той же длины и того же сѣченія, больше или меньше. Это число мы называемъ удѣльнымъ сопротивленіемъ проводника, отнесеннымъ къ мѣди, какъ къ единицѣ. Ниже мы приведемъ таблицы удѣльныхъ сопротивленій многихъ металловъ и другихъ проводниковъ. Здѣсь, какъ примѣръ, приведемъ только, что удѣльное сопротивленіе желѣза, отнесенное къ мѣди, какъ къ единицѣ, есть 6,10, а нейзильбера 18,8. Это значитъ, что желѣзная проволока имѣетъ всегда сопротивленіе въ 6,10 разъ больше, чѣмъ мѣдная проволока той же длины и того же сѣченія, а нейзильберовая проволока даже въ 18,8 разъ большее сопротивленіе.

Теперь, когда мы узнали, какъ сопротивленіе проводника зависитъ отъ его длины, сѣченія и вещества, мы можемъ высказать слѣдующій законъ:

c) Сопротивленіе проводника равно его удѣльному сопротивленію, умноженному на его длину и дѣленному на его сѣченіе.

$$\text{Сопротивл. проводн.} = \text{Удѣльн. сопротивл.} \times \frac{\text{Длина}}{\text{Сѣченіе}}.$$

Это относится къ проводникамъ всякаго рода, какъ къ твердымъ, (металлы, уголь), такъ и къ жидкимъ, а слѣдовательно и къ жидкостямъ, входящимъ въ гальваническіе элементы.

Теперь мы установимъ единицу для сопротивленій, чтобы можно было однородно выражать величину всякихъ сопротивленій.

Международнымъ соглашеніемъ принято считать за единицу сопротивленія—сопротивленіе столба ртути въ 106,3 см. длины и 1 кв. мм. сѣченія при температурѣ 0°. Это сопротивленіе называется омомъ. Итакъ, мы будемъ выражать всѣ сопротивленія въ омахъ. Между сопротивленіемъ равнымъ 1 ому, единицей электродвижущей силы и единицей силы тока существуетъ слѣдующая зависимость:

$$1 \text{ амперъ} = \frac{1 \text{ вольтъ}}{1 \text{ омъ}}.$$

Съ теперешнимъ запасомъ знаній мы можемъ уже приступить къ разсмотрѣнію гальваническихъ элементовъ.

Возьмемъ гальваническій элементъ, напримѣръ, элементъ Даніэля, и соединимъ его полюсы посредствомъ проволоки нѣкотораго опредѣленнаго сопротивленія; тогда по этой замкнутой цѣпи будетъ идти токъ, сила котораго равна электродвижушей силѣ элемента, раздѣленной на полное сопротивленіе цѣпи. А полное сопротивленіе состоитъ изъ сопротивленія проволоки и сопротивленія самого элемента, которое называется внутреннимъ сопротивленіемъ элемента.

Черт. 41.



Если соединить рядъ элементовъ Даніэля послѣдовательно, какъ на черт. 41, то токъ пойдетъ отъ положительнаго полюса (+) по внѣшней соединительной проволокѣ къ отрицательному полюсу (—) и затѣмъ черезъ батарею обратно къ + полюсу, т. е. отъ восьмого элемента къ седьмому, отъ этого къ шестому и т. д.

При такомъ родѣ соединеній элементовъ цинкъ одного элемента всегда соединенъ съ мѣдью другого. Электродвижущая сила, дѣйствующая въ такой цѣпи, слѣдовательно, въ восемь разъ больше, чѣмъ у одного элемента Даніэля (стр. 53). Но и внутреннее сопротивленіе всей батареи теперь въ восемь разъ больше, чѣмъ у одного элемента Даніэля, потому что токъ долженъ пройти черезъ слой жидкости, имѣющей длину въ восемь разъ большую при томъ же поперечномъ сѣченіи. Полная сила тока будетъ такимъ образомъ:

$$\text{сила тока} = \frac{\text{восемь электродв. силъ одного элемента Даніэля}}{\text{сопр. пров.} + \text{восемь разъ внутр. сопр. одного элемента Даніэля}}.$$

Если же сопротивленіе проволоки весьма мало сравнительно съ сопротивленіемъ одного элемента Даніэля, такъ что имъ можно пренебречь, то приблизительно

$$\text{сила тока} = \frac{\text{электродвижущая сила одного элемента Даніэля}}{\text{внутреннее сопротивл. одного элемента Даніэля}}.$$

Такимъ образомъ мы ничего не выиграли въ силѣ тока, когда соединили всѣ восемь элементовъ послѣдовательно. Полная сила тока приблизительно такъ же велика, какъ если бы мы взяли всего одинъ элементъ Даніэля.

Если же, наоборотъ, сопротивленіе проволоки весьма велико, значительно больше, чѣмъ полное внутреннее сопротивленіе всей батареи, то мы имѣемъ приблизительно

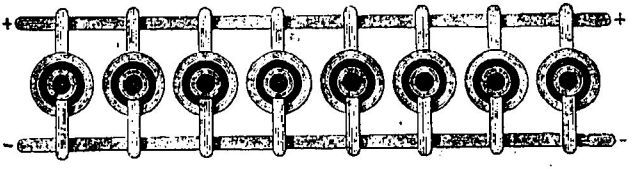
$$\text{сила тока} = \frac{\text{восемь электродв. силъ одного элемента Даніэля}}{\text{сопротивленіе проволоки}}.$$

Теперь, слѣдовательно, сила тока почти въ восемь разъ больше, чѣмъ если бы мы взяли всего одинъ элементъ Даніэля.

Отсюда слѣдуетъ правило: если сопротивленіе соединительной проволоки батереи, или какъ говорятъ, внѣшней цѣпи весьма велико въ сравненіи съ внутреннимъ сопротивленіемъ батареи, то выгодно соединять элементы послѣдовательно въ одну батарею, чтобы получить возможно бо̀льшую силу тока.

Элементы, однако, можно соединять другъ съ другомъ и иначе, а именно такъ, что всѣ мѣдныя пластины будутъ соединены вмѣстѣ и всѣ цинковыя тоже вмѣстѣ. Такое соединеніе изображено на черт. 42. Мы говоримъ тогда, что элементы соединены параллельно. Здѣсь уже условія совершенно иныя. Всѣ мѣдные цилиндры образуютъ вмѣстѣ большую мѣдную поверхность, а всѣ цинковые цилиндры

Черт. 42.



большую цинковую поверхность; обѣ эти поверхности расположены другъ противъ друга. Электродвижущая же сила, какъ мы знаемъ, вовсе не зависитъ отъ величины мѣдныхъ и цинковыхъ пластинъ; она, слѣдовательно, при такомъ расположеніи батареи равна электродвиж. силѣ одного элемента Даніэля. Итакъ, электродвижущая сила при подобномъ расположеніи элементовъ не повышается. Но внутреннее сопротивленіе этой батареи меньше, чѣмъ у

одного элемента Даніэля. Дѣйствительно, если мы представимъ себѣ всѣ жидкости и всѣ металлы находящимися въ одномъ сосудѣ, то сѣченіе столба жидкостей, черезъ которое проходитъ токъ, теперь въ восемь разъ больше, чѣмъ у одного элемента Даніэля. Слѣдовательно, внутреннее сопротивленіе этой батареи представляетъ лишь одну восьмую часть внутренняго сопротивленія одного элемента Даніэля. Если полюсы этой батареи (обозначенные на чертежѣ справа и слѣва знаками + и —) соединить внѣшней проволокой, то мы получимъ:

$$\text{сила тока} = \frac{\text{электродвижущая сила одного Даніэля}}{\text{сопротивленіе проволоки} + {}^1/_8 \text{ внутр. сопротивл. одного Даніэля}}.$$

Теперь, слѣдовательно, условія совершенно противоположны тѣмъ, которыя были раньше при послѣдовательномъ соединеніи элементовъ.

Дѣйствительно, если сопротивленіе проволоки весьма мало въ сравненіи съ внутреннимъ сопротивленіемъ батареи, то

$$\text{сила тока} = \frac{\text{электродвижущая сила одного Даніэля}}{{}^1/_8 \text{ внутр. сопротивл. одного Даніэля}}.$$

Слѣдовательно, сила тока почти въ восемь разъ больше, чѣмъ отъ одного элемента Даніэля. Если же сопротивленіе проволоки весьма велико, то

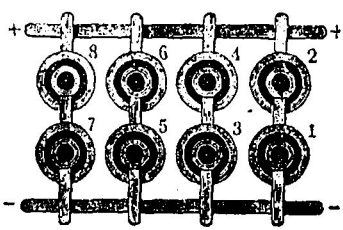
$$\text{сила тока} = \frac{\text{электродвижущая сила одного Даніэля}}{\text{сопротивленіе проволоки}}.$$

Въ послѣднемъ случаѣ, сила тока почти та же, что у одного элемента Даніэля; слѣдовательно мы ничего не выигрываемъ при этомъ въ силѣ тока.

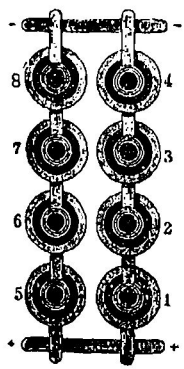
Элементы можно также соединять частью послѣдовательно, частью параллельно, какъ показано на чертежахъ 43 и 44.

Въ батареѣ, изображенной на черт. 43, 4 пары элементовъ Даніэля соединены параллельно, причемъ каждая пара состоитъ изъ двухъ элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно.

Черт. 43.



Черт. 44.



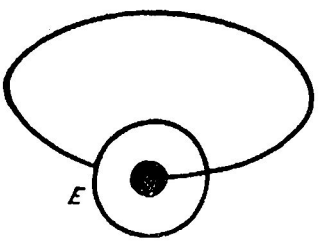
Внутреннее сопротивленіе этой батареи, слѣдовательно, $= {}^2/_4 =$ половинѣ сопротивленія одного элемента, такъ какъ столбъ жидкости имѣетъ въ этомъ случаѣ вдвое большую длину и въ четыре раза большее сѣченіе. Электродвижущая сила при этомъ вдвое больше, чѣмъ у одного элемента Даніэля, потому что всего два ихъ соединены послѣдовательно. Наоборотъ, на черт. 44 четыре элемента соединены послѣдо-

вательно и двѣ такихъ группы параллельно. Внутреннее сопротивленіе, слѣдовательно, равно $^1/_2$, т. е. въ два раза больше, а электродвижущая сила въ 4 раза больше, чѣмъ у одного элемента.

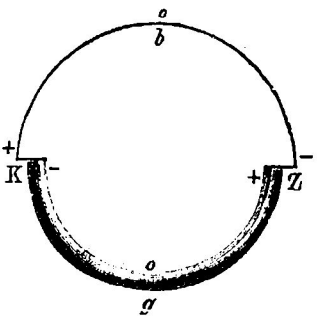
Соединеніе элемента или батареи при помощи очень малаго внѣшняго сопротивленія, напр. при помощи короткой и толстой проволоки, называется короткимъ замыканіемъ. Въ такомъ случаѣ сила тока будетъ наибольшая изъ тѣхъ, которыя можетъ произвести данный элементъ, такъ какъ она равна электродвижущей силѣ элемента, дѣленной на внутреннее сопротивленіе. Отсюда легко заключить, что, если требуется при короткомъ замыканіи получить большую величину для силы тока, то для этого необходимо, чтобы самъ элементъ имѣлъ очень малое внутреннее сопротивленіе.

Самая простая схема замкнутой цѣпи, которую мы до сихъ поръ исключительно и разсматривали, изображена на черт. 45. Здѣсь E представляетъ собой гальваническій элементъ, а соединительная проволока идетъ отъ одного полюса элемента къ другому. Она можетъ при этомъ пройти черезъ цѣлый рядъ приборовъ, но все же будетъ однимъ не развѣтвленнымъ проводомъ.

Черт. 45.



Черт. 46.

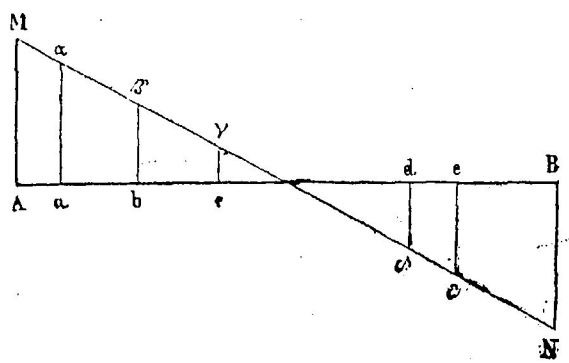


Чтобы ближе изслѣдовать явленія, происходящія въ такой простой цѣпи, мы воспользуемся схемой черт. 46. Нижняя часть $Z\,g\,K$ представляетъ стеклянную трубку, наполненную разбавленной сѣрной кислотой, верхняя часть $Z\,b\,K$ представляетъ проволоку. Въ Z находится цинковая пластинка, въ K—мѣдная пластинка. Мѣдная пластинка имѣетъ положительное напряженіе, цинковая такой же величины отрицательное. На проволокѣ $K\,b\,Z$ въ различныхъ ея точкахъ имѣется различное напряженіе, причемъ это напряженіе, начиная отъ положительной величины у K, проходитъ черезъ нуль и мало-по-малу достигаетъ наконецъ у Z отрицательной величины. Итакъ, въ одной точкѣ напряженіе равно нулю, и именно, если проволока состоитъ изъ одного однороднаго металла, какъ разъ въ серединѣ между K и Z, въ точкѣ b. То же происходитъ и въ нижней части нашей схемы. Граничащій съ K слой сѣрной кислоты имѣетъ отрицательное напряженіе, слой же, граничащій съ Z—положительное напряженіе, и вдоль

всей нижней части цѣпи напряженіе падаетъ отъ Z къ K. И здѣсь въ одной точкѣ, въ срединѣ, близь g, напряженіе равно нулю. У самыхъ же металловъ происходитъ скачекъ напряженія, вызываемый электрической раздѣляющей силой.

Изслѣдуемъ распредѣленіе напряженія пока только на проволокѣ. Представимъ себѣ, что она вытянута въ одну линію AB (черт. 47) и состоитъ изъ однороднаго металла; въ начальной точкѣ она имѣетъ нѣкоторое положительное напряженіе, которое представимъ себѣ изображеннымъ линіей AM; на концѣ же B она имѣетъ равное по величинѣ, но отрицательное напряженіе, которое изобразимъ линіей BN. Въ промежуточныхъ точкахъ a, b, c, d и e напряженіе имѣетъ величины, выраженныя линіями $a\alpha$, $b\beta$, $c\gamma$, $d\delta$, $e\varepsilon$. Въ срединѣ проводника напряженіе—нуль. Такимъ образомъ между каждыми двумя точками проволоки существуетъ нѣкоторая разность напряженій. Такъ, напримѣръ, напряженіе въ точкѣ a больше, чѣмъ въ b на величину $a\alpha - b\beta$, больше, чѣмъ въ e на величину $a\alpha + e\varepsilon$ и т. д. Итакъ, въ двухъ любыхъ точкахъ проволоки напряженіе имѣетъ различныя величины, и это есть именно причина, почему электричество течетъ по проволокѣ, такъ какъ положительное электричество должно всегда течь отъ мѣстъ высшаго къ мѣстамъ низшаго напряженія. Для каждой части этой проволоки примѣнимъ теперь законъ, подобный тому, какой мы имѣли для замкнутой цѣпи. Сила тока, т. е. количество электричества, протекающее въ одну секунду черезъ какой-либо отрѣзокъ проволоки, зависитъ отъ разности напряженій на двухъ концахъ этого отрѣзка и отъ его сопротивленія.

Черт. 47.



Такъ какъ сила тока во всей проволокѣ имѣетъ одну и ту же величину, то къ каждому отрѣзку проволоки можно примѣнить законъ:

$$\text{Сила тока} = \frac{\text{Разность напряженій на концахъ отрѣзка}}{\text{Сопротивленіе отрѣзка}}.$$

Это можно выразить и иначе, а именно:

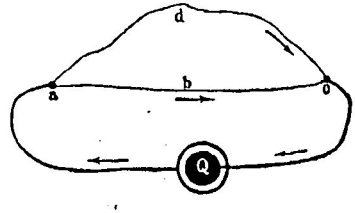
Разность напряженій на концѣ отрѣзка = сила тока × сопротивленіе отрѣзка, или: напряженіе на концѣ отрѣзка меньше, чѣмъ въ его началѣ, на величину, равную произведенію силы тока на сопро-

тивленіе отрѣзка. Мы можемъ высказать то же самое въ болѣе удобной формѣ: при прохожденіи чрезъ отрѣзокъ проволоки токъ теряетъ въ напряженіи, причемъ паденіе напряженія равно силѣ тока, умноженной на сопротивленіе отрѣзка. Преодолѣваніе токомъ всякаго сопротивленія сопровождается, слѣдовательно, нѣкоторой потерей въ напряженіи, причемъ эта потеря тѣмъ больше, чѣмъ больше сопротивленіе, которое токъ преодолѣваетъ. На пути bc (черт. 47) токъ испыталъ потерю въ напряженіи, равную $b\beta - c\gamma$, на пути ae — потерю, равную $a\alpha + e\varepsilon$.

Благодаря электрической раздѣляющей силѣ у обоихъ электродовъ—цинка и мѣди—имѣютъ мѣсто рѣзкія измѣненія напряженія (скачки напряженія). Повышеніе напряженія наблюдается отъ цинка къ окружающей его жидкости, а также отъ жидкости къ мѣди. Отъ мѣди токъ идетъ по внѣшней цѣпи къ цинку и отъ цинка внутри элемента черезъ жидкость къ мѣди; такимъ образомъ, потеря напряженія, имѣющая мѣсто вдоль всего пути тока, должна быть равна приращенію напряженія, происходящему на цинкѣ и на мѣди вслѣдствіе раздѣляющей силы. Итакъ, потеря напряженія во внѣшней цѣпи + потеря напряженія внутри элемента = приращеніе напряженія на цинкѣ + приращеніе напряженія на мѣди. Два слагаемыхъ въ послѣдней части равенства въ суммѣ представляютъ собою ни что иное, какъ электродвижущую силу элемента. Поэтому мы можемъ сказать слѣдующее: когда по цѣпи идетъ токъ, то дѣйствующая въ ней электродвижущая сила равна суммѣ потерь напряженія во внѣшней цѣпи и внутри элемента. Но потеря напряженія во внѣшней цѣпи есть ни что иное, какъ разность напряженій между полюсами замкнутаго элемента. Эту величину обыкновенно называютъ напряженіемъ у зажимовъ. На основаніи всего вышесказаннаго мы можемъ слѣдующимъ образомъ формулировать нашъ законъ: электродвижущая сила элемента равна напряженію у его зажимовъ + потеря напряженія внутри элемента. Слѣдовательно, напряженіе у зажимовъ у замкнутаго элемента меньше, чѣмъ электродвижущая сила элемента, а именно меньше на величину потери напряженія внутри элемента, т. е. на произведеніе силы тока на внутреннее сопротивленіе.

До сихъ поръ мы разсматривали лишь одну простую замкнутую цѣпь, по которой проходитъ токъ.

Черт. 48.



Часто, однако, въ изслѣдованіяхъ и въ примѣненіяхъ электричества пользуются болѣе общимъ случаемъ: токъ часто заставляютъ проходить чрезъ развѣтвленную цѣпь, изображенную въ простѣйшемъ видѣ на черт. 48.

Здѣсь токъ по направленію стрѣлки выходитъ изъ элемента Q, проходитъ затѣмъ до a, но здѣсь развѣтвляется и идетъ по направленію стрѣлки, какъ по пути d, такъ и по пути b, до точки c. Здѣсь опять соединяются оба пути тока, и дальше токъ идетъ, какъ обыкновенно, обратно въ элементъ. И для этого случая развѣтвленія тока можно вывести законы изъ вышеприведеннаго обобщенія закона Ома.

Прежде всего мы получимъ изъ этого закона, что въ данномъ случаѣ сила тока не во всей цѣпи та же самая, но что теперь, въ различныхъ вѣтвяхъ цѣпи проходятъ токи различной силы. Въ точкѣ a имѣется одно опредѣленное напряженіе, въ точкѣ c — другое. Разность напряженій между a и c гонитъ электричество какъ чрезъ abc, такъ и чрезъ adc. Слѣдовательно, мы имѣемъ, что

$$\text{сила тока въ } abc = \frac{\text{разность напряженій между } a \text{ и } c}{\text{сопротивленіе } abc}$$

и

$$\text{сила тока въ } adc = \frac{\text{разность напряженій между } a \text{ и } c}{\text{сопротивленіе } adc}.$$

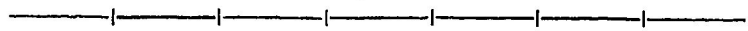
Отсюда вытекаетъ, что силы тока въ обѣихъ вѣтвяхъ обратно пропорціональны ихъ сопротивленіямъ. Въ неразвѣтвленной части цѣпи $a\ Q\ c$ сила тока равна суммѣ силъ токовъ въ вѣтвяхъ d и b. Если обѣ вѣтви имѣютъ равныя сопротивленія, то чрезъ каждую изъ нихъ идетъ токъ, сила котораго равна лишь половинѣ главнаго тока. Если же напримѣръ вѣтвь adc имѣетъ сопротивленіе въ два раза большее, чѣмъ сопротивленіе abc, то токъ, проходящій чрезъ adc, въ два раза слабѣе того, который проходитъ чрезъ abc, но сумма силъ токовъ въ двухъ вѣтвяхъ все-таки равна силѣ тока въ неразвѣтвленной части цѣпи.

Сопротивленіе, которое обѣ вѣтви вмѣстѣ взятыя представляютъ прохожденію тока, далеко не равно суммѣ сопротивленій обоихъ проводниковъ, но значительно меньше, и даже меньше, чѣмъ сопротивленіе одного проводника отдѣльно взятаго. Въ этомъ мы тотчасъ убѣдимся, если представимъ себѣ, напримѣръ, что обѣ вѣтви имѣютъ равную длину и равныя сѣченія. Тогда токъ идетъ изъ a въ c одновременно черезъ обѣ вѣтви, какъ будто бы онъ проходилъ изъ a въ c по одному проводнику, но съ сѣченіемъ въ два раза бо́льшимъ. А въ такомъ случаѣ сопротивленіе проводника, какъ мы знаемъ, представляетъ собой лишь половину прежняго. Слѣдовательно, эти двѣ вѣтви одинаковой длины и одинаковаго сѣченія имѣютъ, вмѣстѣ взятыя, сопротивленіе, равное всего лишь половинѣ сопротивленія каждой вѣтви отдѣльно взятой. Это весьма важное положеніе. Когда мы имѣемъ два или больше проводниковъ, начальныя и конечныя точки которыхъ соединены вмѣстѣ, то гово-

римъ, что эти проводники соединены параллельно; если же проводники соединены такъ, что начальная точка одного соединена всегда съ конечною точкою другого, то говорится что проводники соединены послѣдовательно. Эти обозначенія совершенно аналогичны тѣмъ, которыя примѣняютъ при соединеніи элементовъ.

Если мы имѣемъ, напримѣръ, 7 проволокъ всѣ равнаго сопротивленія и соединимъ ихъ, какъ показано на черт. 49, то сопротивленіе

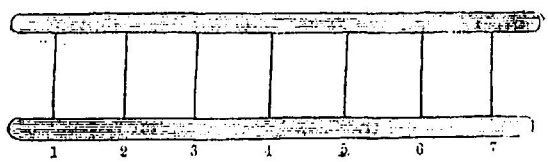
Черт. 49.



всѣхъ этихъ проволокъ, составленныхъ вмѣстѣ, въ 7 разъ больше, чѣмъ сопротивленіе одной проволоки, отдѣльно взятой. Проволоки эти въ данномъ случаѣ соединены послѣдовательно.

Если же мы соединимъ проволоки, какъ изображено на черт. 50, то сопротивленіе всѣхъ этихъ 7 проволокъ представляетъ лишь $^1/_7$ сопротивленія каждой въ отдѣльности и $^1/_{49}$ сопротивленія тѣхъ же самыхъ проволокъ, соединенныхъ такъ, какъ показано на черт. 49. Проволоки въ этомъ случаѣ соединены параллельно.

Черт. 50.



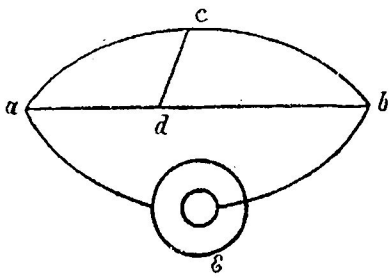
Мы можемъ легко уяснить себѣ эти обстоятельства, если перейдемъ къ явленіямъ, наблюдаемымъ въ текущей жидкости, напримѣръ въ водѣ.

Пусть вода течетъ изъ резервуара по трубѣ, имѣющей 5 мт. длины и нѣкоторое опредѣленное сѣченіе; количество воды, вытекающей въ одну минуту, зависитъ отъ тренія внутри трубы, которое въ данномъ случаѣ аналогично сопротивленію проводника. Если труба имѣетъ не 5 мт., а двойную длину — 10 мт., то треніе въ два раза больше, а слѣдовательно въ каждую минуту воды вытекаетъ меньше, чѣмъ раньше.

Если же мы вмѣсто трубы въ 10 мт. возьмемъ двѣ рядомъ расположенныя трубы въ 5 мт., то черезъ нихъ вытечетъ количество воды въ два раза большее, чѣмъ раньше черезъ одну. Правда, и здѣсь въ каждой трубѣ въ отдѣльности существуетъ треніе, но все же чрезъ двѣ трубы равной длины и равнаго сѣченія вытечетъ въ каждую минуту двойное количество воды.

Въ качественномъ отношеніи тѣ же явленія происходятъ и съ электричествомъ. Чѣмъ больше проволокъ соединить послѣдовательно, тѣмъ больше сопротивленіе всей системы и тѣмъ меньше сила тока

Черт. 51.



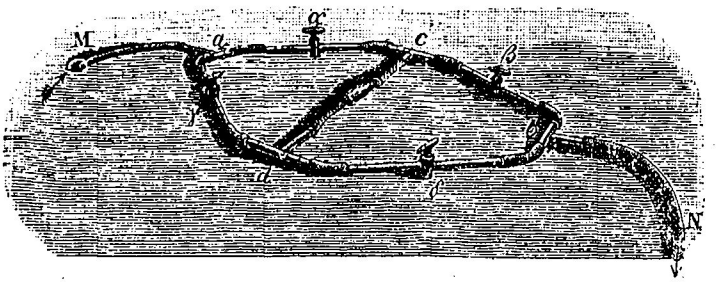
при той же самой электродвижущей силѣ; наоборотъ, чѣмъ больше проводниковъ соединить параллельно, тѣмъ сопротивленіе системы меньше, а сила тока больше.

Развѣтвленіе тока можно сдѣлать еще сложнѣе. Обѣ вѣтви цѣпи можно въ свою очередь соединить посредствомъ проволоки, какъ показано на черт. 51.

Здѣсь двѣ вѣтви *adb* и *acb*, исходящія изъ элемента *E*, соединены одна съ другой еще проволокой *cd*. Эту проволоку называютъ мостикомъ, а все это развѣтвленіе, весьма важное на практикѣ, «развѣтвленіемъ въ видѣ мостика».

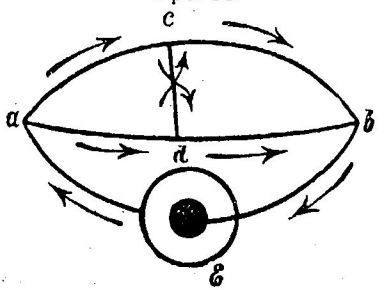
Если мы представимъ себѣ такую систему, составленную изъ трубъ, по которымъ течетъ вода (черт. 52), то мы тотчасъ замѣтимъ одно важное свойство такого расположенія системы. Черезъ гуттаперчевую трубку *M* пускаемъ изъ водопровода воду въ *a*; отсюда вода

Черт. 52.



по трубкамъ *ac* и *cb* съ одной стороны, и по трубкамъ *ad* и *db* съ другой стороны течетъ въ *b*, откуда она вытекаетъ чрезъ трубу *N*. Въ соединительной части *cd* вода стремится одновременно течь какъ внизъ изъ *c* въ *d*, такъ и наверхъ изъ *d* въ *c*. Очевидно, что посредствомъ кранов α, β, γ, δ въ этихъ четырехъ трубкахъ можно такъ регулировать силу теченія, что въ трубкѣ *cd* вода будетъ находиться въ покоѣ, не будетъ двигаться, такъ что, напримѣръ, легонькій флюгеръ, закрѣпленный въ стеклянной трубкѣ между *cd*, будетъ оставаться въ покоѣ.

Черт. 53.

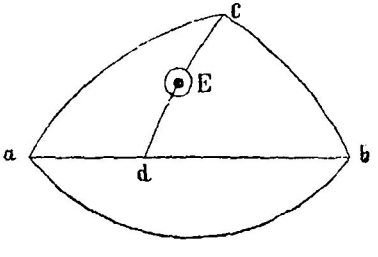


То же происходитъ и съ электрическими токами. Дѣйствительно, въ

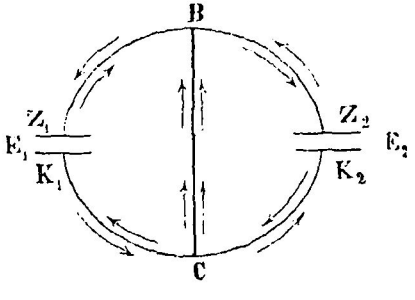
мостикѣ, какъ то указываютъ стрѣлки на черт. 53, встрѣчаются два тока противоположныхъ направленій, которые другъ друга ослабляютъ. Изъ *ac* токъ идетъ сверху внизъ въ мостикъ, изъ *ad* — снизу вверхъ. Существуетъ, слѣдовательно, возможность такого распредѣленія токовъ, что по мостику будетъ проходить токъ силы нуль, т. е. совершенно не будетъ тока, между тѣмъ какъ по всей остальной системѣ проходятъ электрическіе токи. Эта возможность зависитъ отъ того, какъ относятся другъ къ другу сопротивленія четырехъ частей *ad*, *ac*, *bd* и *bc*, подобно тому, какъ въ случаѣ теченія воды это зависѣло отъ положенія кранова. Мы можемъ это сейчасъ точнѣе вывести изъ нашего обобщенія закона Ома.

При какомъ условіи по мостику вовсе не будетъ идти токъ?

Черт. 54.



Черт. 55.



Когда черезъ мостикъ *cd* вовсе не проходитъ тока, то напряженіе въ *c* должно быть равно напряженію въ *d*, потому что только въ такомъ случаѣ черезъ *cd* не пойдетъ токъ. Отсюда слѣдуетъ, что и потеря напряженія вдоль пути *ac* должна быть равна потерѣ вдоль пути *ad*, а потеря напряженія вдоль пути *cb* должна быть равна потери вдоль пути *db*. Такъ какъ по мостику вовсе не идетъ токъ, то мы можемъ себѣ представить, что этой проволоки совсѣмъ нѣтъ, а тогда, слѣдовательно, сила тока въ *ac* должна быть равна силѣ тока въ *cb*, а также сила тока въ *ad* равна силѣ тока въ *db*. Отсюда слѣдуетъ, что когда по мостику не проходитъ токъ, то должна быть выполнена слѣдующая зависимость:

$$\frac{\text{сопротивленіе } ac}{\text{сопротивленіе } ad} = \frac{\text{сопротивленіе } cb}{\text{сопротивленіе } db}.$$

Изъ вышеизложеннаго видно, что такое расположеніе даетъ намъ возможность сравнить сопротивленіе одной проволоки съ сопротивленіемъ другой; самый методъ мы опишемъ ниже. Въ первый разъ этотъ методъ былъ данъ Витстономъ, и поэтому этотъ родъ раз-

вѣтвленія тока называется «мостикомъ Витстона». Элементъ можно также помѣщать въ самомъ мостикѣ *cd* (черт. 54); тогда при соблюденіи вышеприведенныхъ условій для величинъ сопротивленій, по вѣтви *ab*, какъ то легко вывести, совсѣмъ не будетъ проходить тока. Схема для мостика Витстона, изображенная на черт. 54, часто примѣняется на практикѣ.

Въ это развѣтвленіе токовъ можно ввести еще дальнѣйшее усложненіе, вводя въ отдѣльныя вѣтви другіе гальваническіе элементы, которые со своей стороны возбуждаютъ новые токи. Если въ какомъ-либо изъ отрѣзковъ проволоки находится еще элементъ, то электричество движется по этому отрѣзку не только благодаря приданной извнѣ разности напряженій его конечныхъ точекъ, но также благодаря дѣйствующей въ немъ электродвижущей силѣ. Если разность напряженій и эта электродвижущая сила дѣйствуютъ въ одномъ и томъ же направленіи, то сила тока въ этой вѣтви зависитъ отъ суммы этихъ двухъ величинъ. Если же онѣ дѣйствуютъ одна противъ другой, то сила тока зависитъ отъ ихъ разности. Въ обоихъ случаяхъ она зависитъ, кромѣ того, понятно, и отъ полнаго сопротивленія вѣтви.

Примѣръ такого развѣтвленія токовъ данъ на черт. 55. Здѣсь K_1Z_1 и K_2Z_2 — два элемента, изъ которыхъ второй, положимъ, имѣетъ меньшую электродвижущую силу E_2, чѣмъ первый E_1. Соединимъ теперь эти оба элемента такъ, чтобы положительные ихъ полюсы K_1 и K_2 были соединены вмѣстѣ такъ же, какъ и отрицательные полюсы Z_1 и Z_2. Кромѣ того между двумя любыми точками B и C перекинемъ мостикъ. Стрѣлки указываютъ намъ, что въ вѣтви BE_2C (съ меньшей электродвижущей силой) идутъ два тока другъ противъ друга; отсюда ясно, что существуетъ возможность расположить мостикъ такъ, что въ этой вѣтви сила тока будетъ равна нулю. При какихъ же условіяхъ сила тока въ вѣтви BE_2C будетъ равна нулю? Разъ тока нѣтъ, то очевидно, что разность напряженій въ точкахъ B и C должна быть какъ разъ равна электродвижущей силѣ E_2. Поэтому сила тока въ вѣтви BC должна быть равна электродвижущей силѣ E_2, дѣленной на сопротивленіе BC. Съ другой же стороны, такъ какъ въ вѣтви BE_2C вовсе нѣтъ тока, мы можемъ себѣ представить, что ея не существуетъ. Тогда въ замкнутой цѣпи BE_1CB идетъ одинъ только токъ, а слѣдовательно сила тока въ BC по закону Ома равна будетъ электродвижущей силѣ E_1, дѣленной на полное сопротивленіе BE_1C+BC.

Мы находимъ такимъ образомъ, что въ этомъ случаѣ электродвижущія силы E_2 и E_1 должны относиться, какъ сопротивленія BE_1CB, съ одной стороны, и BC—съ другой. Мы получаемъ такимъ образомъ:

$$\frac{\text{электродвижущая сила } E_1}{\text{электродвижущая сила } E_2} = \frac{\text{сопротивленіе } BE_1CB}{\text{сопротивленіе } BC}.$$

Дальше мы познакомимся съ основаннымъ на этомъ методомъ сравненія электродвижущихъ силъ.

Такимъ же способомъ, какимъ мы пользовались при разсмотрѣніи этихъ трехъ частныхъ случаевъ, можно воспользоваться и вообще при изслѣдованіи силы тока въ любомъ сложномъ случаѣ развѣтвленія токовъ. Нужно только для каждой вѣтви данной цѣпи опредѣлить паденіе напряженія, какъ указано выше. Кирхгофъ первый показалъ, что такимъ путемъ можно найти свойства развѣтвленныхъ токовъ.

Вышеприведенные законы являются основными положеніями для изученія электрическаго тока и вполнѣ опредѣляютъ его силу въ зависимости отъ электродвижущей силы батареи и сопротивленія всей цѣпи. Этимъ законамъ подчинены количественно всѣ случаи примѣненій электрическаго тока. Теперь для того, чтобы мы могли не только говорить о силахъ тока, объ электродвижущихъ силахъ и сопротивленіяхъ, но также вести точные количественные расчеты, касающіеся этихъ электрическихъ величинъ, мы должны прежде всего познакомиться съ методами ихъ измѣренія.

ГЛАВА IV.

Электрическія измѣренія.

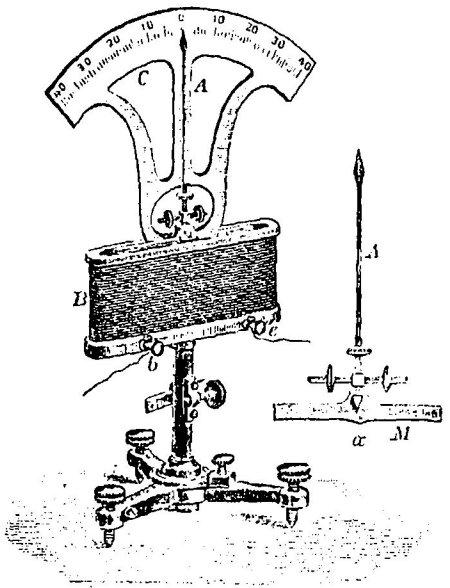
Всякій разъ, когда намъ приходится имѣть дѣло съ электрическимъ токомъ, необходимо считаться съ тремя величинами: съ сопротивленіемъ, съ электродвижущей силой и съ силой тока. Чтобы имѣть возможность такъ же легко производить дѣйствія надъ этими тремя величинами, какъ, напр., надъ длинами, вѣсами или временемъ, необходимо умѣть такъ же просто и точно измѣрять электрическія величины, какъ мы мѣряемъ длины, вѣса, время. Подобно тому, какъ для этой послѣдней цѣли употребляютъ масштабы, вѣсы и часы, такъ и для электрическихъ измѣреній мы пользуемся спеціальными измѣрительными приборами, о которыхъ теперь и поговоримъ.

Намъ необходимо раньше всего имѣть приборы, которые могли бы указать одно лишь присутствіе электрическаго тока, безъ точнаго измѣренія его, и особенно такіе приборы, которые въ состояніи были бы указать на присутствіе весьма слабыхъ токовъ. Такіе приборы называются, какъ мы уже упоминали, гальваноскопами. Они основаны на томъ, что электрическій токъ, проходящій по виткамъ вокругъ магнитной стрѣлки параллельно ей, отклоняетъ ее изъ ея нормальнаго

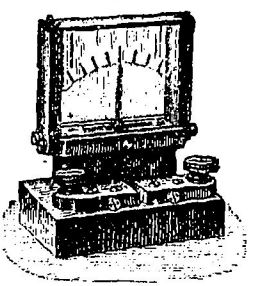
положенія сѣверъ-югъ. Чѣмъ больше число витковъ, по которымъ токъ обѣгаетъ вокругъ магнитной стрѣлки, и чѣмъ ближе они къ стрѣлкѣ, тѣмъ сильнѣе это дѣйствіе тока на стрѣлку и потому тѣмъ болѣе слабые токи такимъ образомъ могутъ быть обнаружены.

Весьма удобный гальваноскопъ, въ которомъ магнитъ вращается вокругъ горизонтальной оси, такъ называемый вертикальный гальваноскопъ, изображенъ на черт. 56. На этомъ чертежѣ отдѣльно показанъ магнитный стержень M; онъ снабженъ ножомъ α, которымъ онъ опирается на подставки внутри гальваноскопа и вокругъ котораго колеблется въ вертикальной плоскости. Къ магниту прикрѣплена алюминіевая стрѣлка A. Самъ гальваноскопъ состоитъ изъ рамы B, обмотанной большимъ числомъ витковъ проволоки. Концы проволоки подведены къ зажимамъ b и e. Магнитъ кладется на подставку внутри обмотки такимъ образомъ, что онъ можетъ вращаться вокругъ горизонтальной оси; когда по обмоткѣ проходитъ токъ, магнитъ поворачивается и уголъ поворота указывается стрѣлкой A на шкалѣ C.

Черт. 56.



Черт. 57.



Такіе гальваноскопы, съ большимъ числомъ витковъ проволоки, называютъ также мультипликаторами. Чтобы уменьшить дѣйствіе потоковъ воздуха, гальваноскопы обыкновенно покрываютъ стекляннымъ колпакомъ.

Черт. 57 изображаетъ подобный вертикальный гальваноскопъ, принятой германскимъ телеграфнымъ вѣдомствомъ. Его устройство понятно изъ предыдущаго безъ дальнѣйшихъ объясненій.

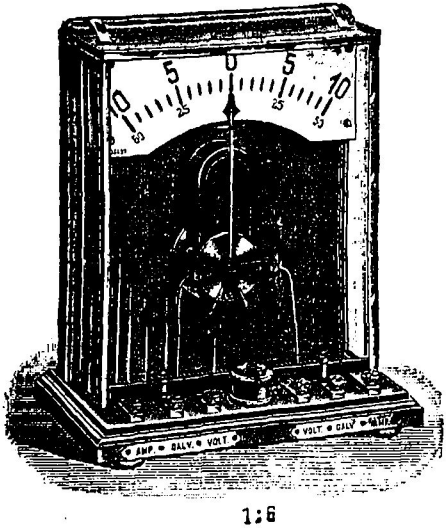
Тѣ гальваноскопы, которые могутъ служить не только для простого обнаруживанія тока, но также и для настоящихъ измѣреній

силы тока, называютъ гальванометрами. Гальванометръ можетъ быть конструированъ на основаніи того же принципа, что и вышеописанный гальваноскопъ, или же на принципѣ пружиннаго гальванометра (стр. 67). Въ настоящее время однако гальванометры большею частью конструируютъ такъ, чтобы использовать вращеніе, которое испытываетъ подъ дѣйствіемъ сильнаго магнита подвижной витокъ проволоки при прохожденіи черезъ него изслѣдуемаго тока.

Съ устройствомъ послѣдняго типа позволяетъ ознакомиться приспособленный для демонстрацій гальванометръ, изготовленный фирмой Гартманъ и Браунъ и изображенный на черт. 58. Главныя части этого прибора, увеличенныя и выдвинутыя, изображены на черт. 59. Мы видимъ вертикально стоящій подковообразный магнитъ M, къ которому придѣланы желѣзныя части съ выемками, такъ называемые полюсные башмаки P. Въ выемкѣ помѣщается подвижная цѣпь тока. Прежде всего тамъ находится неподвижный желѣзный цилиндръ E, а въ промежуткѣ между нимъ и полюсными башмаками вращается плоская прямоугольная катушка S, укрѣпленная на пружинахъ, видимыхъ спереди, черезъ которую проводится измѣряемый токъ посредствомъ проводовъ L,L.

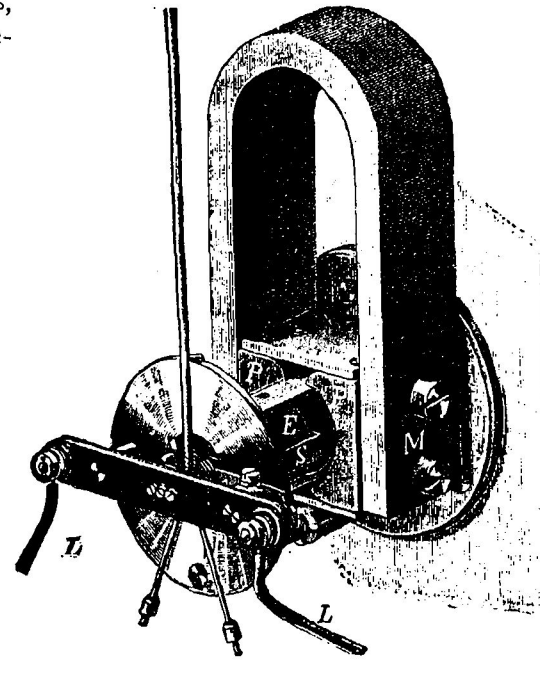
Къ подвижной катушкѣ прикрѣпленъ неподвижно указатель, который можетъ вращаться передъ шкалой, какъ это видно на черт. 58.

Черт. 58.



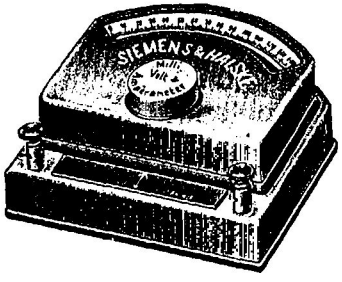
1:6

Черт. 59.

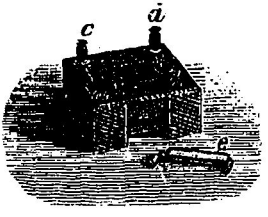


На этомъ принципѣ, который здѣсь лишь вкратцѣ указанъ, но будетъ разсмотрѣнъ подробнѣе дальше (глава VII), конструируютъ въ настоящее время большинство приборовъ, позволяющихъ измѣрять силу тока прямо въ амперахъ. Ихъ называютъ амперметрами или миллиамперметрами, смотря по тому, идетъ ли дѣло о большихъ или малыхъ силахъ тока. Внѣшній видъ такого «точнаго миллиамперметра» представленъ на черт. 60. Приборъ закрытъ металлической коробкой: въ ней имѣется прорѣзъ, благодаря которому видны шкала съ дѣленіями (отъ 0 до 150) и конецъ указателя, стоящій на нулѣ. Приборъ устроенъ такимъ образомъ, что каждое дѣленіе шкалы соотвѣтствуетъ одному миллиамперу. Къ двумъ зажимамъ, расположеннымъ спереди футляра, присоединяются провода, по которымъ идетъ измѣряемый токъ, и приборъ тотчасъ позволяетъ опредѣлить силу этого тока въ миллиамперахъ.

Черт. 60.



Черт. 61.



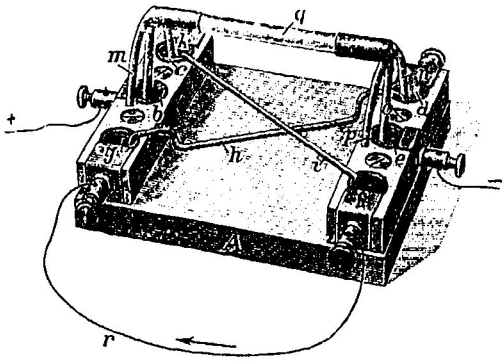
Познакомимся теперь дальше съ нѣкоторыми приборами, которые часто примѣняются въ электрическихъ опытахъ.

Въ электрическихъ изслѣдованіяхъ часто бываетъ необходимо быстро прервать токъ цѣпи однимъ движеніемъ. Простѣйшее приспособленіе для этой цѣли (черт. 61) состоитъ изъ небольшой дощечки изъ дерева или парафина, въ которой сдѣланы два углубленія a и b, наполненныя ртутью. Въ ртутныя чашечки опущены проволоки, которыя соединены съ зажимами c и d. Мѣдная дужка e, окруженная кускомъ каучуковой трубки, можетъ быть опущена своими концами въ эти ртутныя чашечки или вынута изъ нихъ. Если проводникъ повести отъ одного полюса элемента въ c, а отъ d дальше къ другому полюсу, то, вставивъ дужку, мы замкнемъ токъ, и вынувъ ее, разомкнемъ его.

Кромѣ того часто желательно бываетъ быстро перемѣнить направленіе тока въ какомъ-либо приборѣ. Если мы соединимъ, напримѣръ, гальваноскопъ съ элементомъ, то токъ (мы говоримъ всегда о положительномъ токѣ) идетъ по виткамъ гальваноскопа въ нѣкоторомъ опредѣленномъ направленіи, смотря по тому, соединенъ ли поло-

жительный полюсъ съ однимъ или другимъ концомъ обмотки. Если мы желаемъ пропустить токъ въ обратномъ направленіи черезъ витки проволоки, то нужно перемѣнить соединеніе полюсовъ. Этого можно достичь перевинтивъ проволоки въ зажимахъ, что однако не всегда удобно и требуетъ времени. Поэтому построили такіе приборы, которые однимъ движеніемъ даютъ возможность произвести такое обращеніе тока. Эти приборы называютъ коммутаторами. Простѣйшій и наиболѣе употребительный приборъ этого рода представляетъ коммутаторъ Поля (черт. 62). Онъ состоитъ изъ деревянной или парафиновой дощечки, на которой стоятъ шесть чашечекъ, наполнен

Черт. 62.



ныхъ ртутью. Въ эти чашечки опускаются концы подвижной дуги состоящей изъ стеклянной палочки q, къ концамъ которой придѣланы металлическія части съ тремя ножками. Среднія ножки опущены въ среднія ртутныя чашечки, изъ крайнихъ же ножекъ то одна пара, то другая можетъ быть опущена въ соотвѣтствующія ей чашечки. Каждыя двѣ противоположныя угловыя чашечки dg и cf соединены одна съ другой проволоками h и i.

При пользованіи приборомъ проволоки отъ элемента ведутъ къ среднимъ зажимамъ, соединеннымъ съ чашечками b и e, а концы проволоки r, въ которой мы должны быстро измѣнить направленіе тока, вводятъ въ зажимы, соединенные съ ртутными чашечками f и g. Тогда, смотря по положенію дуги, чашечки b и c соединяются съ чашечками g и f или прямо или черезъ крестъ.

При томъ положеніи дуги, которое показано на рисункѣ, путь тока будетъ слѣдующій:

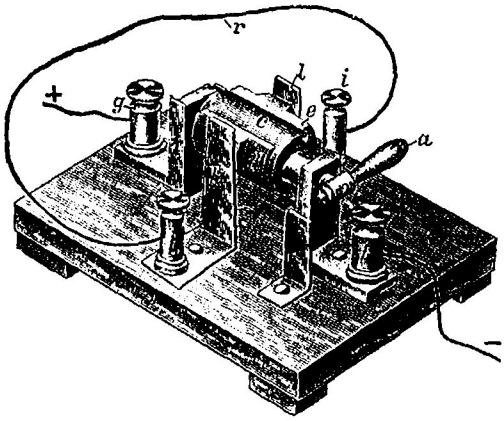
Отъ положительнаго полюса элемента въ b, черезъ c, i, f, черезъ проволоку r по направленію стрѣлки въ g, черезъ h, d, e и оттуда обратно къ отрицательному полюсу элемента.

Если теперь перекинуть дужку, то путь тока будетъ слѣдующій: отъ положительнаго полюса элемента въ b черезъ g къ проволокѣ r, а по ней обратно направленію стрѣлки въ f и e и оттуда къ отрицательному полюсу элемента.

Такимъ образомъ однимъ перекладываніемъ дуги мы достигли того, что токъ въ проволокѣ r шелъ разъ въ одномъ направленіи, а другой разъ—въ противоположномъ.

Другой часто примѣняемый коммутаторъ, коммутаторъ Фуко, изображенъ на черт. 63. Двѣ металлическія насадки d и e, закрѣпленныя на эбонитовомъ цилиндрѣ c, прижимаются къ металлическимъ пластинамъ l и k, причемъ либо e касается l, а d пластины k, либо (если цилиндръ повернуть на полъ-оборота) e касается k, а d пластины l. Ось цилиндра въ серединѣ разрѣзана, причемъ одна часть ея металлически соединена съ d, другая съ e.

Черт. 63.



Дѣйствіе этого коммутатора легко понять изъ чертежа. Если цилиндръ поставленъ такъ, какъ показано, то положительный токъ идетъ изъ g черезъ металлическій подшипникъ къ насадкѣ e, затѣмъ черезъ l въ i и оттуда по проволокѣ r отъ i къ h, затѣмъ черезъ k въ d и черезъ ось въ f.

Если же цилиндръ повернуть, то токъ идетъ отъ g черезъ e, въ k и h, затѣмъ по проволокѣ r отъ h въ i, затѣмъ по пути l, d, a, f обратно въ элементъ.

Такимъ образомъ, въ проволокѣ r токъ во второмъ случаѣ имѣетъ направленіе обратное тому, какое было въ первомъ случаѣ.

Если цилиндръ поставленъ такъ, что e и d находятся какъ разъ сверху и снизу и слѣдовательно не касаются k и l, то токъ прерванъ, такъ какъ самый цилиндръ сдѣланъ изъ непроводника.

Вооруженные этими вспомогательными опытными средствами, приступимъ раньше всего къ болѣе близкому изслѣдованію электрическаго сопротивленія тѣлъ.

Сопротивленіе проволоки, какъ мы видѣли выше на стр. 71, зависитъ отъ ея длины, ея сѣченія, и вещества, изъ котораго она сдѣ-

лана. Каждое вещество имѣетъ свое опредѣленное число, которое показываетъ, во сколько разъ сопротивленіе проволоки опредѣленной длины и опредѣленнаго сѣченія, сдѣланной изъ даннаго вещества, больше или меньше, чѣмъ, напримѣръ, сопротивленіе ртутнаго столба или мѣдной проволоки той же длины и того же сѣченія. Для того, чтобы охарактеризовать такимъ образомъ посредствомъ опредѣленныхъ постоянныхъ чиселъ различныя вещества и привести притомъ эти числа въ связь съ омомъ, единицей сопротивленія, — согласились называть сопротивленіе, выраженное въ омахъ, которымъ обладаетъ проволока изъ какого-нибудь вещества длиною въ 1 м. съ сѣченіемъ въ 1 кв. мм. при средней температурѣ (18°), удѣльнымъ сопротивленіемъ этого вещества. Величину обратную этому удѣльному сопротивленію называютъ удѣльной проводимостью.

Если, напримѣръ, удѣльное сопротивленіе свинца 0,20, то удѣльная проводимость его будетъ $\frac{1}{0,20} = 5$.

Такъ какъ омъ равенъ (стр. 72) сопротивленію столба ртути при 0° Ц. съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 кв. мм. и длиною въ 1,063 мт. то удѣльное сопротивленіе ртути при 0° равно $\frac{1}{1,063} = 0,9407$. При 18° удѣльное сопротивленіе ртути нѣсколько больше, именно = 0,958. Отсюда удѣльная проводимость ртути при 18° = 1,044.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ приведены удѣльныя сопротивленія и проводимости различныхъ твердыхъ проводниковъ, отнесенныя къ температурѣ 18° Ц.

Названія проводниковъ.	Удѣльное сопротивленіе. (Сопротивленіе въ омахъ проволоки длиною въ 1 мт. и съ сѣченіемъ въ 1 кв. мм.).	Удѣльная проводимость.
Алюминій	0,032	31,3
Свинецъ	0.21	4,8
Желѣзо	0,09—0,15	6,7—11
Сталь	0,15—0,5	2—6,7
Золото	0,023	43,5
Мѣдь чистая	0,0162	61,7
» продажная	0,017	58,8
Никкель	0.08—0,11	9—12,5
Платина чистая	0.108	9,2
» продажная	0,14	7,1
Ртуть	0,958	1,044
Серебро	0,016	62,5
Танталъ	0,06	6,2
Висмутъ	1,2	0,83
Цинкъ	0,061	16,4
Олово	0,11—0,14	7,1—9,1

Изъ приведенныхъ цифръ вытекаетъ, что серебро лучше всего проводитъ токъ, затѣмъ мѣдь, которая почти также хорошо проводитъ токъ, какъ и серебро, когда она очень чистая. Въ виду того, что мѣдь обладаетъ весьма высокой проводимостью, для проводниковъ электрическаго тока берутъ большею частью мѣдныя проволоки. Для длинныхъ проводовъ, напримѣръ телеграфныхъ, употребленіе мѣди было бы слишкомъ дорого, и поэтому пользуются желѣзной или бронзовой проволокой, цѣна которой значительно меньше, но и проводимость которой представляетъ зато лишь приблизительно шестую часть проводимости мѣди.

Въ виду частаго примѣненія на практикѣ приведемъ еще сопротивленія нѣкоторыхъ сортовъ угля и металлическихъ сплавовъ въ слѣдующей таблицѣ.

Названіе проводниковъ.	Удѣльное сопротивленіе.	Удѣльная проводимость.
Графитъ	13	0,07
Ретортный уголь	около 50	0,02
Константанъ	0,48	2,1
Круппинъ (сплавъ никкеля и желѣза)	0,80	1,25
Нейзильберъ	0,16—0,40	6,3—2,5
Никкелинъ	0,42	2,4
Реотанъ	0,47	2,1
Патентованный сплавъ никкеля	0,33	3,0
Сплавъ платины съ серебромъ	0,20	5,0
Марганцовистая мѣдь 12%	0,43	2,3
» » 30%	1,07	0,93
Сплавъ мѣди, марганца и никкеля. (Манганинъ)	0,42	2,4

Графитъ и газовый (ретортный) уголь проводятъ токъ приблизительно въ тысячу и даже въ четыре тысячи разъ хуже, чѣмъ мѣдь, и все-таки они являются еще совсѣмъ хорошими проводниками электричества.

По числамъ, даннымъ для удѣльнаго сопротивленія, можно сейчасъ же высчитать сопротивленіе въ омахъ для любой проволоки любой длины и любого сѣченія.

Напримѣръ, мѣдная проволока въ 465 см. длиной и $^1/_2$ кв. мм.

сѣченіемъ будетъ имѣть сопротивленіе равное $\frac{4,65}{1/2} \cdot 0,17 = 0,158$ ома. манганиновая же проволока такой же длины и того же сѣченія будетъ имѣть сопротивленіе, равное $\frac{4,65}{1/2} \cdot 0,42 = 3,9$ ома.

Въ настоящее время для характеристики различныхъ веществъ кромѣ вышеприведенныхъ чиселъ, выражающихъ сопротивленіе проволоки въ 1 мт. длиною и 1 кв. мм. поперечнаго сѣченія, для научныхъ цѣлей часто употребляютъ числа, показывающія сопротивленіе, которымъ обладаетъ кубъ изъ даннаго вещества съ длиною сторонъ въ 1 см. Такой кубъ называютъ кубическимъ сантиметромъ. Сопротивленіе кубическаго см. какого-нибудь вещества называютъ коэффиціентомъ сопротивленія даннаго вещества. Такъ какъ такой кубъ имѣетъ въ длину 1 см., то его сопротивленіе составляетъ сотую часть сопротивленія проволоки въ 1 м. длиною; а такъ какъ его сѣченіе 1 кв. см., сопротивленіе его еще въ сто разъ меньше, то-есть составитъ десятитысячную часть сопротивленія проволоки вышеупомянутыхъ размѣровъ. Мы получимъ, слѣдовательно, коэффиціенты сопротивленія, если вышеприведенныя удѣльныя сопротивленія раздѣлимъ на 10000. Такъ, напримѣръ, коэффиціентъ сопротивленія алюминія $\frac{0,032}{10000} = 0,0000032$. Если для милліонной части ома ввести обозначеніе 1 микромъ, то сопротивленіе кубич. см. алюминія будетъ 3,2 микрома.

Въ вышеприведенныхъ таблицахъ даны лишь проводники перваго рода, — металлы и уголь. Тѣ жидкости, которыя вообще проводятъ электрическій токъ, являются проводниками второго рода (кромѣ ртути), и сопротивленіе, которое они представляютъ прохожденію тока, всегда значительно больше, чѣмъ сопротивленіе металловъ. Большинство изслѣдованныхъ въ этомъ отношеніи жидкостей суть водные растворы солей и кислотъ. Удѣльная проводимость ихъ зависитъ отъ ихъ концентраціи; она, напримѣръ, иная у раствора мѣднаго купороса, содержащаго 5% мѣднаго купороса, чѣмъ у раствора, содержащаго 20%. Кромѣ того, проводимость жидкостей, какъ и металловъ, зависитъ отъ температуры. Нижеприведенныя числа относятся къ температурѣ 18° Цельсія и даютъ сопротивленіе 1 куб. см. въ омахъ и обратную ему величину, которую обыкновенно называютъ просто проводимостью жидкости.

Вполнѣ чистая вода почти не проводитъ электрическій токъ и является, слѣдовательно, почти совершеннымъ изоляторомъ. Но достаточно уже малѣйшихъ примѣсей другихъ веществъ, чтобы сдѣлать воду довольно хорошимъ проводникомъ.

Наименованіе жидкости.	Сопротивленіе 1 куб. см. въ омахъ.	Проводимость.
30% сѣрная кислота	1,35	0,740
17,4% растворъ глауберовой соли . .	20,3	0,0492
23.5% растворъ цинковаго купороса .	20,9	0,0481
Насыщенный растворъ поваренной соли.	4,67	0,214
16,6% растворъ уксусной кислоты . .	625,0	0,00160

Хотя жидкости и проводятъ токъ значительно хуже металловъ, однако онѣ являются еще очень хорошими проводниками сравнительно съ изоляторами въ собственномъ смыслѣ этого слова, о которыхъ намъ уже извѣстно, что и они обладаютъ проводимостью, правда въ ничтожной степени. Нельзя привести точныхъ цифръ удѣльной проводимости изоляторовъ, такъ какъ прохожденіе тока черезъ нихъ происходитъ не такъ просто, какъ его характеризуетъ законъ Ома. Въ виду этого въ нижеслѣдующей таблицѣ для нѣкоторыхъ изоляторовъ приведены лишь приблизительныя числовыя данныя; здѣсь даны сопротивленія 1 куб. сантиметра вещества, выраженныя въ милліонахъ омовъ (милліонъ омовъ называютъ мегомомъ).

Названіе изолятора.	Сопротивленіе одного куб. см. въ мегомахъ.
Целлулоидъ	75000
Стекло (сухое)	8000000
Слюда	2300000
Эбонитъ	4200000000
Парафинъ	3000000000
Стабилитъ	24000000
Вулканизированная фибра	53
Оливковое масло	1000000
Бензолъ	1300

Проводимость всѣхъ проводниковъ—какъ металловъ, такъ и жидкостей — при различныхъ температурахъ слегка различна. Въ этомъ отношеніи, однако, между металлами и жидкостями замѣчается суще-

ственная разница. У металловъ проводимость при повышеніи температуры становится меньше, у жидкостей же — больше. Такимъ образомъ металлы при болѣе высокихъ температурахъ представляютъ прохожденію электрическаго тока большее сопротивленіе, жидкости же—меньшее. Ртуть въ этомъ отношеніи сходна съ металлами (такъ какъ она тоже металлъ), а уголь сходенъ съ жидкостями. Сопротивленіе угля уменьшается при повышеніи температуры. Увеличеніе сопротивленія съ повышеніемъ температуры у всѣхъ чистыхъ металловъ почти одинаково, а именно, на каждый градусъ Ц. сопротивленіе растетъ приблизительно на $^1/_{3}\%$. Сопротивленіе желѣза возрастаетъ значительно больше, ртути же приблизительно на $^1/_{10}\%$. Металлическіе сплавы относятся иначе къ повышенію температуры. Никкелевые сплавы и никкелинъ измѣняютъ значительно меньше свое сопротивленіе съ повышеніемъ температуры, а вышеназванные сплавы: марганцовистая мѣдь, манганинъ и константанъ почти вовсе не измѣняютъ сопротивленія. При не слишкомъ большихъ перемѣнахъ температуры эти сплавы имѣютъ, такимъ образомъ, всегда одно и то же сопротивленіе. По этой причинѣ ихъ примѣняютъ, какъ мы увидимъ ниже, для устройства нормальныхъ сопротивленій.

Проводимость проводниковъ второго рода съ повышеніемъ температуры значительно повышается. Напримѣръ, вышеупомянутый растворъ сѣрной кислоты при 0^0 имѣетъ проводимость 0,5184, а при 30^0 уже 0,8860. Точно также и проводимость солей въ твердомъ видѣ значительно растетъ съ повышеніемъ температуры. При низкихъ температурахъ соли въ твердомъ видѣ почти совсѣмъ не проводятъ тока, но при температурахъ близкихъ къ точкамъ ихъ плавленія онѣ становятся хорошими проводниками.

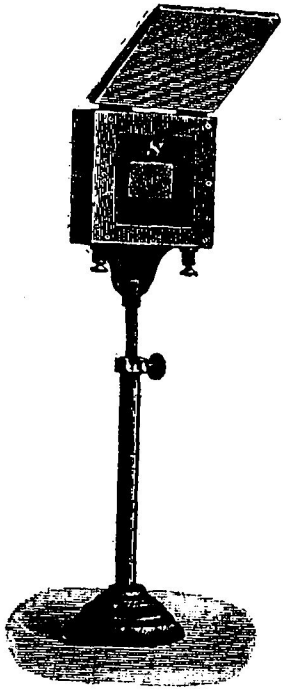
Въ отношеніи электропроводимости селенъ обладаетъ совершенно особымъ свойствомъ. Именно проводимость селена, подверженнаго дѣйствію лучей свѣта, значительно больше сравнительно съ проводимостью селена въ темнотѣ. Селенъ есть кристаллическое тѣло и, повидимому, въ немъ подъ вліяніемъ свѣта происходитъ такое видоизмѣненіе кристаллическаго строенія, что проводимость его возрастаетъ. Для того, чтобы пользоваться подобными свойствами селена, и для изученія ихъ устраиваютъ такъ называемые селеновые элементы, которые изображены въ двухъ наиболѣе употребительныхъ формахъ на черт. 64 и 65.

На черт. 64 изображенъ плоскій, а на черт. 65 цилиндрическій селеновый элементъ. Въ обоихъ случаяхъ селенъ помѣщается въ промежуткахъ между латунными проволоками, которыя или кладутся плоско (черт. 64), или наматываются во много оборотовъ на ци-

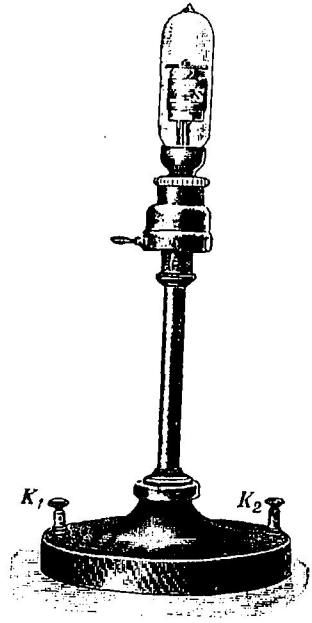
линдрѣ (черт. 65). Свѣточувствительный селенъ получается посредствомъ плавленія при вполнѣ опредѣленной температурѣ.

Цилиндрическій элементъ заключается въ стеклянную грушу, изъ которой выкаченъ воздухъ. Для удобства пользованія груша ввинчивается въ штативъ, какъ показываетъ чертежъ. Оба зажима K_1 и K_2 находятся въ металлическомъ соединеніи съ обоими концами элемента. Въ темнотѣ такой элементъ обладаетъ сопротивленіемъ, напримѣръ, около 10000 омовъ, при освѣщеніи же солнечными лучами только около 1000 омовъ. Можно устроить элементы, сопротивленіе

Черт. 64.



Черт. 65.



которыхъ уменьшается при освѣщеніи въ еще большемъ отношеніи, до $^1/_{100}$ сопротивленія въ темнотѣ.

Если два проводника соединены другъ съ другомъ, и электрическій токъ долженъ проходить по нимъ, то необходимо, чтобы соединеніе двухъ проводниковъ было сдѣлано весьма тщательно, потому что въ противномъ случаѣ мѣсто соприкосновенія двухъ проводниковъ представитъ прохожденію тока значительное сопротивленіе. Поэтому концы двухъ проволокъ обыкновенно сжимаютъ другъ съ другомъ посредствомъ винтовъ для того, чтобы соприкосновеніе ихъ было вполнѣ совершенное, или, что лучше всего, спаиваютъ ихъ другъ съ другомъ.

У угля особенно замѣтно, насколько плохое соприкосновеніе двухъ углей увеличиваетъ сопротивленіе. Уже самое незначительное давленіе на мѣсто соприкосновенія двухъ углей чрезвычайно сильно уменьшаетъ сопротивленіе при переходѣ электричества изъ одного угля къ другому. Это явленіе нашло весьма важное примѣненіе въ микрофонѣ, который описанъ ниже во II части.

Для того, чтобы можно было выражать сопротивленіе проволоки въ омахъ, необходимо приготовить прежде всего опредѣленное измѣренное сопротивленіе, которое представляло бы какъ разъ одинъ омъ (сокращенно пишутъ 1Ω), точно такъ же, какъ необходимо имѣть масштабъ въ одинъ метръ для того, чтобы измѣрять длины въ метрахъ. Омъ, принятый теперь повсемѣстно, опредѣляется какъ сопротивленіе ртутнаго столба въ 106,3 см. длиною и 1 кв. мм. сѣченіемъ при температурѣ 0°. Его называютъ международнымъ омомъ (Ω).

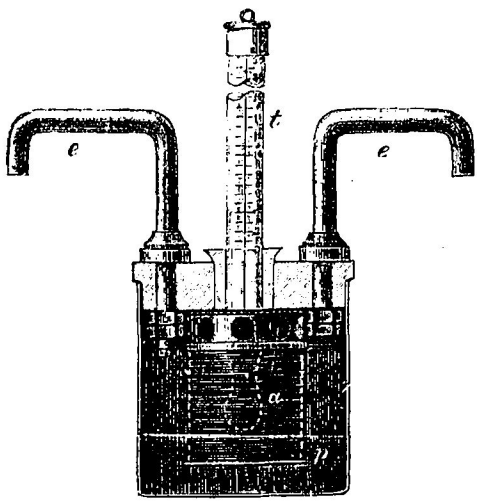
Нормальныя единицы, имѣющія сопротивленіе точно 1 омъ, изготовляются по моделямъ правительственнаго Физическаго Института въ Берлинѣ *). Такой нормальный омъ изображенъ на черт. 66. Эти единицы дѣлаютъ теперь ради удобства не изъ ртутныхъ столбиковъ, но изъ проволокъ, длина и сѣченіе которыхъ такъ подобраны, что вся проволока имѣетъ точно то же сопротивленіе, что ртутный столбъ въ 106,3 см. длиною и 1 кв. мм. сѣченіемъ. Эти проволоки приготовляютъ теперь изъ манганина, потому что онѣ тогда при всѣхъ температурахъ между 0 и 100° имѣютъ почти одно и то же сопротивленіе Нормальный омъ состоитъ изъ цилиндрической коробки, наполняемой керосиномъ p и снабженной эбонитовой крышкой. Внутри коробки въ керосинъ опущенъ полый цилиндръ a, на который намотана точно отмѣренная проволока. Благодаря отверстіямъ, продѣланнымъ въ цилиндрѣ, керосинъ можетъ циркулировать и внутри его. Точный термометръ t, опущенный въ цилиндръ, показываетъ температуру керосина. Концы проволоки прикрѣплены при помощи винтовъ и припайки къ двумъ загнутымъ мѣднымъ стержнямъ ее діаметромъ въ 7 мм., которые выходятъ изъ крышки; ихъ свободные концы опускаютъ въ ртутныя чашечки, черезъ которыя вводится токъ. На черт. 67 показанъ внѣшній видъ подобнаго нормальнаго ома (безъ термометра).

Въ электрическихъ изслѣдованіяхъ часто бываетъ необходимо имѣть цѣлый рядъ различныхъ сопротивленій для того, чтобы, вводя ихъ въ цѣпь тока, довести токъ до желаемой силы, или чтобы срав-

*) Научное учрежденіе, основанное Германскимъ Правительствомъ въ Шарлоттенбургѣ близъ Берлина для провѣрки и установленія нормальныхъ мѣръ.

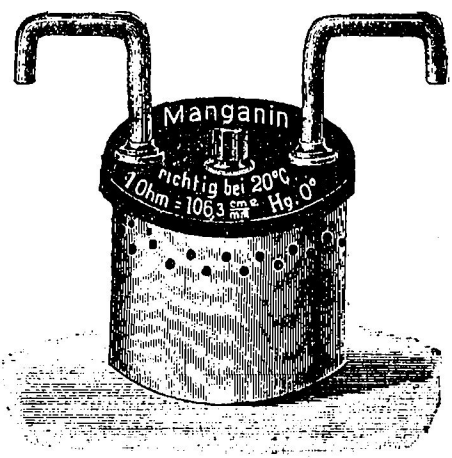
нить неизвѣстныя сопротивленія съ извѣстными. Для этого, конечно, достаточно имѣть рядъ проволокъ, сопротивленія которыхъ точно извѣстны.

Черт. 66.



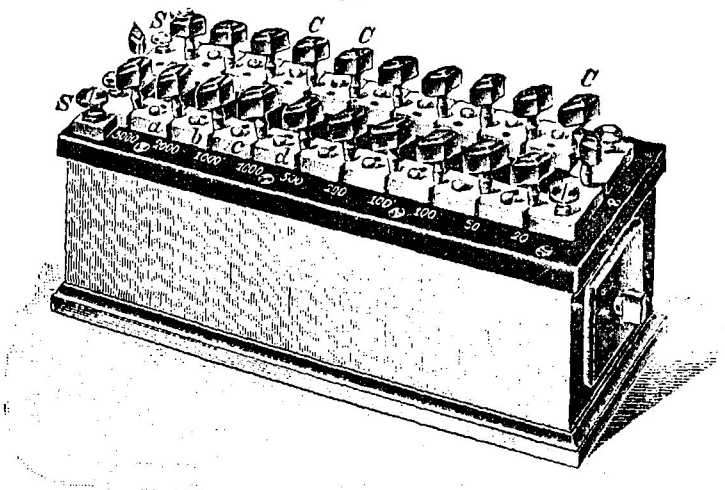
Съ этой цѣлью Сименсъ первый расположилъ рядъ измѣренныхъ сопротивленій въ одномъ ящикѣ такъ, чтобы ими можно было пользоваться по желанію или каждымъ въ отдѣльности, или всѣми вмѣстѣ. Такой приборъ называютъ ящикомъ или магазиномъ сопротивленій. На черт. 68 изображенъ внѣшній видъ такого прибора. На крышкѣ ящика находится рядъ толстыхъ латунныхъ пластинъ *a*, *b*, *c*, *d* .., края которыхъ немного удалены другъ отъ друга и имѣютъ полукруглые вырѣзы, такъ что между ними можно плотно вставить металлическіе штепселя C, C. Какъ это видно въ разрѣзѣ ящика, данномъ на черт. 69, каждая латунная пластинка соединена съ сосѣдней при помощи проволочной катушки, лежащей внутри ящика; всѣ эти проволочныя катушки имѣютъ опредѣленныя, точно отмѣренныя сопротивленія. Здѣсь C, C, — штепселя, а B, B — катушки съ проволокой. Между слѣдующими другъ за другомъ латунными пластинами *aa*... расположены обыкновенно послѣдовательно сопротивленія въ 0,1, 0,2, 0,2, 0,5, 1, 2, 2, 5, 10, 20, 20, 50 и т. д. омовъ. Токъ приводится и отводится черезъ зажимы S. Если между всѣми латунными пластинками вставлены штепселя, то токъ проходитъ только по латуннымъ пластинкамъ, такъ какъ сопротивленіе всѣхъ проволокъ въ ящикѣ въ громадное число разъ больше, чѣмъ сопро-

Черт. 67.



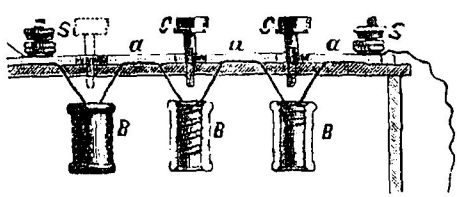
тивленіе толстыхъ пластинокъ. Если же одинъ изъ штепселей вынуть, напримѣръ, обозначенный пунктиромъ, то токъ проходитъ чрезъ катушку B, находящуюся между двумя соотвѣтственными пластинками, и уже послѣ подходитъ къ другому зажиму S. Такимъ образомъ, вы-

Черт. 68.



нувъ штепсель, мы ввели нѣкоторое опредѣленное сопротивленіе. Отсюда ясно, что, вынувъ одинъ, нѣсколько, или всѣ штепселя, мы можемъ по желанію ввести сопротивленія отъ 0,1 ома до суммы всѣхъ сопротивленій, находящихся въ приборѣ.

Черт. 69.

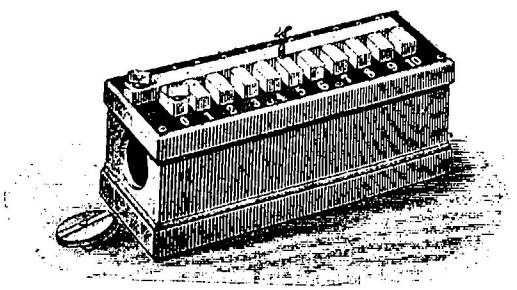


Эти магазины сопротивленій изготовляютъ до сопротивленія въ 10000 омовъ.

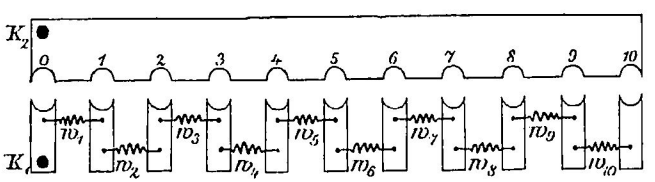
Для многихъ цѣлей эти ящики устраиваютъ такъ, что въ каждомъ изъ нихъ располагаютъ 10 одинаковыхъ сопротивленій (напр., по 1 ому, или по 10 омовъ и т. д. до 100000 омовъ). Такіе магазины называютъ декадными. На крышкахъ ихъ тоже находятся мѣдные брусочки (какъ видно на черт. 70); къ каждымъ двумъ сосѣднимъ брусочкамъ припаяны концы соотвѣтственнаго сопротивленія. Однимъ штепселемъ можно тогда ввести сопротивленія отъ сопротивленія, равнаго одному ому, до сопротивленія въ 10 разъ большаго. Схема черт. 71 указываетъ соединенія декаднаго магазина. Въ K_1 и K_2 зажимаются проволоки отъ элемента, w_1, w_2... представляютъ равныя сопротивленія. Если вставить напр. штепсель въ отверстіе 5 и если каждое сопротивленіе

равно 10000 омамъ, то полное введенное въ цѣпь сопротивленіе равно будетъ 50000 омамъ. Теперь часто располагаютъ такіе декадные реостаты по кругу или полукругомъ, и соединяютъ нѣсколько въ одномъ ящикѣ. При такомъ расположеніи можно для введенія сопротивленій замѣнить штепселя, производящіе контактъ, металлической передвижной ручкой, которую передвигаютъ. Черт. 72 даетъ внѣшній видъ такого декаднаго магазина съ включеніемъ посредствомъ рычага. Этотъ магазинъ изготовляется фирмой Гартмана и Брауна во Франкфуртѣ-на-Майнѣ. Онъ состоитъ изъ 3 со-

Черт. 70.

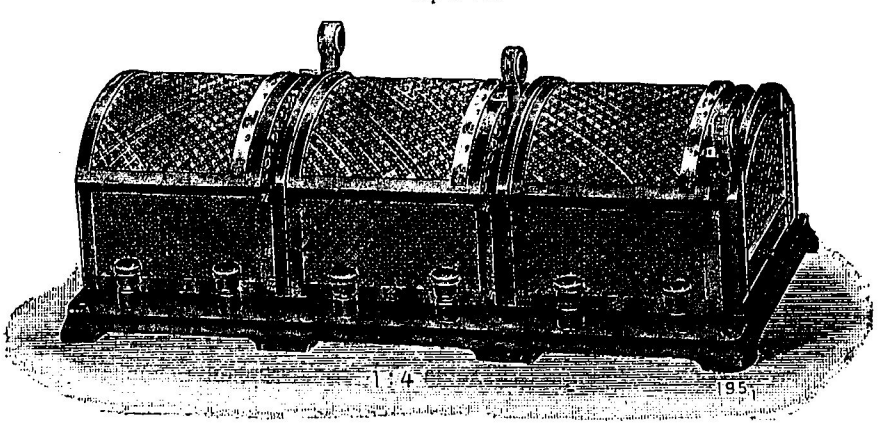


Черт. 71.



единенныхъ послѣдовательно магазиновъ: въ каждомъ изъ нихъ расположено по полукругу 10 равныхъ сопротивленій, а именно въ пер-

Черт. 72.

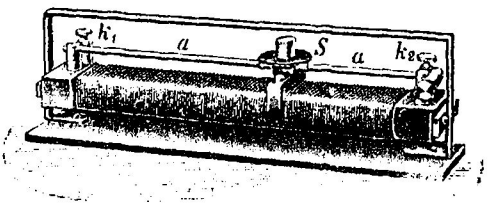


вомъ по 1 ому, во второмъ по 10 омовъ, а затѣмъ по 100. Въ каждомъ изъ нихъ можно посредствомъ рычага ввести вполнѣ опредѣленное со-

противленіе; такимъ образомъ представляется возможность, измѣняя постепенно сопротивленіе черезъ 1 омъ, итти отъ сопротивленія равному 1 ому до 1110 омовъ.

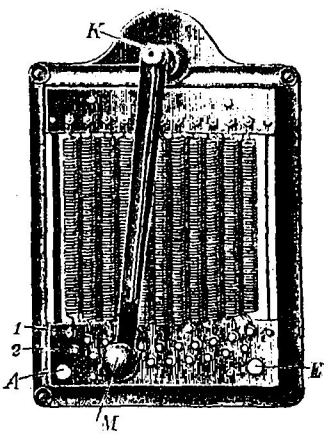
Съ помощью ящиковъ сопротивленія мы можемъ вводить въ цѣпь точно опредѣленныя и измѣренныя сопротивленія. Если же мы хотимъ быстро ввести въ цѣпь какія-либо сопротивленія, величины которыхъ намъ не нужно знать точно (что часто случается, именно тогда, когда хотятъ привести силу тока въ цѣпи къ опредѣленной величинѣ), то можно употреблять другіе приборы, которые называютъ балластными сопротивленіями. Теперь въ большомъ употребленіи реостаты съ передвижными контактами (изготовляются напр. фирмой Рустратъ въ Гёттингенѣ), изображенными на черт. 73. Въ этомъ приборѣ неизолированная константановая проволока намотана на шиферъ; по проволокѣ можетъ передвигаться плотно прилегающій передвижной контактъ S, скользящій по металлическому стержню *aa*. Проволока соединена съ зажимомъ K_1, передвижной контактъ черезъ стержень съ зажимомъ K_2. При передвиженіи контакта отъ K_1 къ K_2 въ цѣпь вводится все большее количество проволоки.

Черт. 73.



Для сильныхъ токовъ (токи въ нѣсколько амперовъ) пользуются теперь реостатами иной формы, изображенными на черт. 74. Рядъ спиралей изъ константановой проволоки закрѣпленъ въ рамѣ. Конецъ первой спирали выходитъ въ контактную кнопку 1, начало второй въ кнопку 2 и т. д. Всѣ кнопки соединены металлически. По этимъ кнопкамъ передвигается посредствомъ рычага M нажимной контактъ. Одинъ конецъ цѣпи соединяется съ зажимомъ A, изолированнымъ отъ основанія прибора, и черезъ него съ точкой вращенія K рычага, а слѣдовательно и съ нажимнымъ контактомъ рычага M; другой конецъ соединяется съ зажимомъ E. При каждомъ новомъ положеніи контакта въ цѣпь вводится другое сопротивленіе, какъ можно понять изъ соединенія на чертежѣ. Если рычагъ поставленъ на начальную кнопку 1, включены всѣ сопротивленія; при постепенномъ

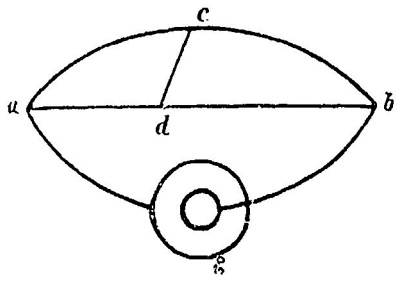
Черт. 74.



передвиганіи рычага къ E, въ цѣпи будутъ находиться все меньшія сопротивленія.

Съ помощью магазиновъ сопротивленій и реостатовъ легко опытнымъ путемъ измѣрить сопротивленіе любого проводника и выразить его въ омахъ. Для этого существуютъ различные методы. Между ними наиболѣе удобнымъ, а вслѣдствіе этого наиболѣе часто примѣняемымъ является методъ, называемый методомъ мостика Уитстона. Онъ основанъ на примѣненіи того рода развѣтвленій токовъ, который мы разсматривали выше.

Черт. 75.



Мы видѣли выше на стр. 81, что, если мы пошлемъ токъ изъ элемента чрезъ цѣпь изъ двухъ параллельныхъ вѣтвей, соединенныхъ въ свою очередь проволокой-мостикомъ, то при извѣстныхъ условіяхъ токъ въ мостикѣ равенъ нулю. Эти условія являются, какъ мы видѣли, тогда, когда (черт. 75)

$$\frac{\text{сопротивленіе } ac}{\text{сопротивленіе } cb} = \frac{\text{сопротивленіе } ad}{\text{сопротивленіе } db}.$$

Въ этомъ случаѣ сила тока въ мостикѣ всегда равна нулю, независимо отъ того, какое сопротивленіе представляетъ cd. Въ виду этого можно ввести въ мостикъ гальваноскопъ, и по нему замѣтить, когда токъ въ мостикѣ исчезнетъ.

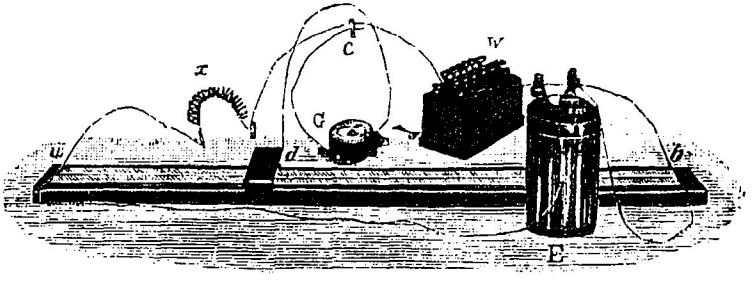
Если мы желаемъ опредѣлить сопротивленіе проволоки, то вводимъ ее напримѣръ на мѣсто вѣтви ac. Проволоки ad и bd замѣняютъ одной проволокой равномѣрной толщины, по которой можно передвигать подвижной контактъ d; этотъ контактъ представляетъ собой обыкновенно кусокъ стали, лежащій своимъ острымъ краемъ на проволокѣ. Проволока же лежитъ на шкалѣ, такъ что длины ad и bd можно отсчитывать по ней. Наконецъ за вѣтвь cb берутъ какое-либо извѣстное опредѣленное сопротивленіе, напримѣръ 1 омъ. Затѣмъ соединяютъ a и b съ элементомъ и передвигаютъ контактъ вдоль проволоки adb до тѣхъ поръ, пока гальваноскопъ въ цѣпи cd больше не будетъ отклоняться. Тогда чрезъ cd не проходитъ токъ, а въ этомъ послѣднемъ случаѣ

$$\frac{\text{сопротивленіе изслѣдуемой проволоки}}{\text{1 омъ}} = \frac{ad}{db},$$

т. е. сопротивленіе изслѣдуемой проволоки = 1 омъ × на отношеніе

длинъ ad и bd. Такимъ образомъ мы найдемъ сопротивленіе изслѣдуемой проволоки въ омахъ. Соединенія проводовъ при подобномъ опредѣленіи сопротивленія ясно видны на черт. 76. Здѣсь x изслѣдуемое сопротивленіе, w—магазинъ сопротивленій, въ которомъ вынули нѣкоторое опредѣленное сопротивленіе (въ нашемъ примѣрѣ 1 омъ). Между a и b натянута надъ шкалою константановая проволока; въ d — подвижной контактъ, E—элементъ, а G—гальваноскопъ.

Черт. 76.



Этотъ методъ, какъ мы уже упомянули выше, называютъ методомъ мостика Уитстона.

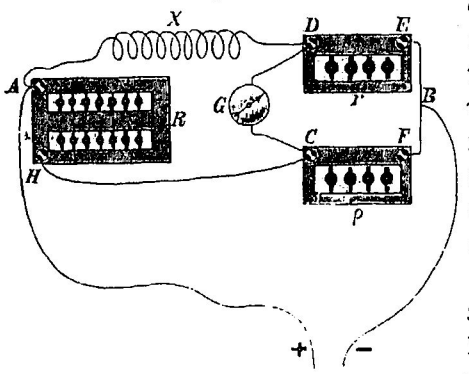
Проволоки, соединяющія x и w другъ съ другомъ и съ зажимами a и b, должны имѣть либо столь ничтожное сопротивленіе, чтобы имъ можно было пренебречь, либо сопротивленіе ихъ должно быть извѣстно. Сопротивленіе другихъ соединительныхъ проволокъ роли не играетъ.

Въ сущности въ этомъ методѣ безразлично, какъ велико извѣстное сопротивленіе w, съ которымъ сравнивается неизвѣстное x. Отношеніе отрѣзковъ проволоки ad и db всегда равно отношенію сопротивленій x и w, когда гальваноскопъ не даетъ отклоненія. Но на практикѣ этотъ методъ даетъ тѣмъ болѣе точные результаты, чѣмъ менѣе отличаются другъ отъ друга сопротивленія x и w. Поэтому, если имѣется магазинъ сопротивленій, то раньше предварительно опредѣляютъ приблизительную величину x, а затѣмъ уже производятъ точное измѣреніе, пользуясь въ качествѣ извѣстнаго w сопротивленіемъ, по возможности близкимъ къ приблизительно измѣренному неизвѣстному сопротивленію x.

Мостикъ Уитстона для измѣренія сопротивленій можетъ быть примѣненъ еще и иначе, какъ показываетъ схема черт. 77. Отъ элемента токъ идетъ къ A и B и здѣсь раздѣляется: часть его идетъ черезъ искомое сопротивленіе x и небольшой магазинъ сопротивленій r, другая часть черезъ большой реостатъ R и другой небольшой реостатъ ρ.

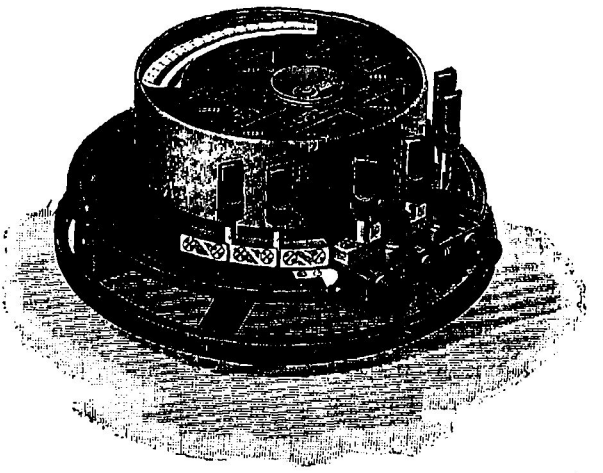
Между C и D находится мостикъ съ гальваноскопомъ. Вводимъ, напримѣръ, въ r и ρ по одному ому такъ, чтобы отношеніе $\frac{BD}{BC}$ равнялось единицѣ, и вынимаемъ изъ R штепселя до тѣхъ поръ, пока G не перестанетъ показывать присутствіе тока. Тогда введенное въ B сопротивленіе и будетъ равно искомому. Если отношеніе $\frac{BD}{BC}$ мы сдѣлаемъ равнымъ не единицѣ, а, напримѣръ, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$ или 10, 100, то и искомое сопротивленіе равно $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$ или въ 10 или въ 100 разъ больше сопротивленія, вынутаго изъ реостата. Такъ какъ измѣреніе сопротивленій въ научныхъ и практическихъ примѣненіяхъ электрическаго тока имѣетъ первостепенное значеніе, то старались и необходимые для этого приборы сдѣлать по возможности удобными для обращенія.

Черт. 77.



Непосредственно для пользованія принципомъ мостика Уитстона приспособленъ универсальный гальванометръ, внѣшній видъ котораго изображенъ на черт. 78, и который мы теперь разсмотримъ подробнѣе.

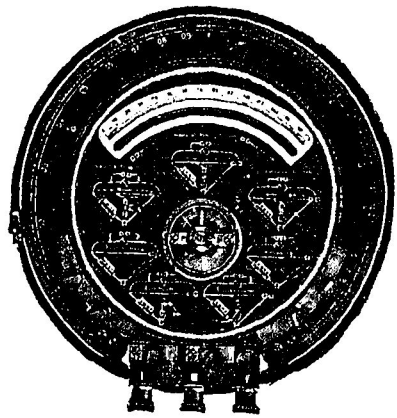
Черт. 78.



Прежде всего приборъ этотъ состоитъ изъ миллиамперметра, подобнаго изображенному на черт. 60. Онъ расположенъ на доскѣ изъ шифера и снабженъ крышкой, на которой начерчены различныя схемы

включенія прибора, крышка снабжена вырѣзомъ для шкалы миллиамперметра. Шиферная доска изображена и на черт. 79; на этомъ же чертежѣ представленъ и внѣшній видъ прибора, если смотрѣть на него сверху. Подъ доской находятся четыре катушки съ сопротивленіями въ 1, 9, 90 и 900 омовъ; эти сопротивленія могутъ быть съ помощью штепселей введены въ цѣпь или выведены изъ нея, такъ что, если штепселя послѣдовательно вынимать одинъ за другимъ, то вводятся сопротивленія въ 1, 10, 100, 1000 омовъ. Въ краѣ шиферной пластины прорѣзанъ жолобъ, по которому проложена нейзильберовая проволока равномѣрной толщины, которая служитъ измѣрительной проволокой въ мостикѣ Уитстона. На шиферной доскѣ нанесена шкала съ дѣленіями, причемъ послѣдняя градуирована такимъ образомъ, что всегда возможно непосредственно прочитать на ней отношеніе длинъ двухъ неравныхъ частей проволоки, измѣренныхъ слѣва направо. Цифра 1 по срединѣ шкалы указываетъ, что обѣ части проволоки имѣютъ одинаковую длину; налѣво отъ цифры 1 числа менѣе единицы, направо болѣе ея. Такимъ образомъ возможно непосредственно прочитывать отношеніе длинъ обоихъ отрѣзковъ измѣрительной проволоки.

Черт. 79.



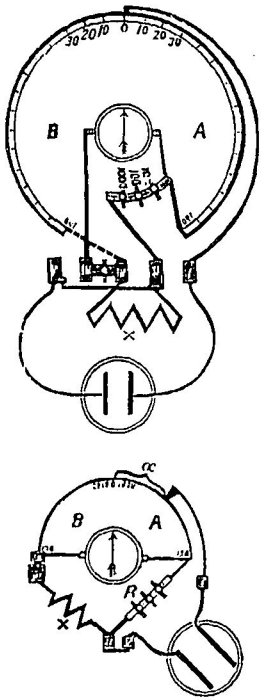
Изъ шиферной доски выходятъ пять зажимовъ I, II, III, IV, V, изъ которыхъ II и IV стоятъ перпендикулярно къ доскѣ, а I, III и V выступаютъ изъ нея въ горизонтальной плоскости. Зажимы III и IV могутъ быть соединены другъ съ другомъ съ помощью штепселя, а V и II могутъ быть соединены на мгновеніе давленіемъ на ключъ.

Наконецъ, на оси прибора сидитъ поворотный рычагъ (послѣдній отчетливо виденъ на черт. 78 у дѣленія шкалы, равнаго 0,3). Къ нему прикрѣпленъ металлическій контактъ, который касается измѣрительной проволоки и можетъ передвигаться вдоль нея.

Соединеніе различныхъ частей прибора и вмѣстѣ съ тѣмъ примѣненіе его къ мостику Уитстона видно на черт. 80. Оба полюса элемента включаются между зажимами I и V, измѣряемое сопротивленіе x между II и III (который можетъ быть соединенъ посредствомъ штепселя съ IV). Измѣрительная проволока соединена съ одной стороны съ сопротивленіями 1, 9, 90, 900 и черезъ нихъ съ зажимомъ II, а съ другой стороны—съ зажимомъ III; гальванометръ соединенъ тоже

съ сопротивленіями и съ зажимомъ IV. Подвижной контактъ соединенъ съ зажимомъ I. Если мы расположимъ все по схемѣ мостика Уитстона, то отдѣльныя цифры и буквы чертежа расположатся такъ, какъ это видно на нижнемъ чертежѣ. А это вѣдь и представляетъ то устройство мостика, которое мы описали и разсмотрѣли на стр. 80. При пользованіи приборомъ вводятъ одно изъ сопротивленій отъ 1 до 1000, именно то, которое ближе всего подходитъ по величинѣ къ измѣряемому сопротивленію x (въ чемъ убѣждаются раньше съ помощью предварительнаго опыта) и передвигаютъ потомъ контактъ до тѣхъ поръ, пока стрѣлка гальванометра не остановится на нулѣ. Тогда искомое сопротивленіе такъ относится къ извѣстному (выключенному посредствомъ штепселя), какъ относятся другъ къ другу обѣ части измѣрительной проволоки, длины которыхъ можно непосредственно отсчитать по шкалѣ на шиферной доскѣ. Такимъ образомъ сразу возможно выразить искомое сопротивленіе въ омахъ.

Черт. 80.

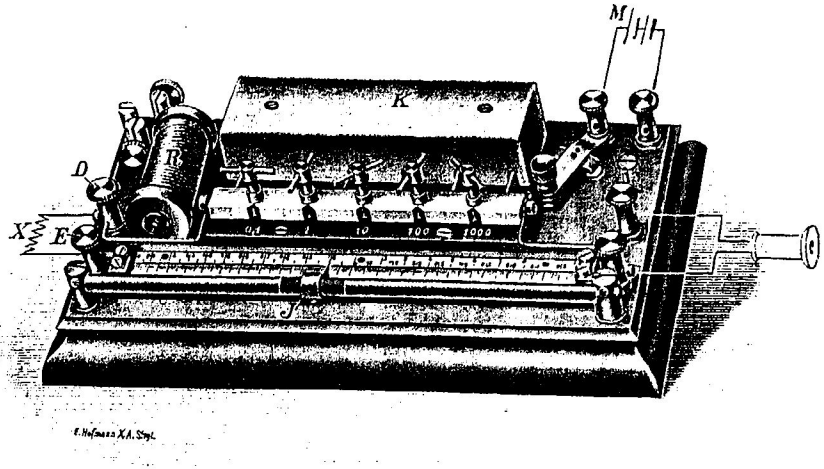


По быстротѣ и удобству опредѣленія сопротивленій универсальный гальваноскопъ не оставляетъ желать ничего лучшаго.

Такимъ путемъ можно опредѣлить сопротивленіе всякаго проводника. Но методъ мостика Уитстона въ томъ видѣ, какъ онъ былъ описанъ нами, непосредственно примѣнимъ лишь къ металлическимъ проводникамъ и вообще къ проводникамъ перваго рода. При опредѣленіи же сопротивленія жидкостей является еще одно усложненіе, такъ что для нихъ этотъ методъ долженъ быть еще немного измѣненъ. Дѣло въ томъ, что жидкость, какъ мы увидимъ дальше въ главѣ VI, разлагается электрическимъ токомъ и тогда сама дѣйствуетъ какъ гальваническій элементъ. Этого можно избѣжать, если пропускать черезъ жидкость рядъ быстро слѣдующихъ другъ за другомъ токовъ противоположныхъ направленій—такъ называемые перемѣнные токи. Если ввести изслѣдуемую жидкость въ одну сторону четыреугольника Уитстона, то можно, подгоняя сопротивленія, и въ этомъ случаѣ заставить исчезнуть перемѣнные токи въ мостикѣ и измѣрить такимъ образомъ сопротивленіе жидкости. Такіе перемѣнные токи можно получить, напримѣръ, съ помощью такъ называемой индукціонной катушки, которую мы опишемъ въ главѣ IX. Но тутъ является еще

затрудненіе въ томъ, что такіе перемѣнные токи вовсе не дѣйствуютъ на гальваноскопъ въ мостикѣ. Первый толчокъ тока стремится отклонить стрѣлку, напримѣръ, направо; второй, равный по силѣ, но обратный по направленію, стремится отклонить ее налѣво; такимъ образомъ стрѣлка остается въ покоѣ. Но существуютъ приборы, на которые перемѣнные токи дѣйствуютъ точно такъ же, какъ токи постояннаго направленія на гальваноскопы, а именно телефоны, которые мы опишемъ въ главѣ IX. Если мы введемъ, напримѣръ, телефонъ въ мостикъ и пропустимъ перемѣнные токи чрезъ всю нашу систему проводниковъ, то въ телефонѣ можно будетъ слышать звукъ до тѣхъ поръ, пока сопротивленія не будутъ такъ подобраны, что черезъ мостикъ не будетъ больше проходить токъ. Тогда телефонъ больше не звучитъ, и сопротивленіе жидкости опредѣляется такъ же просто,

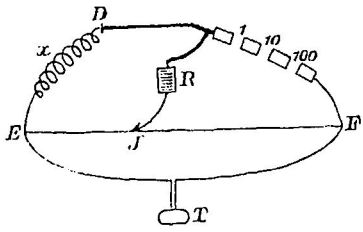
Черт. 81.



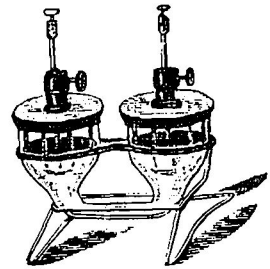
какъ сопротивленіе проволоки. Этотъ методъ былъ выработанъ Ф. Кольраушемъ. Чтобы опредѣлить сопротивленіе жидкости, удобно пользоваться расположеніемъ приборовъ, предложеннымъ Ф. Кольраушемъ и выполненнымъ Гартманомъ и Брауномъ во Франкфуртѣ подъ названіемъ «универсальный мостикъ». Такой приборъ изображенъ на черт. 81. Мы видимъ на чертежѣ слѣва небольшую проволочную катушку R — это и есть индукціонный аппаратъ, который производитъ перемѣнные токи. Онъ получаетъ токъ отъ элемента M, который схематически начерченъ справа. Въ ящикѣ K находятся пять сопротивленій въ 0,1, 1,10, 100 и 1000 омовъ, которыя можно ввести въ цѣпь, вынимая штепселя, находящіеся передъ ящикомъ. На раздѣленной шкалѣ лежитъ платиновая проволока, по которой можно передвигать металлическій указатель J, который движется по латунному

стержню. Сопротивленіе X, которое нужно измѣрить, вводятъ между зажимами D и E слѣва, телефонъ справа. Двигаемъ указатель J по измѣрительной проволокѣ до тѣхъ поръ, пока не исчезнетъ звукъ въ телефонѣ, и вычисляемъ затѣмъ обыкновеннымъ способомъ сопротивленіе жидкости такъ, какъ будто бы дѣло шло о твердомъ проводникѣ. Если мы приведемъ это къ схемѣ мостика Уитстона, то получимъ схему черт. 82; въ ней T—телефонъ, а K—индукціонная катушка.

Черт. 82.

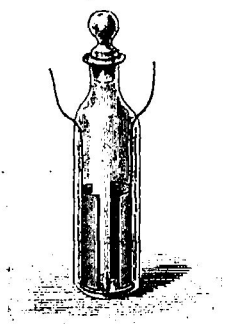


Черт. 83.



Когда желаютъ опредѣлить проводимость жидкостей, то ихъ наливаютъ въ сосуды, имѣющіе форму, въ родѣ изображенной на черт. 83. Черезъ эбонитовыя крышки этого сосуда проходятъ латунные стерженьки, несущіе платиновыя пластинки, чрезъ которыя токъ проходитъ въ жидкость. Эти пластины (которыя при точныхъ измѣреніяхъ необходимо еще платинировать, покрывать слоемъ тонко размельченной платины) съ ихъ стержнями называютъ электродами. Сверху стержней находятся зажимы, служащіе для закрѣпленія соединительныхъ проволокъ. Еще удобнѣе сосуды формы, показанной на черт. 84. Они представляютъ собою простыя бутылочки, въ которыя вставлены полуцилиндрическіе платиновые электроды, снабженные платиновыми проволоками, пропаянными сквозь стекло. Такой сосудъ наполняютъ сперва однимъ изъ растворовъ, проводимость которыхъ дана на стр. 92, и опредѣляютъ его сопротивленіе, затѣмъ наполняютъ испытуемымъ растворомъ и опять опредѣляютъ сопротивленіе. Отношеніе проводимости испытуемаго раствора къ проводимости раствора, изслѣдованнаго раньше, обратно отношенію ихъ сопротивленій. Еще проще устроены сосуды, изображенные на черт. 85, такъ называемые погружающіеся электроды. Такой сосудъ погружается въ испытуемую

Черт. 84.



Черт. 85.



жидкость (которая находится въ какомъ-нибудь сосудѣ), и она входитъ черезъ отверстіе, видное на чертежѣ внизу, и окружаетъ электроды.

Особенный случай жидкаго сопротивленія есть внутреннее сопротивленіе гальваническаго элемента. Опредѣленіе этого внутренняго сопротивленія представляетъ весьма важную и часто встрѣчающуюся задачу. Проще и скорѣе всего можно опредѣлить его, какъ сопротивленіе всякой жидкости, съ помощью мостика Уитстона съ перемѣнными токами и телефономъ. Для этого нужно только ввести у X (черт. 81) изслѣдуемый элементъ.

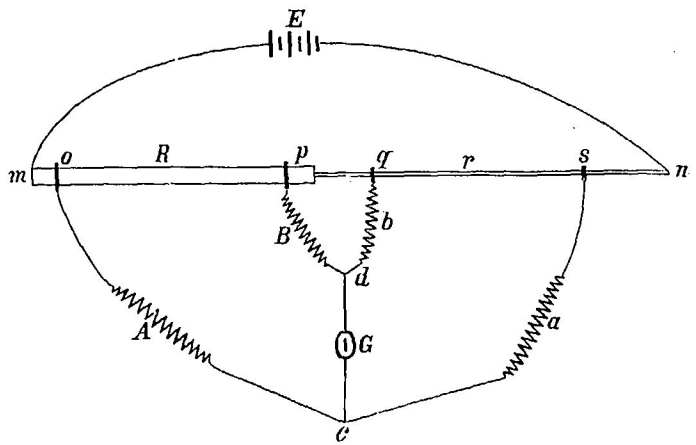
Внутреннее сопротивленіе гальваническаго элемента зависитъ, понятно, отъ величины элемента, отъ свойствъ глинянаго сосуда и т. д. Въ виду этого можно дать лишь приблизительныя величины сопротивленій даже и для наиболѣе часто употребляемыхъ элементовъ. Элементъ Бунзена обыкновенныхъ размѣровъ (32 см. вышины) имѣетъ сопротивленіе всего около 0,2 ома, обыкновенный даніэль около 0,6 ома, элементъ съ мѣдными электродами управленія нѣмецкими телеграфами 7,5 ома, элементъ Лекланше около 0,3 ома, а сухой элементъ, изготовляемый фирмой Сименсъ и Гальске, отъ 0,1 до 0,3 ома, въ зависимости отъ величины.

По этимъ цифрамъ и по величинѣ электродвижущихъ силъ этихъ элементовъ, которые даны были раньше, можно вычислить силу тока при короткомъ замыканіи элемента. Она была бы равной для элемента Бунзена около $\frac{1,9 \text{ вольтъ}}{0,2 \text{ ома}} = 9,5$ амперъ, для элемента Даніэля—2 ампера, для элемента съ мѣдными электродами 0,15 амперъ, для элемента Лекланше 5 амперъ, для телеграфнаго элемента С. и Г. болѣе 20 амп., и наконецъ для сухого Т-элемента 15 амперъ. Но такіе сильные токи быстро разрушаютъ всѣ элементы, такъ что эти цифры означаютъ не ту силу тока, которую можно брать въ дѣйствительности, а только максимальную.

Когда дѣло идетъ объ измѣреніи очень малыхъ сопротивленій (напр. 0,01 ома, или даже 0,00001 ома), то пользуются особымъ видоизмѣненіемъ мостика Уитстона. Дѣйствительно, въ этомъ случаѣ обычнымъ расположеніемъ пользоваться нельзя, прежде всего потому, что необходимыя для сравненія малыя сопротивленія представляютъ трудности при изготовленіи и очень дороги, а затѣмъ главнымъ образомъ по причинѣ того, что мѣста соединенія проволокъ другъ съ другомъ посредствомъ зажимовъ представляютъ уже сами сопротивленія того же порядка, что и измѣряемая величина. Между тѣмъ необходимость такихъ измѣреній дѣлается все болѣе и болѣе насущной, такъ какъ въ электротехникѣ весьма часто теперь пользуются малыми сопротивленіями, по которымъ проходятъ сильные токи. Поэтому сэръ

В. Томсонъ (Лордъ Кельвинъ) предложилъ для этой цѣли особый методъ, названный по его имени мостикомъ Томсона или двойнымъ мостикомъ. Принципъ его представленъ на схематическомъ чертежѣ 86. Измѣряемое сопротивленіе R вводится послѣдовательно съ извѣстнымъ сопротивленіемъ r (натянутая проволока). Отъ двухъ опредѣленныхъ мѣстъ измѣряемаго сопротивленія R, напр., отъ o и p, ведутся два равныхъ сопротивленія A и B (напр. по 10 омовъ) къ двумъ точкамъ c и d; точно такъ же два мѣста проволоки, напр., q и s

Черт. 86.



соединяются посредствомъ подвижныхъ контактовъ чрезъ два равныхъ сопротивленія a и b (напр. по 1000 омовъ) съ тѣми же точками. Между c и d вводится гальваноскопъ G, между m и n сильная батарея E, приблизительно 8 вольтъ напряженія. Гальваноскопъ показываетъ, понятно, нѣкоторое отклоненіе. Затѣмъ одинъ изъ контактовъ q и s передвигаютъ, оставляя другой неподвижнымъ, до тѣхъ поръ, пока отклоненіе въ гальванометрѣ не исчезнетъ. Когда это достигнуто, то (какъ можно доказать)

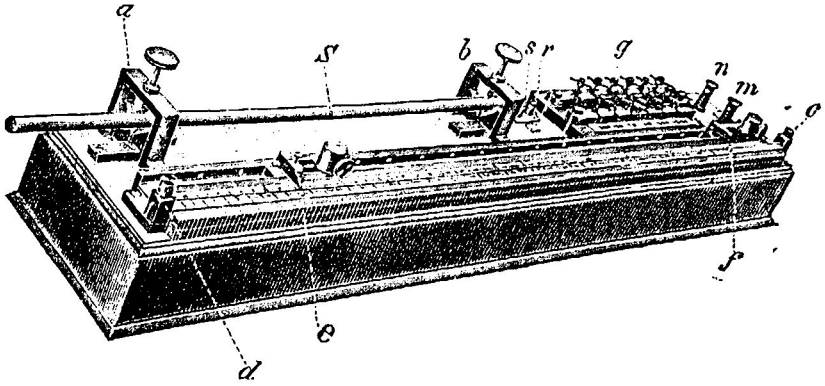
$$\frac{\text{сопротивленіе R}}{\text{сопротивленіе } r} = \frac{\text{сопротивленіе A}}{\text{сопротивленіе } a}.$$

Въ нашемъ примѣрѣ въ такомъ случаѣ сопротивленіе R представляетъ одну сотую сопротивленія r. Если r представляетъ толстую проволоку, раздѣленную на 1000 мм., и если вся проволока, какъ это обыкновенно дѣлаютъ, имѣетъ сопротивленіе въ 0,01 ома, то каждый миллиметръ проволоки имѣетъ сопротивленіе 0,00001 ома, и искомое сопротивленіе R равно числу миллиметровъ между q и s, дѣленному на 10 милліоновъ. Такимъ путемъ можно измѣрить весьма малыя сопротивленія.

Примѣняя такой методъ измѣренія на практикѣ, можно пользоваться Томсоновымъ мостомъ Эдельмана, изображеннымъ на черт. 87.

Мы видимъ на чертежѣ проволоку cd въ 0,01 ома сопротивленіемъ съ двумя подвижными контактами f и e, затѣмъ въ качествѣ измѣряемаго сопротивленія толстый мѣдный стержень S, зажатый въ a и b въ крѣпкихъ винтовыхъ зажимахъ. Въ g помѣщены четыре сопротивленія, каждое въ 10, 100 и 1000 омовъ, изъ которыхъ образуютъ

Черт. 87.



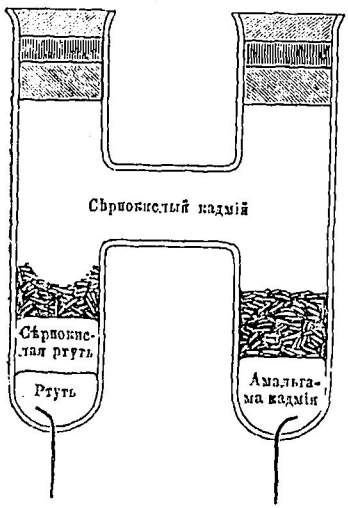
сопротивленія A, B и a, b предыдущаго чертежа. Если для a и b взять сопротивленія въ 1000 омовъ, а для A и B сопротивленія въ 10, 100 или 1000 омъ, то мы получимъ послѣдовательно отношенія въ 0,01, или въ 0,1 или 1. Между m и n вводится батарея, между s и r — гальванометръ.

Итакъ, пользуясь однимъ изъ методовъ, изложенныхъ на послѣднихъ страницахъ, можно опредѣлить сопротивленіе въ омахъ любой проволоки, любого столба проводящей жидкости.

Вторая величина, которая при всякомъ токѣ подлежитъ разсмотрѣнію, есть электродвижущая сила. За единицу электродвижущей силы мы приняли 1 вольтъ. Электродвижущая сила элемента Бунзена равна приблизительно 1,9 вольта, а элемента Лекланше 1,5 вольта. Батарея изъ десяти элементовъ Бунзена, соединенныхъ послѣдовательно, имѣетъ такимъ образомъ электродвижущую силу въ 19 вольтъ. Однако электродвижущая сила большинства элементовъ не является вовсе величиной постоянной, но измѣняется всегда, когда элементъ даетъ токъ. Даже у наиболѣе постояннаго изъ обычныхъ элементовъ, у элемента Даніеля, величина электродвижущей силы зависитъ весьма существенно отъ не всегда одинаковой чистоты приготовленія составныхъ частей. Поэтому много работали надъ тѣмъ, чтобы приготовить такіе элементы, которые имѣли бы всегда неизмѣнную электродвижущую силу, которую можно было бы разъ на всегда опредѣлить въ вольтахъ. Такіе элементы называются нормальными. Нашли себѣ примѣненіе два такихъ элемента: элементъ

Кларка и элементъ Вестона. Послѣдній элементъ не трудно устроить самому себѣ слѣдующимъ образомъ. На дно одного колѣна Н-образной пробирки (черт. 88) наливаютъ слой чистой ртути; на нее накладываютъ массу, приготовленную растираніемъ сѣрнокислой ртути съ кристаллами сѣрнокислаго кадмія и ртутью. Нижнюю часть другого колѣна заполняютъ амальгамой кадмія составленною изъ 90 частей ртути и 10 частей кадмія. Такъ какъ амальгама при обыкновенной температурѣ затвердѣваетъ, то ее вливаютъ въ горячемъ состояніи и затѣмъ даютъ отвердѣть. На смѣсь въ одномъ колѣнѣ сосуда и на амальгаму въ другомъ насыпаются кристаллы сѣрнокислаго кадмія и все это заливается концентрированнымъ растворомъ сѣрнокислаго кадмія. Сосудъ закупоривается тѣмъ, что на растворъ сѣрнокислаго кадмія наливается горячій парафинъ, затѣмъ въ каждое колѣно вставляется пробка, которая заливается морскимъ клеемъ. Въ пробирки впаяны внизу двѣ платиновыя проволоки, служащія электродами. Электродвижущая сила этого элемента равна 1,0183 вольта при 20° Ц. Величина ея измѣняется при всѣхъ измѣненіяхъ температуры отъ 10° — 20° Ц. только въ четвертомъ знакѣ. Элементъ Кларка отличается отъ элемента Вестона только тѣмъ, что вмѣсто кадмія и сѣрнокислаго кадмія примѣняется цинкъ и сѣрнокислый цинкъ. Однако его электродвижущая сила довольно зависима и значительно измѣняется съ температурой, при 15° Ц. она равна 1,438 вольта, а при 20° 1,433 вольта. Поэтому теперь отдаютъ предпочтеніе элементу Вестона передъ элементомъ Кларка и по тѣмъ же самымъ основаніямъ, какъ для нормальнаго сопротивленія являются болѣе подходящими манганиновыя проволоки въ сравненіи съ мѣдными. Нормальные элементы испытываются Германскимъ Правительственнымъ Физико-Техническимъ Институтомъ, при чемъ опредѣляется точное значеніе ихъ электродвижущей силы при различныхъ температурахъ.

Черт. 88.



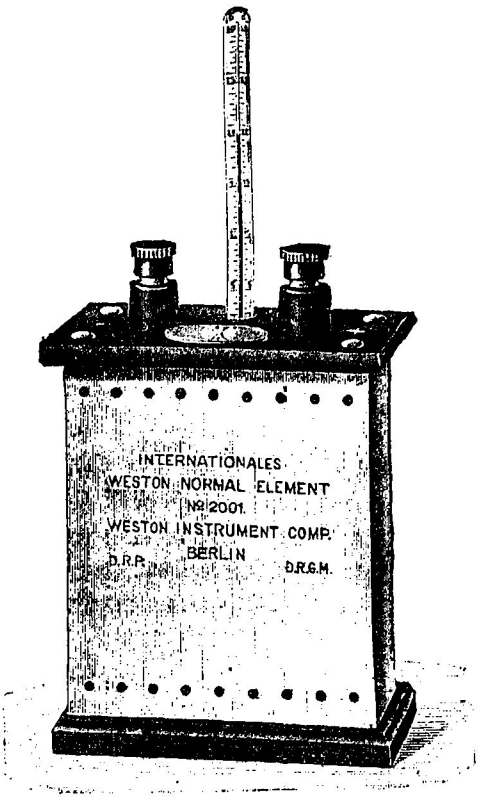
Внѣшній видъ элемента Вестона, какъ его изготовляетъ «О-во инструментовъ Вестона въ Берлинѣ», изображенъ на черт. 89.

Для того, чтобы сравнить электродвижущую силу какого-нибудь элемента съ электродвижущей силою элемента Вестона или Кларка, примѣняются различные методы. Такъ какъ электродвижущая сила элемента равна разности напряженій его полюсовъ при разомкнутой цѣпи (т. е. когда нѣтъ тока), то ее можно опредѣлить, измѣривъ, напри-

мѣръ, на квадрантномъ электрометрѣ отклоненія бисквита, которыя производятся въ одномъ случаѣ элементомъ Вестона, а въ другомъ испытуемымъ элементомъ. Отношеніе этихъ отклоненій равно отношенію электродвижущихъ силъ. Отсюда искомую электродвижущую силу мы можемъ тотчасъ выразить въ вольтахъ, такъ какъ мы знаемъ въ вольтахъ электродвижущую силу элемента Вестона.

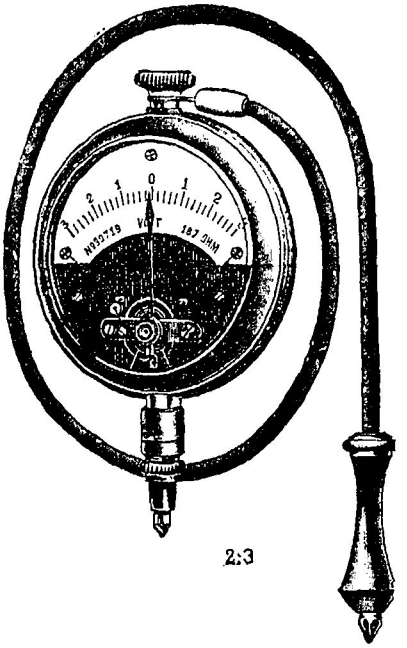
Практически электродвижущая сила элементовъ наиболѣе просто опредѣляется, если пользуются градуированнымъ гальванометромъ или миллиамперметромъ, обладающимъ большимъ заранѣе извѣстнымъ сопротивленіемъ, напр. въ 100 или 200 омовъ или соединеннымъ послѣдовательно съ такимъ сопротивленіемъ. Такъ какъ, въ сравненіи съ этимъ большимъ сопротивленіемъ, внутреннимъ сопротивленіемъ можно пренебречь, то изъ закона Ома слѣдуетъ, что искомая электродвижущая сила равна произведенію изъ измѣренной силы тока и сопротивленія амперметра. Если извѣстны отклоненія амперметра въ амперахъ и его сопротивленіе въ омахъ, то извѣстна и электродвижущая сила измѣряемаго элемента въ вольтахъ, т. к. число вольтъ равно произведенію изъ числа амперъ на число омовъ. Такъ какъ при данномъ сопротивленіи прибора каждое дѣленіе шкалы соотвѣтствуетъ опредѣленному числу вольтъ, то шкала раздѣляется прямо на вольты, и такіе приборы получаютъ названіе **вольтметровъ**.

Черт. 89.



Такой вольтметръ, удобной формы, предназначенный для опредѣленія электродвижущихъ силъ отдѣльныхъ элементовъ (какъ это напр. часто дѣлается на практикѣ электрическихъ автомобилей), показанъ на черт. 90. Вольтметръ имѣетъ форму карманныхъ часовъ. Нижнее остріе прибора прижимается къ одному полюсу изслѣдуемаго элемента, остріе проволочнаго шнура къ другому. Этотъ приборъ служитъ для измѣренія напряженій до 3-хъ вольтъ.

Черт. 90.



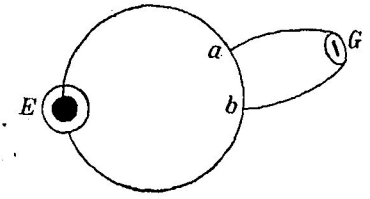
2:3

Такимъ же методомъ опредѣляется столь же легко и другая величина болѣе общаго характера, а именно разность напряженій между двумя точками замкнутой цѣпи. Особый случай подобнаго измѣренія есть измѣреніе разности потенціаловъ батареи при замкнутой цѣпи, т. е. такъ называемаго напряженія у зажимовъ (стр. 77).

Эта разность напряженій легко и непосредственно измѣряется въ вольтахъ при помощи вольтметра, т. е. гальванометра, сопротивленіе котораго извѣстно и велико.

Простое средство для измѣренія разности напряженій и напряженія у зажимовъ состоитъ въ томъ, что гальванометръ включается не непосредственно въ цѣпь, а параллельно ей. Пусть напр., на черт. 91 Eab—цѣпь, по которой идетъ токъ отъ элемента E, и желательно опредѣлить разность напряженій между a и b. Тогда между a и b включаютъ параллельно гальванометръ G. Такимъ образомъ, гальванометръ включенъ, какъ говорятъ, въ отвѣтвленіи у a b. Мы знаемъ (стр. 78), что сила тока въ гальванометрѣ G равна разности напряженій между a и b, дѣленной на сопротивленіе отвѣтвленія. Сопротивленіе же отвѣтвленія, если не говорить о необходимыхъ соединительныхъ проводахъ, и есть сопротивленіе гальванометра. Если включить гальванометръ въ цѣпь между какими-либо двумя точками, какъ a и b, то отклоненіе на гальванометрѣ непосредственно дастъ мѣру для разности напряженій между ними, такъ какъ сопротивленіе гальванометра остается неизмѣннымъ. Если извѣстно число дѣленій, на которое передвигается стрѣлка гальванометра при силѣ тока въ 1, 2, 3 и т. д. амперовъ, и извѣстно сопротивленіе гальванометра въ омахъ, то можно при любомъ отклоненіи стрѣлки опредѣлить вызвавшую его разность напряженій.

Черт. 91.



Само собою разумѣется, что при включеніи такого амперметра въ отвѣтвленіе къ ab мѣняются какъ сила тока такъ и распредѣленіе напря-

женія. Однако, если сопротивленіе гальванометра велико, то токъ, идущій въ отвѣтвленіе, малъ, и измѣненія, указанныя выше, также малы.

Поэтому гальванометры, предназначенные для включенія въ отвѣтвленіе, чтобы измѣрять разности напряженій, т. е. работающіе, какъ вольтметры, выбираются съ большимъ сопротивленіемъ, прибл. 100 Ω, или же, если у гальванометра сопротивленіе мало, то включаютъ послѣдовательно съ нимъ еще достаточно большое сопротивленіе, величина котораго извѣстна.

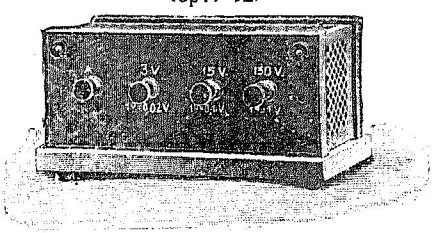
Такъ напр., милліамперметръ, изображенный выше на стр. 86, имѣетъ сопротивленіе равное 1 ому. Такъ какъ каждое дѣленіе шкалы его соотвѣтствуетъ силѣ тока въ 0,001 амп. (1 миллиамперъ), то приборъ, включенный параллельно цѣпи между двумя точками ея, указываетъ непосредственно разность напряженій въ вольтахъ, а именно каждое дѣленіе шкалы соотвѣтствуетъ разности напряженій въ

$$0{,}001 \text{ ампера} \times 1 \text{ омъ} = 0{,}001 \text{ вольта},$$

т. е. въ 1 милливольтъ.

Такъ какъ шкала имѣетъ всего 150 дѣленій, то этимъ приборомъ можно измѣрять только разности напряженій отъ 0,001 до 0,15 вольта, но не большія. Но существуетъ простое средство для измѣренія и бо́льшихъ разностей напряженій. Для этого достаточно включать въ отвѣтвленіе, кромѣ гальванометра, еще опредѣленное добавочное сопротивленіе. Чѣмъ больше общее сопротивленіе цѣпи, тѣмъ меньше отклоненіе стрѣлки прибора на 1 вольтъ, слѣдовательно, тѣмъ большія разности напряженій можно измѣрить. Поэтому такіе миллиамперметры при употребленіи ихъ въ качествѣ вольтметровъ (для измѣренія разностей напряженій) снабжаютъ сопротивленіями; послѣднія (черт. 92) называются добавочными сопротивленіями и подгоняются въ 19, 99 и 999 омовъ; ихъ также включаютъ въ отвѣтвленія. Первое сопротивленіе равно 19 омамъ, такъ что все сопротивленіе отвѣтвленія равно 20 омамъ и каждое дѣленіе шкалы поэтому соотвѣтствуетъ разности напряженій въ

Черт. 92.



$$20 \text{ омъ} \times 0{,}001 \text{ ампера} = 0{,}02 \text{ вольта}.$$

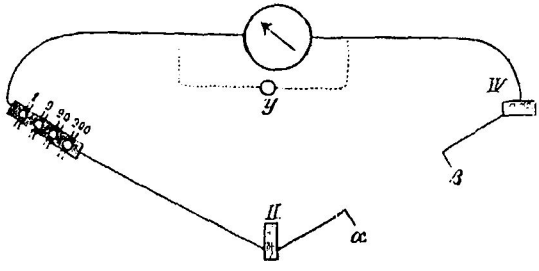
Слѣдовательно, можно измѣрять разности напряженія отъ 0,02 до 3 вольтъ.

При введеніи въ цѣпь вольтметра второго сопротивленія, равнаго 99 омамъ, полное сопротивленіе отвѣтвленія будетъ равно 100 омамъ;

слѣдовательно, въ этомъ случаѣ каждое дѣленіе соотвѣтствуетъ 0,001 ампера × 100 омовъ = 0,1 вольта, такъ что можно измѣрять напряженія отъ 0,1 до 15 вольтъ. Точно также при включеніи третьяго сопротивленія (въ 999 омовъ) каждое дѣленіе соотвѣтствуетъ 1 вольту. Такимъ образомъ можно измѣрять разности напряженій до 150 вольтъ, а въ цѣломъ, при помощи ящика съ добавочными сопротивленіями, отъ 0,001 до 150 вольтъ.

Универсальный гальванометръ Сименса и Гальске, который, какъ было выше указано (стр. 102), весьма пригоденъ для измѣреній сопротивленій, можетъ быть съ удобствомъ примѣненъ и для измѣренія разностей напряженій. Для этой цѣли къ прибору прилагается особая металлическая дуга, привинчиваемая къ зажимамъ II и IV. Остальные зажимы, а также круговая измѣрительная проволока при этихъ измѣреніяхъ не нужны. Но очень нужны сопротивленія въ 900, 90 и 9 омовъ для достиженія необходимой чувствительности прибора. Двѣ точки цѣпи α и β, между которыми нужно измѣрить разность напряженій, присоединяются къ зажимамъ II и IV. Отверстіе y, показанное на черт. 93, закрываютъ штепселемъ, и только тогда показанія прибора будутъ выражать миллиамперы (при измѣреніяхъ сопротивленія это обстоятельство не имѣло никакого значенія, такъ какъ стрѣлка гальванометра не должна была давать отклоненія). Схема черт. 93 показываетъ расположеніе отдѣльныхъ частей прибора. Если включены всѣ сопротивленія въ 900, 90 и 9 омовъ, то вѣтвь гальванометра имѣетъ сопротивленіе въ 1000 омовъ, такъ какъ гальванометръ самъ имѣетъ сопротивленіе въ 1 омъ. Слѣдовательно, въ этомъ случаѣ каждое дѣленіе шкалы соотвѣтствуетъ 1 вольту. При включеніи въ цѣпь сопротивленій только въ 90 и 9 омовъ, каждое дѣленіе равно 0,1 вольта, при 9 омахъ — 0,01 вольта, а при выключеніи всѣхъ сопротивленій—0,001 вольта.

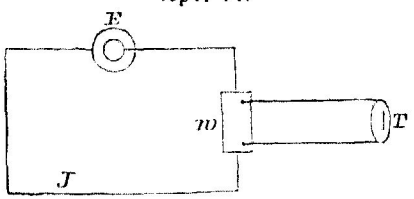
Черт. 93.



Третья величина, кромѣ напряженія и сопротивленія, которая при всякомъ токѣ подлежитъ разсмотрѣнію, есть сила тока. Эту послѣднюю опредѣляютъ непосредственно въ амперахъ, для чего въ самую цѣпь тока включаютъ гальванометръ, спеціально служащій амперметромъ. Вышеприведенные амперметры допускаютъ измѣреніе лишь незначительныхъ силъ тока: отъ 1 до 150 миллиамперовъ. Для измѣренія еще болѣе слабыхъ токовъ примѣняются весьма чувствительные

гальванометры, съ которыми мы познакомимся въ главѣ VII. Однако можно, пользуясь миллиамперметромъ и вообще любымъ приборомъ, предназначеннымъ для слабыхъ токовъ, легко измѣрять и весьма сильные токи; для этого необходимо только воспользоваться соотвѣтственнымъ, очень простымъ пріемомъ. Именно, подобные амперметры снабжаются точно отмѣренными, весьма малыми сопротивленіями, которыя вводятся въ изслѣдуемую цѣпь (они такъ незначительны, что не могутъ существенно измѣнить силы тока въ цѣпи). Къ концамъ этихъ сопротивленій, которымъ обыкновенно даютъ величины въ $^1/_9$, $^1/_{99}$, $^1/_{999}$, $^1/_{999}$ и т. д. ома, параллельно присоединяется миллиамперметръ. Въ этомъ и заключается описываемый пріемъ. Подобная схема измѣренія силы тока показана на черт. 94. Батарея E даетъ токъ силою J, который желаютъ измѣрить. Въ цѣпь тока вводится небольшое (напримѣръ $^1/_{999}$ ома) сопротивленіе w, а параллельно къ нему присоединяется миллиамперметръ T. Если въ этомъ приборѣ стрѣлка отклонилась на одно дѣленіе, то тогда, какъ мы знаемъ, по нему идетъ токъ въ 0,001 ампера. Чрезъ сопротивленіе въ $^1/_{999}$ ома протекаетъ, согласно закону развѣтвленія токовъ (стр. 78), токъ въ 999 разъ большій, слѣдовательно въ 0,999 ампера, такъ какъ сопротивленіе гальванометра равно 1 ому. Наконецъ, въ главной цѣпи, въ которой сила тока должна быть измѣрена, идетъ токъ силою въ

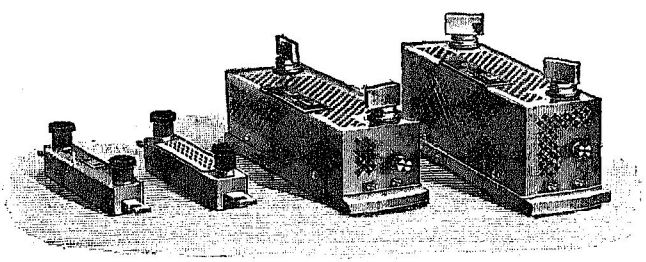
Черт. 94.



$$0{,}999 + 0{,}001 = 1 \text{ амперъ.}$$

Каждое дѣленіе на миллиамперметрѣ соотвѣтствуетъ поэтому силѣ тока въ 1 амперъ въ главной цѣпи. Если введенное сопротивленіе имѣетъ не $^1/_{999}$, а $^1/_9$ или $^1/_{99}$ или $^1/_{299}$ ома, то каждое дѣленіе на миллиамперметрѣ соотвѣтствуетъ силѣ тока въ 0,01 или 0,1 или въ 0,3 ампера въ главной цѣпи. Такимъ образомъ при помощи этого при-

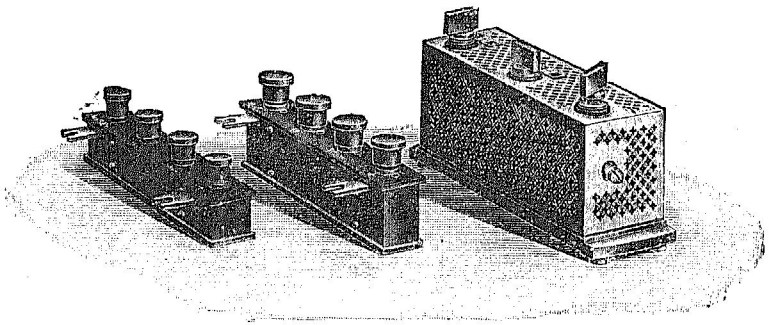
Черт. 95.



бора можно измѣрять силы тока отъ 0,001 до 150 амперъ. Очень небольшія сопротивленія отъ $^1/_9$ до $^1/_{999}$ ома приготовляютъ изъ толстыхъ манганиновыхъ полосъ, такъ какъ сопротивленіе манганина (стр. 93) почти не измѣняется отъ нагрѣванія. Эти сопротивленія, которыя называются параллельными сопротивленіями или шунтами, помѣщаются, какъ показано на черт. 95, въ ящикѣ съ рѣшетчатыми стѣнками.

Весьма удобно комбинировать по нѣсколько различныхъ шунтовъ въ одномъ ящикѣ, такъ что, въ зависимости отъ примѣненія

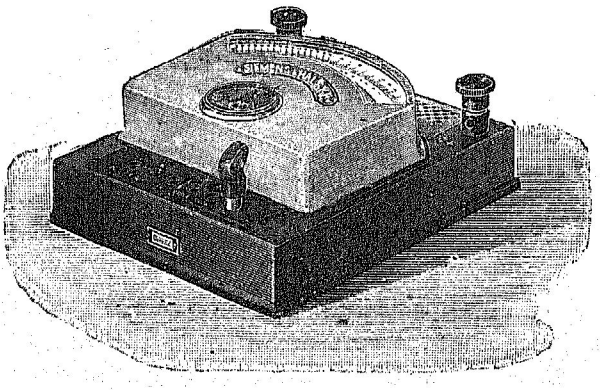
Черт. 96.



различныхъ зажимовъ, можно пользоваться сопротивленіями въ $^1/_9$, $^1/_{99}$ и т. д. ома. Чертежъ 96 изображаетъ такія параллельныя сопротивленія различныхъ величинъ.

При употребленіи универсальнаго гальванометра схема соединеній совершенно та же, что и при измѣреніи напряженій. Къ зажимамъ II и IV прикрѣпляется доставляемая вмѣстѣ съ приборомъ дуга, а къ ней одно изъ представленныхъ на черт. 95 или 96 малыхъ сопротивленій. Измѣряемый токъ посылается черезъ это сопротивленіе въ то время, какъ всѣ сопротивленія прибора выключаются посредствомъ штепселя.

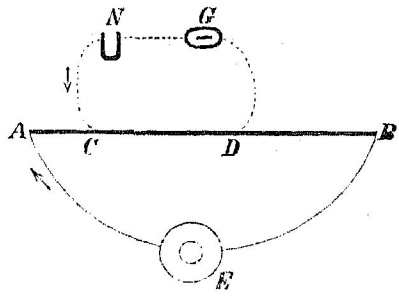
Черт. 97.



Весьма удобно устроены новѣйшіе точные приборы Сименса и Гальске. Подобный приборъ показанъ на черт. 97. Онъ можетъ служить для измѣренія какъ вольтовъ, такъ и амперовъ и притомъ въ различныхъ предѣлахъ; достигается это тѣмъ, что въ ящикѣ прибора собраны всѣ необходимыя добавочныя сопротивленія и шунты, включаемые при помощи штепселя. Такъ, изображенный приборъ при помѣщеніи штепселя съ лѣвой стороны — для измѣренія разностей напряженій— имѣетъ три предѣла измѣреній: 0—3, 0—15 и 0—150 вольтъ (смотря по тому, въ какое отверстіе вставленъ штепсель); при перестановкѣ штепселя съ правой стороны — для измѣренія силъ токовъ — предѣлы измѣреній слѣдующіе: 0—0,15; 0—1,5; 0—15 амперъ.

Тѣ измѣренія, которыя были разобраны въ концѣ, требуютъ наличности градуированнаго амперметра. Однако для того, чтобы подобный приборъ дѣйствительно вывѣрить, а равно и провѣрить вѣрность его градуировки, необходимо имѣть возможность какую-либо силу тока, измѣренную амперметромъ, опредѣлить также и независимо отъ показаній послѣдняго. Это достигается безъ труда въ настоящее время послѣ громадныхъ успѣховъ, которые сдѣлала наука въ теоріи нормальныхъ элементовъ, а техника въ дѣлѣ изготовленія ихъ. Такъ какъ нормальные элементы, особенно же элементы Вестона, имѣютъ точно опредѣленную и постоянную электродвижущую силу, изготовляются и могутъ быть переносимы легко и удобно, и такъ какъ, далѣе, электрическое сопротивленіе можно приготовлять и измѣрять съ величайшей точностью, то при помощи этихъ приборовъ легко опредѣляется и сила тока въ амперахъ. Для этой цѣли пользуются, такъ называемымъ, компенсаціоннымъ методомъ включенія, который основанъ на разобранномъ на стр. 82 явленіи развѣтвленія тока. Если мы образуемъ цѣпь изъ какой-либо батареи E (черт. 98), любыхъ проводовъ EA и EB и изъ прямолинейной проволоки AB, сопротивленіе которой въ омахъ намъ извѣстно для каждаго сантиметра, то мы можемъ узнать въ амперахъ силу тока данной цѣпи EAB при помощи нормальнаго элемента N и гальваноскопа, если мы примѣняемъ способъ включенія, указанный на чертежѣ. А именно, мы присоединяемъ одинъ полюсъ нормальнаго элемента къ точкѣ C, такъ что направленіе тока таково, какъ показано на чертежѣ, а другой полюсъ соединяемъ черезъ гальваноскопъ со скользящимъ контактомъ D на проволокѣ. Передвигаемъ скользящій контактъ до тѣхъ поръ, пока

Черт. 98.



гальваноскопъ не будетъ показывать отсутствіе тока; тогда разность напряженій между точками C и D на проволокѣ равна электродвижущей силѣ нормальнаго элемента (напр. для элемента Вестона она равна 1,0183 вольта). Сопротивленіе же въ омахъ CD, согласно условію, должно было быть извѣстно. Отсюда слѣдуетъ, что

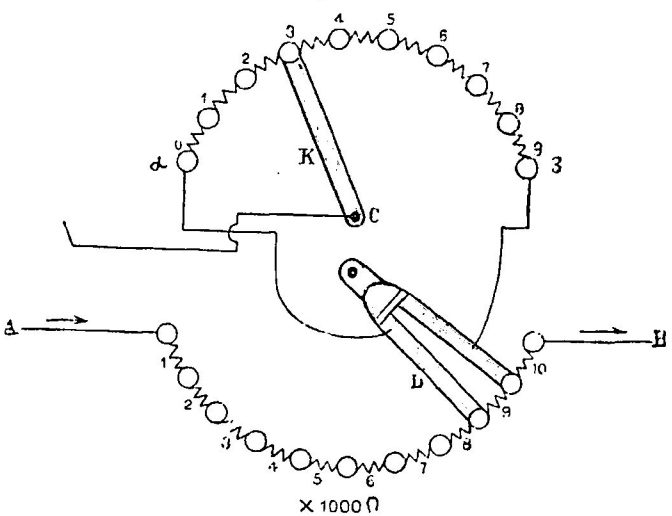
$$\text{искомая сила тока въ } CD = \frac{1{,}0183}{\text{сопротивл. } CD} \text{ амп.}$$

Токъ такой силы, какъ въ части цѣпи CD, идетъ и во всей цѣпи $EACDB$, т. к. мы добились того, что въ параллельномъ отвѣтвленіи $CNGD$ нѣтъ тока. Если включить въ цѣпь $EACDB$ амперметръ, то можно провѣрять его показаніе, т. к. вѣдь силу тока можно опредѣлить и независимо отъ него. Цѣпь $CNGDC$ называютъ компенсаціонной цѣпью.

Примѣненіе такой прямолинейной проволоки, для каждой части которой должно быть извѣстно сопротивленіе, неудобно, особенно если въ компенсаціонную цѣпь надо вводить очень большія или очень малыя сопротивленія CD. Гораздо удобнѣе брать, вмѣсто вытянутой проволоки, ящикъ съ сопротивленіями, въ которомъ можно легко получить всѣ сопротивленія отъ 0,1 ома до 10.000 омъ посредствомъ вставленія штепселей или передвиженія рукоятки. Однако такой ящикъ съ сопротивленіями долженъ здѣсь, очевидно, имѣть особое устройство. При передвиженіи скользящаго контакта D на черт. 98, гдѣ бы этотъ контактъ ни находился на проволокѣ AB, не измѣняется общее сопротивленіе этой проволоки, а вмѣстѣ съ тѣмъ и всей цѣпи EAB. Если D приблизить къ C, то сопротивленіе CD уменьшится, сопротивленіе же $AC + DB$ увеличится, такъ что AB постоянно сохраняетъ одно и то же сопротивленіе. Если же между C и D включить ящикъ съ сопротивленіями и взять въ немъ сопротивленіе, необходимое для компенсаціи электродвижущей силы элемента N, то общее сопротивленіе AB измѣнится. Поэтому надо такъ устраивать ящики съ сопротивленіями, которыя включаются между A и B, чтобы сопротивленіе, равное тому, которое изъ этихъ ящиковъ включается между C и D, одновременно выключалось бы само собой между D и B и наоборотъ, такъ что общее сопротивленіе между A и B оставалось бы неизмѣннымъ, несмотря на разнообразныя включенія штепселей. Такое устройство можетъ быть выполнено различно. Приборы съ такимъ устройствомъ сопротивленій, предназначенные для этой цѣли, называются компенсаціонными приборами (или потенціометрами). Здѣсь будетъ описано устройство прибора Сименса и Гальске. Въ немъ ящики съ сопротивленіями подобны реостатамъ съ поворотными рычагами (стр. 99), и для того, чтобы не вводить слишкомъ много реостатовъ, принято такое устройство сопротивленій, какое изображено на черт. 99. Тутъ внизу между A и B включено 10 разъ

по 1000 омовъ между контактными кнопками. На 2 такихъ кнопки опирается рычагъ D, состоящій изъ 2-хъ изолированныхъ частей: обѣ его части соединяются съ концами α и β верхняго реостата, который имѣетъ 9 сопротивленій по 1000 омъ. Такимъ образомъ между A и B, гдѣ находится и рычагъ D, всегда содержится 9900 омъ, ибо рычагъ всегда включаетъ параллельно одно изъ нижнихъ сопротивленій въ 1000 омъ съ верхнимъ въ 9000 омъ. Но два такихъ параллельно включенныхъ сопротивленія соотвѣтствуютъ 900 омамъ. Эти омы и остальные 9000 омъ нижняго реостата включаются такимъ образомъ всегда между A и B.

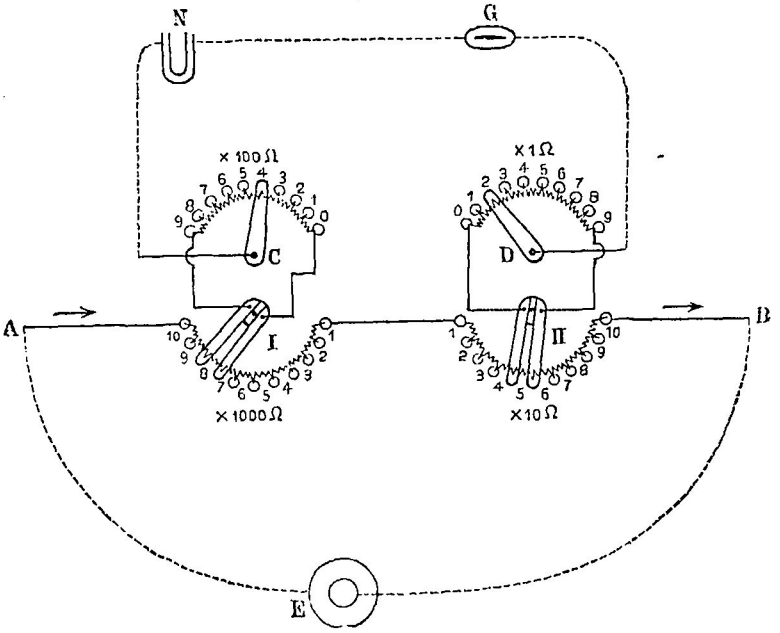
Черт. 99.



Такое устройство принято въ компенсаціонномъ приборѣ, изображенномъ схематически на черт. 100. Токъ, который предполагается измѣрить, идетъ отъ батареи E черезъ оба реостата съ поворотными рычагами I и II; изъ нихъ первый содержитъ между двумя кнопками 1.000 омъ, второй—10 омъ. Общее сопротивленіе перваго составляетъ 9.900 омъ,—второго 99 омъ, слѣдовательно все сопротивленіе между A и B, которое не измѣняется при любомъ положеніи рычаговъ, равняется 9999 омамъ. Одинъ полюсъ нормальнаго элемента N соединенъ въ точкѣ C съ простымъ рычагомъ, другой черезъ гальванометръ G съ точкою D простого рычага. Когда первый изъ рычаговъ поворачивается впередъ на одну кнопку, то, вслѣдствіе развѣтвленія тока, каждый разъ включается сопротивленіе въ 100 омовъ; а при соотвѣтственномъ передвиженіи второго рычага включается каждый разъ 1 омъ. Устанавливаютъ сначала двойной рычагъ I, затѣмъ простой рычагъ D, затѣмъ двойной рычагъ II и наконецъ простой рычагъ D такимъ образомъ, чтобы гальванометръ не показывалъ тока. Тогда

въ компенсаціонной цѣпи, при положеніи, указанномъ на чертежѣ, включено сопротивленіе въ 7442 ома. Если нормальный элементъ — элементъ Вестона, то къ крайнимъ точкамъ этого сопротивленія приложено напряженіе въ 1,0183 вольта, и слѣдовательно величина идущаго черезъ AB тока, которая должна была быть измѣрена, равна $\frac{1{,}0183}{7442} = 0{,}0001368$ ампера. Теперь легко можно найти и электродвижущую силу элемента E. Такъ какъ онъ при сопротивленіи равномъ 9999 омамъ (въ виду такого сопротивленія, внутреннее сопротивленіе эле-

Черт. 100 [1]).



мента и сопротивленіе соединительныхъ проводовъ — величины пренебрежимыя) производитъ токъ въ 0,0001368 амп., то его электродвижущая сила равна $0{,}0001368 \times 9999 = 1{,}368$ вольта. Компенсаціонный приборъ употребляется не только для измѣренія силы тока, но также и для измѣренія напряженій и сопротивленій, особенно же для того, чтобы получить величину тока точно опредѣленнаго значенія. Такъ какъ все это достигается только посредствомъ комбинаціи сопротивленій при помощи нормальнаго элемента, то этотъ приборъ является однимъ изъ наиболѣе примѣняемыхъ аппаратовъ въ разнообразнѣйшихъ случаяхъ общей техники электрическихъ измѣреній.

Теперь, послѣ того, какъ мы познакомились съ закономъ Ома — основнымъ закономъ электрическаго тока, дѣйствительнымъ для ка-

[1]) На реостатахъ C и D обозначено «× 100Ω» и «× 1Ω», а включено между кнопками соотв. по 1000 и по 10 омовъ. *Прим. ред.*

ждаго тока, гдѣ бы онъ ни появился и послѣ того, какъ мы разсмотрѣли основанные на этомъ законѣ способы измѣренія сопротивленій и электродвижущихъ силъ, напряженій и силъ токовъ, мы перейдемъ къ послѣдовательному разсмотрѣнію дѣйствій электрическаго тока. Электрическій токъ какъ въ самомъ пути, по которому проходитъ, такъ и въ окружающемъ его пространствѣ вызываетъ извѣстныя дѣйствія. Почти что каждое дѣйствіе, вызываемое электрическимъ токомъ, способно въ свою очередь, какъ мы увидимъ дальше, вызвать электрическій токъ, если мы соотвѣтственнымъ образомъ расположимъ опытъ.

ГЛАВА V.

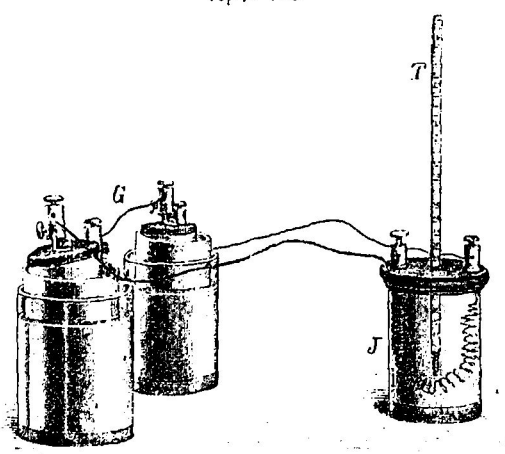
Тепловыя и свѣтовыя дѣйствія электрическаго тока. Термоэлектричество.

При прохожденіи электрическаго тока черезъ какіе-нибудь проводники, внутри нихъ происходятъ явленія, которыя могутъ быть весьма различны, смотря по природѣ проводниковъ, черезъ которые токъ проходитъ.

Сначала пропустимъ токъ отъ гальваническаго элемента только черезъ проводники перваго рода, т. е. черезъ металлы или угли, слѣдовательно не черезъ жидкости (исключая металлическую ртуть).

Главнѣйшее дѣйствіе электрическаго тока состоитъ въ томъ, что онъ нагрѣваетъ каждый такой проводникъ, каждый металлъ, каждый кусокъ угля, по которому онъ проходитъ. Въ этомъ легко можно убѣдиться и на опытѣ, свернувъ, какъ показано на черт. 101, тонкую проволоку, лучше всего изъ платины, въ видѣ спирали и погрузивъ ее въ наполненный спиртомъ сосудъ J, въ который опущенъ и термометръ T. Если соединить концы платиновой проволоки съ полюсами гальванической батареи G, то токъ пойдетъ по платиновой проволокѣ (но не черезъ алкоголь, такъ какъ алкоголь — изоляторъ), и проволока вслѣдствіе

Черт. 101.



этого нагрѣется. Эта теплота сообщается алкоголю, температура его повышается и ея повышеніе мы замѣчаемъ по термометру.

Теперь займемся нахожденіемъ законовъ этого выдѣленія тепла. Прежде всего мы замѣчаемъ, что чѣмъ дольше протекаетъ токъ по проволокѣ, тѣмъ высшую температуру показываетъ термометръ. Такимъ образомъ мы находимъ первый законъ: выдѣляемое токомъ количество теплоты тѣмъ больше, чѣмъ продолжительнѣе время дѣйствія. Въ 2, 3, 4 секунды токъ выдѣлитъ въ 2, 3, 4 раза больше тепла, чѣмъ въ одну секунду.

Эта теплота, вызываемая токомъ, образуется въ каждой отдѣльной части проволоки, и потому является второй вопросъ: Какая существуетъ зависимость между нагрѣваніемъ куска проволоки и его сопротивленіемъ? Опытъ показалъ, что одинъ и тотъ же токъ выдѣляетъ въ кускѣ проволоки тѣмъ больше теплоты, чѣмъ больше сопротивленіе этого куска проволоки. Замкнемъ, напримѣръ, гальваническую батарею чрезъ цѣпь, въ которую послѣдовательно введены двѣ проволочныя спирали, каждая въ сосудѣ съ алкоголемъ и термометромъ; если мы выберемъ обѣ спирали такъ, что онѣ имѣютъ неодинаковое сопротивленіе, такъ что первая, напримѣръ, имѣетъ въ 3 раза большее сопротивленіе, чѣмъ вторая, то термометры покажутъ намъ, что въ первой спирали образовалось въ 3 раза большее количество теплоты, чѣмъ во второй. Сила тока по всей цѣпи, слѣдовательно и въ обѣихъ спираляхъ, одна и та же; нагрѣваніе отдѣльныхъ проводниковъ зависитъ такимъ образомъ отъ ихъ сопротивленія, и оно тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше сопротивленіе.

Третій вопросъ слѣдующій: Какъ зависитъ нагрѣваніе, получаемое въ нѣкоторомъ опредѣленномъ кускѣ проволоки, отъ силы тока? Этотъ вопросъ легко разрѣшить при помощи того же прибора (черт. 101). Если пустить по спирали токъ сначала, положимъ, въ 1 амперъ, затѣмъ въ 2 ампера (выводя напримѣръ изъ цѣпи добавочное сопротивленіе посредствомъ реостата съ рычагомъ и усиливая такимъ образомъ величину тока), а затѣмъ пустить токъ въ 3 ампера, то кажется, что спираль тѣмъ сильнѣе нагрѣвается, чѣмъ больше сила тока, и что нагрѣваніе съ увеличеніемъ силы тока очень значительно возрастаетъ. Если вмѣсто 1 ампера взять 2 ампера, то нагрѣваніе будетъ въ 4 раза больше прежняго; если взять 3 ампера, то нагрѣваніе будетъ въ 9 разъ больше. Отсюда слѣдуетъ: если сила тока увеличивается вдвое, втрое, вчетверо, то при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ нагрѣваніе каждаго отдѣльнаго проводника увеличивается въ 4, 9, 16 разъ. Нагрѣваніе слѣдовательно пропорціонально квадрату силы тока.

Отъ этихъ трехъ величинъ—времени, сопротивленія проводника

и силы проходящаго тока—исключительно и зависитъ нагрѣваніе. Въ каждомъ проводникѣ количество теплоты, образующейся въ извѣстный промежутокъ времени, напр. въ 1 сек., равно сопротивленію проводника, умноженному на квадратъ силы тока.

Этотъ законъ выдѣленія теплоты отъ электрическаго тока былъ впервые данъ Джоулемъ. Поэтому его называютъ закономъ Джоуля, а выдѣляемую теплоту Джоулевой теплотой.

Выдѣляемое токомъ количество тепла совершенно не зависитъ отъ величины электродвижущей силы. Возьмемъ ли мы одинъ элементъ Даніэля, или батарею изъ десяти послѣдовательно соединенныхъ элементовъ, имѣющую въ десять разъ большую электродвижущую силу, выдѣляющееся количество тепла въ каждомъ отрѣзкѣ проводника останется одно и то же, если только (вводя сопротивленія) наблюдать за тѣмъ, чтобы сила проходящаго по проводнику тока была въ обоихъ случаяхъ одна и та же.

Слѣдуетъ твердо помнить то весьма важное обстоятельство, что нагрѣваніе въ отрѣзкѣ проводника помимо силы тока зависитъ только отъ сопротивленія этого отрѣзка. Въ обыкновенной цѣпи, по которой проходитъ токъ, всюду, какъ мы видѣли, сила тока одинакова. Но выдѣляющіяся въ равныхъ по длинѣ частяхъ проволоки количества тепла различны, если эти части имѣютъ различныя сопротивленія.

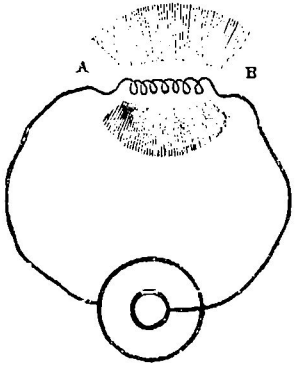
Теплота, непрерывно выдѣляющаяся въ каждомъ отрѣзкѣ цѣпи, непрерывно повышаетъ температуру этого отрѣзка. Если сила тока и сопротивленіе отрѣзка достаточно велики, то повышеніе температуры можетъ быть столь значительно, что эта часть проводника начнетъ накаливаться, начнетъ свѣтиться послѣдовательно краснымъ, желтымъ и бѣлымъ свѣтомъ, и наконецъ расплавится. Чѣмъ меньше масса этой части проводника, тѣмъ скорѣе повысится ея температура отъ выдѣлившагося количества тепла, потому что послѣднее въ этомъ случаѣ распредѣляется по небольшому количеству вещества. Поэтому, чѣмъ тоньше проволока и чѣмъ больше ея сопротивленіе, тѣмъ скорѣе она будетъ накаливаться.

Такимъ образомъ, при помощи электрическаго тока можно очень легко вызвать накаливаніе проволоки. Для этого соединяютъ, напримѣръ, послѣдовательно три бунзеновскихъ элемента и замыкаютъ ихъ полюсы какой-нибудь проволокой, въ которую въ одномъ мѣстѣ введенъ не очень длинный отрѣзокъ другой, очень тонкой, напр., платиновой проволоки (черт. 102), свернутой лучше всего въ видѣ спирали. Въ толстыхъ проволокахъ возбуждаемое токомъ тепло не велико и не достаточно, чтобы заставить ихъ накалиться. Напротивъ, въ тонкой платиновой проволокѣ AB сопротивленіе, а слѣдовательно

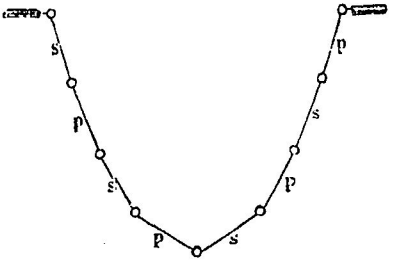
и выдѣляющаяся теплота очень значительны, и ея выдѣляется достаточно для того, чтобы привести эту проволоку въ состояніе яркаго бѣлаго каленія.

Очень сильнымъ токомъ можно заставить расплавиться толстые мѣдные стержни, даже мѣдныя штанги, что, напримѣръ, произошло совсѣмъ неожиданно при первоначальномъ устройствѣ центральныхъ электрическихъ станцій въ Нью-Іоркѣ.

Черт. 102.



Черт. 103.

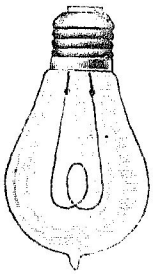


Зависимость между образующейся теплотой и сопротивленіемъ проволоки можно ясно обнаружить на слѣдующемъ опытѣ. Какъ мы видѣли выше на стр. 89, удѣльное сопротивленіе платины больше, чѣмъ удѣльное сопротивленіе серебра. Если, поэтому, пропустить токъ по цѣлому ряду одинаково длинныхъ и одинаково толстыхъ платиновыхъ отрѣзковъ *p* и серебряныхъ отрѣзковъ *s*, какъ изображено на черт. 103, то сопротивленіе, а слѣдовательно, и нагрѣваніе каждаго платиноваго отрѣзка будетъ больше, чѣмъ сопротивленіе и нагрѣваніе каждаго серебрянаго отрѣзка. Итакъ, пустивъ соотвѣтственной силы токъ, можно заставить накалиться платиновыя проволоки, между тѣмъ какъ серебряныя проволоки останутся темными. Подобные опыты можно разнообразно видоизмѣнять.

Этимъ свойствомъ электрическаго тока нагрѣвать свою цѣпь и приводить отдѣльныя части ея въ состояніе накаливанія пользуются въ обширныхъ размѣрахъ. На этомъ свойствѣ основанъ гальванический способъ выжиганія въ медицинѣ; имъ пользуются также для воспламененія взрывчатыхъ веществъ. Въ послѣднее время начинаютъ пользоваться этимъ свойствомъ для отопленія и варки пищи, о чемъ подробно будетъ говориться во второмъ отдѣлѣ; наконецъ это свойство тока нашло важнѣйшее примѣненіе, благодаря изобрѣтенію Эдисона, въ освѣщеніи жилыхъ помѣщеній.

Электрическія лампы, основанныя на этомъ принципѣ, или, какъ ихъ называютъ «лампочки накаливанія», бываютъ съ угольными или металлическими нитями. Перваго рода лампочки имѣютъ нить изъ тонкой угольной нити, которой придана форма подковы; нити же лампочекъ второго рода сдѣланы изъ тонкой металлической проволоки—теперь обыкновенно ихъ дѣлаютъ изъ вольфрама,—протянутой нѣсколькими зигзагами взадъ и впередъ. Электрическій токъ, проходя по этимъ нитямъ, накаливаетъ ихъ. Въ обоихъ сортахъ лампочекъ нити находятся въ стекляннномъ колпачкѣ, изъ котораго выкачанъ воздухъ. На черт. 104 изображена лампочка съ угольными нитями, а на черт. 105—лампочка съ металлическими нитями (лампа Осрамъ). Эти тонкія нити имѣютъ очень большое сопротивленіе и потому проходящій черезъ нихъ токъ приводитъ ихъ въ состояніе яркаго каленія. Чтобы имѣть возможность пропускать черезъ нити токъ, одинъ изъ ихъ концовъ соединяется съ металлической оправой съ винтообразною поверхностью, находящейся внизу стекляннаго колпачка, другой же конецъ — съ металлическимъ дномъ колпачка, изолированнымъ отъ оправы. Лампочки накаливанія вставляются въ соотвѣтствующіе патроны, два вида которыхъ изображены на черт. 106. Они состоятъ изъ подходящей къ оправѣ лампы металлической гайки и изолированной отъ нея находящейся на днѣ гайки металлической пластинки. Дно и металлическая нарѣзка патрона соединены съ проводами, идущими отъ источника тока. Когда лампочка вполнѣ ввинчена и ея дно находится въ прикосновеніи съ дномъ патрона, то токъ проходитъ черезъ лампочку; при малѣйшемъ же вывинчиваніи лампочки изъ патрона токъ прерывается. Обыкновенно лампочки накаливанія употребляются тамъ, гдѣ имѣется токъ отъ центральной электрической станціи или отъ собственной электрической машины. Токъ, доставляемый электрической центральной станціей или машиной, въ большинствѣ случаевъ имѣетъ напряженіе въ 110 вольтъ. Къ двумъ проводамъ такого тока, имѣющимъ напряженіе въ 110 вольтъ, всѣ лампы накаливанія присоединяются параллельно. Въ такомъ, наиболѣе часто встрѣчающемся случаѣ, лампы съ угольными нитями въ 16 свѣчей—обыкновенно употребляющіеся на практикѣ—получаютъ токъ, силою около 0,45 ампера, а лампы въ 25 свѣчей — приблизительно въ 0,65 ампера. Лампы накаливанія съ металлическими нитями поглощаютъ

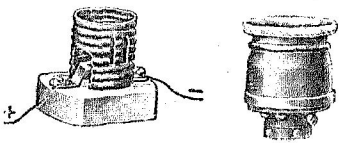
Черт. 104.



Черт. 105.



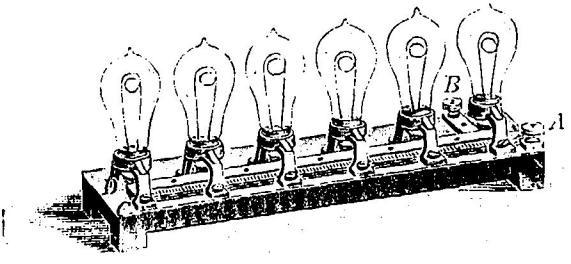
Черт. 106.



токъ меньшей силы, а именно 25-ти свѣчевыя лампы лишь около 0,27 ампера.

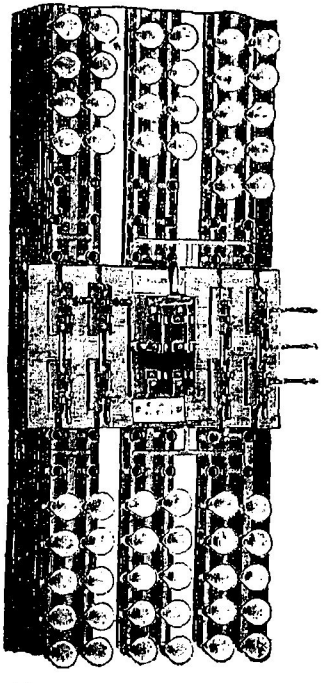
Изъ этихъ данныхъ легко сейчасъ же вычислить, какъ велико сопротивленіе этихъ лампочекъ, когда онѣ горятъ. Сопротивленіе, по закону Ома, должно быть равно напряженію въ 110 вольтъ, дѣленному на силу проходящаго тока. Такимъ образомъ получается, что сопротивленіе лампочки съ угольными нитями въ 16 свѣчей равно 275 омамъ, въ 25 свѣчей—170 омамъ, а осрамовой лампочки въ 25 свѣчей — 400 омамъ.

Черт. 107.



Подробности относительно лампочекъ накаливанія будутъ изложены въ главѣ VI второго отдѣла настоящаго сочиненія. Здѣсь же мы опишемъ лишь одно примѣненіе этихъ лампочекъ для физическихъ работъ. Вслѣдствіе того, что лампы накаливанія дешевы, имѣютъ большія сопротивленія и выдерживаютъ сравнительно сильные токи, ими можно воспользоваться при устройствѣ реостатовъ для токовъ большой силы; такіе реостаты, сдѣланные изъ проволокъ, были бы очень дороги. Одинъ изъ такихъ реостатовъ съ лампами накаливанія изображенъ на черт. 107. Между двумя металлическими полосами AC и BD параллельно включены вмѣстѣ съ патронами 6 лампъ накаливанія. Такъ какъ каждая лампа имѣетъ сопротивленіе въ 270 омъ, то сопротивленіе ихъ, когда включены всѣ лампы, равно 45 омамъ. При обыкновенномъ горѣніи каждая лампа употребляетъ 0,45 ампера; поэтому при параллельномъ соединеніи и напряженіи въ 110 вольтъ, черезъ полосы и провода можно пропускать токъ въ 2,7 ампера. Вывинчивая одну или нѣсколько лампъ изъ ихъ патроновъ, можно увеличить сопротивленіе и тѣмъ самымъ уменьшить силу проходящаго тока. Другой типъ ламповаго реостата, большей величины (Сименса и Гальске), изображенъ на черт. 108. Онъ имѣетъ 3 двойныхъ

Черт. 108.



ряда лампъ накаливанія; лампы каждаго ряда включены параллельно, тогда какъ сами ряды могутъ быть, по желанію, включены послѣдовательно или параллельно. Посерединѣ реостата помѣщены необходимые выключатели и переключатели.

Тотъ фактъ, что токъ нагрѣваетъ свой собственный путь, непосредственно слѣдуетъ и изъ принципа сохраненія энергіи — наиболѣе общаго закона физики; изъ этого принципа можно даже непосредственно вывести законъ Джоуля. Дѣйствительно, изъ закона сохраненія энергіи слѣдуетъ, что при всѣхъ возможныхъ физическихъ явленіяхъ работа (или общѣе: энергія; подъ этимъ словомъ подразумѣвается работа въ какой угодно формѣ) не можетъ быть ни создана, ни уничтожена. Возникновеніе нѣкотораго физическаго явленія требуетъ опредѣленной затраты работы, а слѣдовательно исчезновеніе этого явленія должно освободить такое же количество работы. Въ электрическомъ токѣ разноименныя электричества, непрерывно текущія отъ цинковаго полюса къ мѣдному и отъ мѣднаго къ цинковому, непрерывно другъ съ другомъ соединяются. Вслѣдствіе того, что для полученія электричества или, лучше сказать, для раздѣленія электричествъ нужно затратить работу, естественно, что соединеніе ихъ должно непрерывно сопровождаться выдѣленіемъ работы.

Если токъ въ дѣйствительности не производитъ въ цѣпи настоящей механической работы (а мы дальше увидимъ, что въ случаѣ надобности мы можемъ примѣнить его и для этой цѣли), то полное количество освободившейся работы превращается въ тепло. Въ этомъ то и заключается наиболѣе глубокая физическая причина выдѣленія Джоулевой теплоты. Мы можемъ однако, исходя изъ принципа сохраненія энергіи, непосредственно вывести и самый законъ Джоуля. На стр. мы опредѣлили разность напряженій въ вольтахъ, какъ работу, которую производятъ электрическія силы, чтобы перевести 1 кулонъ электричества отъ мѣста съ большимъ къ мѣсту съ меньшимъ напряженіемъ. Если переводится не 1, а 5 кулоновъ электричества съ проводника, имѣющаго напряженіе въ 6 вольтъ, на другой проводникъ, съ напряженіемъ въ 2 вольта, то при этомъ освобождается работа въ $5 \times (6 - 2) = 20$ вольтъ-кулоновъ или въ $\frac{20}{9{,}81}$ килограммометровъ, т. к. 1 вольтъ $\times$ 1 кулонъ $= \frac{1}{9{,}81}$ килограммометрамъ (стр. 17). Мы видимъ такимъ образомъ, что умножаются не только числа другъ на друга, но и наименованія. Одинъ вольтъ—кулонъ есть нѣкоторая опредѣленная работа, а именно она равна 10^7 эрг. $= \frac{1}{9{,}81}$ кгм. Вообще, когда нѣкоторое опредѣленное число кулоновъ падаетъ отъ болѣе высокаго напряженія къ болѣе низкому, и напряженія измѣряются въ вольтахъ, то освобождающаяся при этомъ работа равна:

число кулоновъ ( ) разность напряженій въ вольтахъ.
(Наименованіе : вольтъ-кулоны).

Въ каждомъ отрѣзкѣ проволоки, по которой идетъ электрическій токъ, положительное электричество течетъ непрерывно отъ мѣстъ высшаго напряженія къ мѣстамъ низшаго, и разность напряженій въ этомъ случаѣ какъ разъ равна потерѣ напряженія въ этомъ отрѣзкѣ. Здѣсь всегда, слѣдовательно, выдѣляется работа. Въ каждую секунду протекаетъ при этомъ нѣкоторое количество электричества; но количество кулоновъ, протекающихъ въ одну секунду, мы вѣдь назвали силою тока и условились измѣрять въ амперахъ. Поэтому количество работы, которое выдѣляетъ токъ въ каждую секунду въ нѣкоторомъ отрѣзкѣ проволоки, равно:

потеря напряженія въ вольтахъ × сила тока въ амперахъ.

Количество работы, производимое какимъ-либо механизмомъ въ каждую секунду, называютъ мощностью этого механизма. Цѣпь электрическаго тока въ каждой части своей обладаетъ, слѣдовательно, тоже извѣстной мощностью, и мы можемъ сказать, если мы снова перемножимъ и наименованія, что мощность отрѣзка цѣпи равна:

потеря напряженія × сила тока (вольтъ-амперы).

Величину мощности измѣряютъ обыкновенно въ ваттахъ, причемъ 1 ваттъ есть та мощность, при которой въ каждую секунду производится работа въ $\frac{1}{9{,}81}$ килограммометра. Одинъ ваттъ равенъ, слѣдовательно, какъ разъ 1 вольтъ-амперу, а слѣдовательно нашъ отрѣзокъ цѣпи обладаетъ мощностью равною:

потеря напряженія × сила тока. (Наименованіе : ватты).

Вмѣсто этого выраженія для мощности отрѣзка цѣпи можно вывести иное. Такъ какъ потеря напряженія въ отрѣзкѣ проводника равна произведенію силы тока въ амперахъ на его сопротивленіе въ омахъ, то мощность равна также:

квадратъ силы тока × сопротивленіе. (Наименованіе : ватты).

Такимъ образомъ вся мощность цѣпи превращается въ тепло; въ каждую секунду при опредѣленной мощности образуется опредѣленное количество теплоты. Количество выдѣляющейся въ отрѣзкѣ проволоки за 1 секунду теплоты равно потерѣ напряженія въ этомъ отрѣзкѣ, умноженной на силу тока или, что то же самое, равно

квадратъ силы тока × сопротивленіе отрѣзка проволоки.

Это и есть законъ Джоуля, выведенный теперь уже изъ принципа сохраненія энергіи.

Для большихъ мощностей принимаютъ за единицу 1 киловаттъ, равный 1000 ваттовъ, такъ что мощность нашего отрѣзка равна также:

$$\frac{\text{потеря напряженія} \times \text{сила тока}}{1000} \text{ киловаттовъ.}$$

Въ техникѣ мощность машинъ обыкновенно выражается въ лошадиныхъ силахъ. Подъ одною лошадиною силою (л. с.) разумѣютъ такую мощность, при которой въ одну секунду совершается 75 кгм. работы. Такъ какъ 1 киловаттъ есть мощность, при которой въ 1 секунду совершается количество работы, равное $\frac{1000}{9,81} = 102$ кгм., то, слѣдовательно, 1 киловаттъ равенъ 1,36 л. с., и такимъ образомъ мощность нѣкотораго отрѣзка цѣпи легко можетъ быть выражена въ лошадиныхъ силахъ. Напр., если по проволокѣ идетъ токъ силою въ 20 амперъ и на концахъ ея поддерживается разность напряженій въ 150 вольтъ, то электрическая мощность этой части цѣпи равна:

$$20 \times 150 = 3000 \text{ ваттъ} = 3 \text{ киловатта} = 4,08 \text{ л. с.}$$

Въ каждую секунду токъ выдѣляетъ въ каждой части цѣпи нѣкоторое опредѣленное количество работы и во всей цѣпи—сумму всѣхъ этихъ отдѣльныхъ количествъ работы. Очевидно, гдѣ-либо въ цѣпи должно затрачиваться такое же по величинѣ количество работы и дальше мы увидимъ, что эта работа получается въ гальваническихъ элементахъ на счетъ силъ химическаго взаимодѣйствія.

Джоулева теплота, очевидно, всегда одна и та же, въ какомъ бы направленіи ни проходилъ токъ черезъ проводникъ. Поэтому, если мы хотимъ накалить проволоку, то совершенно безразлично, въ какомъ направленіи мы пустимъ токъ по проволокѣ.

Въ 1821 году англійскій физикъ Дэви замѣтилъ чрезвычайно интересное и блестящее явленіе, происходящее отъ выдѣленія Джоулевой теплоты. Онъ соединилъ полюсы очень сильной гальванической батареи съ двумя палочками изъ угля такъ, что черезъ нихъ могъ пройти сильный электрическій токъ. Но когда онъ затѣмъ понемногу развелъ концы обоихъ углей, такъ что токъ собственно долженъ былъ бы прерваться, то между углями появился чрезвычайно яркій свѣтъ. Концы углей раскалились добѣла, а воздухъ между ними свѣтился синеватымъ блескомъ; токъ же не прерывался и продолжалъ идти [1]).

Это явленіе называютъ электрической дугой, вольтовой дугой или дугой Дэви, и самое освѣщеніе этимъ способомъ поэтому называютъ дуговымъ. Это явленіе объясняется тѣмъ, что угли, пока они еще соприкасаются, накаливаются токомъ въ мѣстѣ соприкосновенія и, когда затѣмъ ихъ раздвигаютъ, они начинаютъ распыляться, т. е. промежутокъ между углями заполняется отдѣляющимися отъ нихъ частицами угля, которыя и способствуютъ прохо-

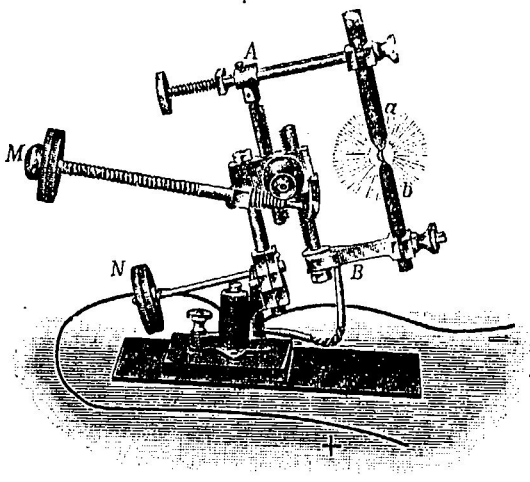
[1]) Явленіе вольтовой дуги было открыто русскимъ физикомъ Петровымъ еще въ 1802 году. Къ сожалѣнію, открытіе это было опубликовано Петровымъ только на русскомъ языкѣ. *В. М. (2-е изд.).*

жденію электрическаго тока. Однако этотъ слой паровъ угля представляетъ для тока значительное сопротивленіе. Вслѣдствіе этого, съ одной стороны, между углями должна быть достаточно большая разность напряженій, чтобы преодолѣвать это сопротивленіе, а, съ другой,—это преодолѣваніе большого сопротивленія необходимо сопровождается выдѣленіемъ тепла, притомъ настолько сильнымъ, что воздухъ и концы проводниковъ, между которыми онъ находится, накаливаются.

Явленіе, вслѣдствіе котораго возникаетъ электрическая дуга, чрезвычайно сложно; на немъ мы подробно остановимся въ главѣ XII. Проводники, между которыми появляется дуга, называютъ электродами. Чѣмъ легче распыляется вещество электродовъ, тѣмъ легче возникаетъ вольтова дуга, если на электродахъ имѣется высокое напряженіе, напр. вольтъ 30 – 60.

Очень хорошо можно наблюдать эти явленія на электродахъ изъ цинка, желѣза или ртути. Но это явленіе особенно красиво, если пропустить токъ черезъ воздухъ между углями. Для того, чтобы между электродами образовалась дуга, ихъ сначала надо приблизить другъ къ другу до соприкосновенія, и лишь послѣ этого раздвинуть. На черт. 109 показано приспособленіе для удобнаго полученія дуги. Знаками + и — обозначены провода, идущіе отъ батареи гальваническихъ элементовъ; токъ проходитъ черезъ металлическія оправы A и B къ неподвижнымъ углямъ a и b; послѣдніе сначала находятся въ соприкосновеніи, для того, чтобы токъ могъ вообще пройти, а затѣмъ раздвигаются вращеніемъ ручки M и устанавливаются на незначительномъ разстояніи другъ отъ друга, такъ чтобы между ними находился тонкій слой воздуха. Если напряженіе на концахъ углей достаточно велико, то между ними проходитъ токъ и образуется дуга, какъ это показано на чертежѣ.

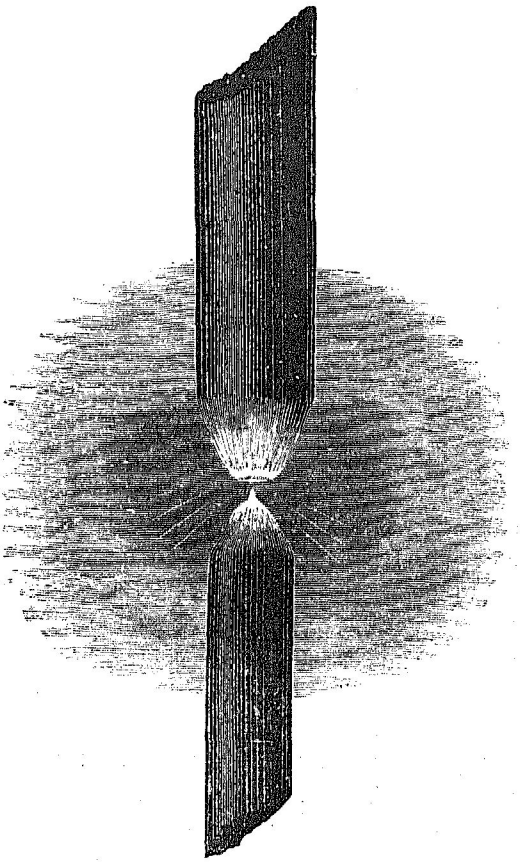
Черт. 109.



Отъ концовъ углей, особенно отъ того, который соединенъ съ положительнымъ полюсомъ батареи, летятъ раскаленныя частицы на конецъ другого угля. Если оба конца были сначала заострены, то вскорѣ остріе положительнаго угля исчезаетъ и на мѣстѣ его образуется кратеръ, отъ котораго частички перелетаютъ къ отрицатель-

ному углю. Отрицательный уголь остается заостреннымъ. Послѣ того какъ дуга держалась нѣкоторое время, концы углей выглядятъ такъ, какъ изображено на черт. 110. Температура накаленныхъ добѣла концовъ углей очень высока. Положительный уголь, на которомъ находится кратеръ, имѣетъ температуру около 3700°, отрицательный заостренный — около 2500° Цельсія. Понятно, что отъ нагрѣванія оба угля обгораютъ; уголь при столь высокой температурѣ соединяется съ кислородомъ воздуха, образуя окись углерода и углекислоту. Вслѣдствіе того, что отъ положительнаго угля отлетаетъ кромѣ того множество частицъ, положительный уголь обгораетъ, какъ показалъ опытъ, приблизительно вдвое скорѣе, чѣмъ отрицательный. Отъ обгоранія углей разстояніе между ними и промежуточный слой воздуха все увеличивается и дуга тухнетъ, если угли не приближать другъ къ другу по мѣрѣ того, какъ они обгораютъ. Это, конечно, можно дѣлать нѣкоторое время и просто отъ руки. Но для того, чтобы можно было поддерживать дугу въ теченіе болѣе продолжительнаго времени, слѣдуетъ позаботиться о томъ, чтобы угли обгорая, приближались другъ къ другу сами собой. Для этой цѣли придумано много болѣе или менѣе удачныхъ приспособленій, и во второй части этой книги, въ главѣ V, мы остановимся на главнѣйшихъ ихъ типахъ, на электрическихъ дуговыхъ лампахъ или такъ называемыхъ регуляторахъ.

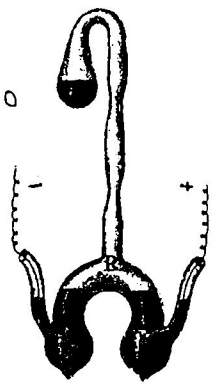
Черт. 110.



Свѣтъ электрической дуги значительно превосходитъ по силѣ и яркости всѣ источники свѣта, которые до сихъ поръ были изобрѣтены. Поэтому онъ обыкновенно примѣняется для освѣщенія городовъ, ихъ улицъ и площадей.

Выше было разъяснено, что дугу можно получить не только между углями, но и между другими проводниками. Для физическихъ, главнымъ образомъ оптическихъ изслѣдованій оказалось весьма важной вольтова дуга между ртутными электродами. Она легко получается при помощи ртутной дуговой лампы Аронса, изображенной на черт. 111, въ которой дуга образуется въ пустотѣ, что является очень важнымъ для практическихъ цѣлей. Вся лампа дѣлается изъ стекла или кварца, которому теперь научились придавать желаемыя формы. Ртуть помѣщается внизу въ двухъ отросткахъ, въ которые вводятся платиновыя проволоки черезъ боковыя трубочки. Онѣ служатъ для соединенія этой лампы съ батареей, имѣющей напряженіе минимумъ въ 60 вольтъ. Сначала ртутные электроды не соприкасаются. Медленно наклоняя лампу, переливаютъ немного ртути изъ одного колѣна въ другое и, какъ только первоначально раздѣленныя части ртути соприкасаются между собой, проходитъ токъ; когда токъ замкнется, лампу приводятъ въ вертикальное положеніе, и въ пространствѣ R надъ ртутными электродами возникаетъ вольтова дуга, которая свѣтится яркимъ зеленоватымъ свѣтомъ; эта дуга можетъ поддерживаться въ теченіе продолжительнаго времени. Если изслѣдовать составъ ея свѣта при помощи спектроскопа, то въ немъ видны яркія зеленыя, желтыя и фіолетовыя ртутныя линіи. Этотъ свѣтъ содержитъ особенно много ультрафіолетовыхъ лучей и, чтобы они сильно не поглощались стекломъ, теперь дѣлаютъ такія лампы (нѣсколько иной формы) изъ кварца; послѣднія имѣютъ за собой еще то преимущество, что онѣ не бьются. Ртутныя лампы нашли обширное примѣненіе для практическихъ цѣлей; во второмъ отдѣлѣ, въ главѣ V, мы познакомимся съ ихъ конструкціей.

Черт. 111.



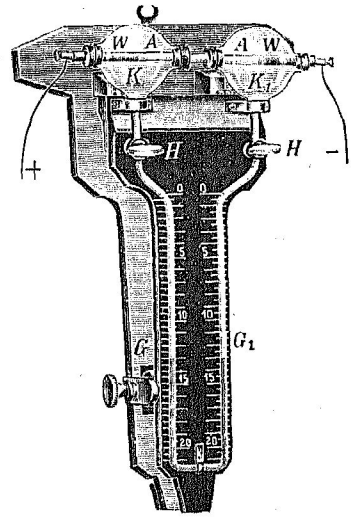
Мы видѣли, что въ каждой отдѣльной части цѣпи возникаетъ Джоулева теплота, эквивалентная по количеству тому количеству работы, которое освобождается въ этой части цѣпи; однако, кромѣ этихъ тепловыхъ дѣйствій токъ вызываетъ въ цѣпи еще и нѣкоторыя другія тепловыя явленія.

Если проволока, замыкающая гальваническій элементъ, состоитъ не изъ одного металла, а изъ двухъ различныхъ спаянныхъ или крѣпко соединенныхъ между собою металловъ, напр., изъ мѣди и желѣза, то въ мѣстѣ спая образуется особенное проявленіе теплоты. На мѣстѣ спая, смотря по направленію, въ которомъ проходитъ токъ по этому мѣсту, происходитъ нагрѣваніе или охлажденіе. Это дѣйствіе проявляется особенно сильно, если пропустить токъ по стержню,

составленному изъ висмута и сурьмы. Когда токъ идетъ отъ висмута къ сурьмѣ, мѣсто спая охлаждается; если же токъ проходитъ отъ сурьмы къ висмуту, то мѣсто спая нагрѣвается.

Для нагляднаго демонстрированія этого теплового явленія, которое всегда бываетъ очень слабымъ, пользуются приборомъ, изготовляемымъ Эрнекке въ Берлинѣ (черт. 112). Сурьмяной стерженекъ AA, къ которому съ обоихъ концовъ припаяны небольшіе стерженьки изъ висмута W, при помощи каучуковыхъ пробокъ, помѣщается въ шары K и K_1 такимъ образомъ, чтобы одно мѣсто спая WA находилось въ одномъ шарѣ, а другое AW — въ другомъ. Шары эти соединены другъ съ другомъ при помощи U-образной трубки, въ мѣстѣ сгиба которой находится вода. Если черезъ проволоки + и — и приборъ пропустить токъ (напр. отъ аккумулятора) слѣва направо, то въ K произойдетъ охлажденіе, а въ K_1 нагрѣваніе. Вслѣдствіе этого воздухъ въ K_1 расширится, а въ K сожмется и, если при этомъ краны HH открыты, то вода въ G_1 опустится, а въ G поднимется.

Черт. 112.



Это дѣйствіе тока называютъ по имени открывшаго его ученаго Пельтье явленіемъ Пельтье, и возникшую положительную и отрицательную теплоту называютъ теплотой Пельтье. Теплота Пельтье въ нашемъ примѣрѣ положительна, т. е. получается дѣйствительное нагрѣваніе, когда токъ идетъ отъ сурьмы къ висмуту, и отрицательна, т. е. происходитъ охлажденіе, когда токъ идетъ отъ висмута къ сурьмѣ.

Теплота Пельтье образуется какъ между висмутомъ и сурьмой, такъ и между каждыми двумя спаянными между собой металлами, когда черезъ нихъ пропущенъ токъ. Конечно, напередъ нельзя знать, въ какомъ направленіи долженъ идти токъ, чтобы мѣсто спая охладилось. Это зависитъ отъ природы спаянныхъ металловъ. Но опытъ показалъ, что когда висмутъ спаянъ съ другими металлами, сурьмой, желѣзомъ, серебромъ, мѣдью, золотомъ и т. д., то мѣсто спая охлаждается въ томъ случаѣ, когда положительный токъ идетъ отъ висмута черезъ мѣсто спая къ другимъ металламъ. Вообще всѣ металлы можно размѣстить въ такой рядъ, что мѣсто спая всегда будетъ охлаждаться, если токъ идетъ отъ металла, находящагося ближе къ началу ряда, къ металлу, занимающему мѣсто ближе къ концу ряда. Въ слѣдующемъ спискѣ нѣсколько металловъ расположены въ та-

кой рядъ. Его называютъ термоэлектрическимъ рядомъ напряженій.

Термоэлектрическій рядъ.

Висмутъ	Свинецъ
Ртуть	Цинкъ
Платина	Серебро
Золото	Желѣзо
Мѣдь	Сурьма.
Олово	

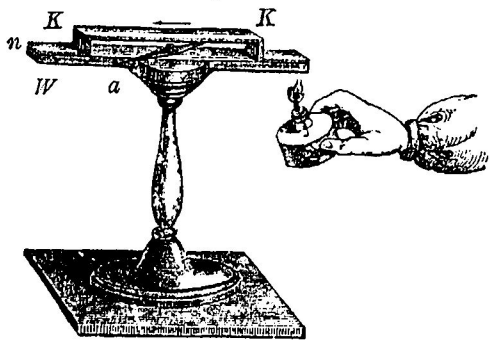
Нужно узнать, напримѣръ, въ какомъ направленіи надо пустить токъ по стержню, спаянному изъ желѣза и мѣди, чтобы мѣсто спая охладилось; изъ вышеприведеннаго ряда видно, что токъ слѣдуетъ пропустить отъ мѣди чрезъ мѣсто спая къ желѣзу, такъ какъ мѣдь въ этомъ ряду стоитъ передъ желѣзомъ. Если же пустить токъ въ обратномъ направленіи, то мѣсто спая нагрѣется.

Въ этомъ явленіи Пельтье мы встрѣчаемся въ первый разъ съ примѣромъ обратимости электрическихъ явленій. Дѣйствительно:

Подобно тому, какъ электрическій токъ, смотря по своему направленію, вызываетъ особенное нагрѣваніе или охлажденіе на мѣстѣ спая двухъ металловъ, точно также и наоборотъ внѣшнее нагрѣваніе или охлажденіе мѣста спая двухъ соединенныхъ въ замкнутую цѣпь металловъ вызываетъ электрическій токъ.

Это можно легко показать на опытѣ. На черт. 113 WW изображаетъ кусокъ висмута, къ которому припаяна (въ m и n) изогнутая мѣдная пластинка KK. Въ пространствѣ между двумя металлами помѣщена вращающаяся на оси магнитная стрѣлка a, въ видѣ гальваноскопа. Какъ только мы нагрѣемъ одинъ изъ спаевъ, напримѣръ n, сейчасъ же получится электрическій токъ, присутствіе котораго замѣтно будетъ изъ того, что онъ отклонитъ магнитную стрѣлку. Токъ идетъ по совершенно замкнутой металлической цѣпи и имѣетъ направленіе, показанное стрѣлкой, т. е. отъ висмута по нагрѣтому мѣсту спая къ мѣди и отъ нея черезъ ненагрѣтый спай назадъ. Такимъ же образомъ возникаетъ токъ, когда одинъ изъ спаевъ, напримѣръ n, охлаждаютъ болѣе, чѣмъ другой, окружая

Черт. 113.



его, напримѣръ, льдомъ. Тогда, однако, положительный токъ въ *n* идетъ въ обратномъ направленіи, а именно: отъ мѣди черезъ холодный спай къ висмуту и далѣе черезъ болѣе теплый спай *m* отъ висмута къ мѣди. Эти токи называютъ термоэлектрическими токами. Они были открыты Зеебекомъ въ 1823 году. Итакъ, мы имѣемъ здѣсь дѣло съ электрическими токами, которые образуются не въ гальваническихъ элементахъ, а возникаютъ отъ непосредственнаго дѣйствія тепла. Стоитъ только спаять два какихъ-либо различныхъ металла въ замкнутую цѣпь, и одно мѣсто спая нагрѣть болѣе другого, какъ въ этой цѣпи получится электрическій токъ, направленіе котораго зависитъ отъ природы металловъ. При нашей комбинаціи изъ висмута и мѣди положительный токъ идетъ всегда отъ висмута къ мѣди по нагрѣтому мѣсту спая, и отъ мѣди къ висмуту по болѣе холодному мѣсту. При всѣхъ другихъ комбинаціяхъ произвольныхъ двухъ металловъ направленіе термоэлектрическаго тока зависитъ только отъ природы обоихъ металловъ. Если всѣ металлы нашего ряда испытать относительно ихъ термоэлектрическихъ свойствъ, то изъ нихъ снова можно составить рядъ такъ, чтобы (положительный) токъ всегда проходилъ отъ предыдущаго къ послѣдующему металлу по нагрѣтому мѣсту спая. Такой рядъ совершенно совпадетъ съ вышеприведеннымъ термоэлектрическимъ рядомъ:

висмутъ, ртуть, платина, золото, мѣдь, олово, свинецъ,
цинкъ, серебро, желѣзо, сурьма.

Висмутъ и сурьма отстоятъ другъ отъ друга дальше другихъ въ ряду. Слѣдовательно, комбинація ихъ даетъ самые сильные термоэлектрическіе токи.

Два, соединенные другъ съ другомъ, металла, мѣста соприкосновенія которыхъ находятся при различныхъ температурахъ, называются термоэлементомъ.

Для того, чтобы имѣть возможность вводить въ термоэлементъ какія угодно сопротивленія и пропускать получающійся отъ него токъ черезъ любые приборы, одну изъ проволокъ термоэлемента разрѣзаютъ и ея свободные концы присоединяютъ къ внѣшней цѣпи.

Въ случаѣ термоэлемента, какъ и въ случаѣ гальваническаго элемента, возникаетъ вопросъ объ его электродвижущей силѣ и внутреннемъ сопротивленіи.

Электродвижущая сила термоэлемента зависитъ, конечно, отъ природы обоихъ соединенныхъ между собою металловъ, но главнымъ образомъ она зависитъ отъ разницы температуръ обоихъ мѣстъ спая. Чѣмъ больше разница температуръ въ мѣстахъ обоихъ спаевъ, тѣмъ больше электродвижущая сила термоэлемента. Однако этотъ законъ справедливъ не при всѣхъ температурахъ. При болѣе высокихъ тем-

пературахъ часто мѣняется частичное строеніе (структура) металла и вслѣдствіе этого электродвижущая сила при достаточно большомъ увеличеніи разности температуръ спаевъ можетъ не увеличиваться, а наоборотъ уменьшаться.

Внутреннее сопротивленіе термоэлемента въ общемъ очень незначительно, такъ какъ элементъ состоитъ исключительно изъ хорошо проводящихъ металловъ.

Что же касается величины электродвижущихъ силъ въ термоэлементахъ, то она остается постоянной только тогда, когда въ обоихъ мѣстахъ спая элементовъ поддерживаютъ постоянную, не измѣняющуюся температуру. Для этого одинъ спай помѣщаютъ, напр., въ тающій снѣгъ, гдѣ онъ принимаетъ температуру 0°, а другой въ кипящую воду, гдѣ онъ пріобрѣтаетъ температуру 100°.

Электродвижущія силы металлическихъ термоэлементовъ представляютъ собой лишь небольшія доли вольта. Будемъ выражать ихъ въ милливольтахъ, т. е. тысячныхъ доляхъ вольта. Электродвижущая сила термоэлемента можетъ быть иногда весьма различна въ зависимости отъ чистоты металловъ: она зависитъ также и отъ того, напр., протянутъ ли данный металлическій стержень или кованъ. Ниже приводимъ электродвижущія силы цѣлаго ряда комбинацій различныхъ металловъ со ртутью, когда разность температуръ спаевъ равна 100°. Знакъ (+) указываетъ, что токъ въ данной комбинаціи идетъ черезъ нагрѣтый спай отъ ртути къ другому металлу, знакъ (—), что онъ идетъ чрезъ нагрѣтый спай отъ другого металла ко ртути.

Электродв. силы въ милливольтахъ (между 0° и 100°).

Ртуть-висмутъ	— 6,70	Ртуть-мѣдь (чистая)	+ 0,72
» никель	— 1,66	» золото	+ 0,71
» нейзильберъ	— 1,08	» желѣзо	+ 1,60 до 1,73
» платина	+0,004 до +0,59	„ сурьма	+ 3,38
» алюминій	+ 0,36		

Для термоэлектрическихъ силъ можно высказать такъ называемый законъ термоэлектрическаго ряда: Если A и B два различныхъ металла, и если электродвижущую силу между этими двумя металлами обозначимъ чрезъ A | B, то

$$\text{ртуть} \mid A + A \mid B = \text{ртуть} \mid B.$$

На основаніи этого закона можно вычислить по даннымъ выше числамъ электродвижущую силу для всякой пары металловъ. Дѣйствительно:

$$A \mid B = \text{ртуть} \mid B - \text{ртуть} \mid A.$$

Если мы въ качествѣ металла A возьмемъ, напр., нейзильберъ, а въ качествѣ металла B—желѣзо, то

нейзильберъ | желѣзо = ртуть | желѣзо—ртуть | нейзильберъ
= + 1,60 + 1,08
= + 2,68 милливольта.

Знакъ (+) указываетъ, что токъ идетъ чрезъ нагрѣтый спай отъ нейзильбера къ желѣзу.

Вышеупомянутая комбинація висмутъ | мѣдь имѣетъ, какъ легко разсчитать, электродвижущую силу въ 7,42 милливольта; комбинація же висмутъ | сурьма даже 10,08 милливольта.

Другія комбинаціи металловъ, часто употребляющіяся на практикѣ, имѣютъ слѣдующія электродвижущія силы, выраженныя въ милливольтахъ при разности температуръ въ 100°:

Висмутъ—сурьма	10,1
Константанъ—желѣзо	5,3
Патентованный никкель—желѣзо	4,5
Константанъ—мѣдь	4,0
Константанъ—серебро	3,7
Никкель—желѣзо	3,2
Патентованный никкель—платина	2,8
Нейзильберъ—желѣзо	2,7
Никкель—мѣдь	2,2
Платина—желѣзо	1,7
Родистая платина—платина	0,8

Значительно большія термоэлектрическія силы можно получить, если привести въ соприкосновеніе другъ съ другомъ или съ мѣдью нѣкоторые металлоиды, напр. теллуръ, селенъ, или сѣрнистые металлы. Если, напримѣръ, взять мѣдный колчеданъ, спаять его съ мѣдью и привести одно мѣсто спая къ температурѣ 0°, а другое къ температурѣ 100°, то этотъ термоэлементъ будетъ имѣть электродвижущую силу въ 66,6 милливольта, а при разности температуры въ 150°—въ 100 милливольтъ. Точно такъ же и термоэлементъ мѣдный колчеданъ — сѣрный колчеданъ имѣетъ значительную электродвижущую силу, а именно 166,6 милливольта.

Однако эти комбинаціи пока еще не примѣняются къ устройству сильныхъ термоэлементовъ.

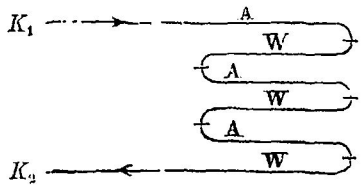
Въ общемъ электродвижущія силы термоэлементовъ очень незначительны. Чѣмъ больше разница температуръ въ мѣстахъ спая, тѣмъ больше будетъ и электродвижущая сила, но только пока не очень измѣнится само частичное строеніе металловъ, какъ было упо-

мянуто выше. Если одинъ спай доводить до очень высокой температуры, между тѣмъ какъ другой держать приблизительно при комнатной температурѣ, то электродвижущая сила иногда не только не увеличивается, но уменьшается, такъ что при нѣкоторыхъ комбинаціяхъ и при опредѣленныхъ температурахъ она совсѣмъ даже исчезаетъ. Хотя при еще болѣе высокихъ температурахъ электродвижущая сила возникаетъ снова, но тогда токъ идетъ въ термоэлементѣ въ обратномъ направленіи.

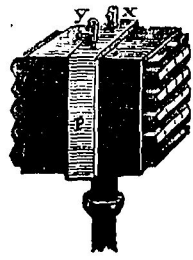
Поэтому для того, чтобы получить достаточно высокія электродвижущія силы, слѣдуетъ, точно такъ же, какъ и въ гальваническихъ элементахъ, соединить послѣдовательно нѣсколько термоэлементовъ и затѣмъ одновременно нагрѣвать лежащіе по одну сторону спаи. Такимъ образомъ получается термоэлектрическая батарея или термобатарея.

Черт. 114 даетъ схему подобной комбинаціи нѣсколькихъ термоэлементовъ. Рядъ стержней изъ сурьмы A припаянъ къ ряду стержней изъ висмута W такъ, что между каждыми двумя стержнями изъ сурьмы приходится стержень изъ висмута. Если нагрѣть мѣста спаевъ, лежащія по одну сторону (напр. справа), то токъ пойдетъ по нагрѣтымъ мѣстамъ спаевъ отъ висмута къ сурьмѣ, и электродвижущія силы отдѣльныхъ спаевъ суммируются; такимъ образомъ изображенная на чертежѣ схема даетъ въ три раза большую электродвижущую силу, чѣмъ каждый элементъ, взятый въ отдѣльности. Свободные

Черт. 114.



Черт. 115.

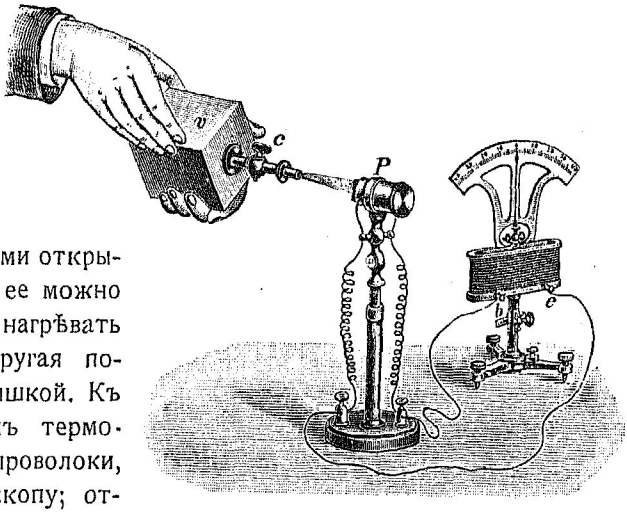


концы этой батареи K_1 и K_2 могутъ быть соединены съ любой внѣшней цѣпью. На черт. 115 изображена подобная термобатарея, въ которой спаяно между собой большое количество стержней изъ сурьмы и висмута такъ, что всѣ мѣста спаевъ, лежащія по одну сторону, расположены въ одной плоскости и всѣ могутъ одновременно нагрѣваться или охлаждаться. Свободные концы перваго и послѣдняго стержней соединены съ винтами x и y, при помощи которыхъ они могутъ быть соединены съ гальванометромъ, черезъ который пойдетъ такимъ образомъ токъ отъ термобатареи.

При незначительныхъ разностяхъ температуръ электродвижущая сила термобатареи, какъ уже было упомянуто выше, пропорціональна

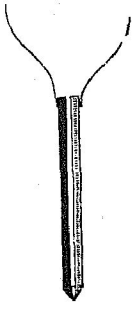
этой разности температуръ. Если соединить термобатарею напр. съ гальваноскопомъ, то всегда, когда нагрѣется или охладится одна сторона термобатареи, токъ пойдетъ по виткамъ гальваноскопа и отклонитъ стрѣлку послѣдняго. На черт. 116 изображено подобное соединеніе, часто примѣняемое на практикѣ. Здѣсь P изображаетъ термобатарею, у которой одна сторона съ одинаковыми спаями открыта, для того чтобы ее можно было по желанію нагрѣвать или охлаждать, а другая покрыта латунной крышкой. Къ свободнымъ концамъ термобатареи припаяны проволоки, идущія къ гальваноскопу; отклоненіе стрѣлки послѣдняго и указываетъ на присутствіе тока. Подобнымъ соединеніемъ можно успѣшно пользоваться для наблюденія и даже измѣренія незначительныхъ разницъ температуръ.

Черт. 116.



Малѣйшее пониженіе или повышеніе температуры, которому подвергается открытая сторона термобатареи, вызоветъ токъ, который и отклонитъ стрѣлку гальванометра. Если, напр., у сосуда (черт. 116) v, наполненнаго сжатымъ воздухомъ, открыть кранъ c, то вытекающій изъ него воздухъ будетъ немного холоднѣе окружающаго воздуха. Если поэтому направить струю вырывающагося воздуха на открытую сторону термобатареи P, то послѣдняя охладится и вызоветъ термоэлектрическій токъ въ нѣкоторомъ извѣстномъ направленіи; тогда стрѣлка гальваноскопа отклонится и покажетъ такимъ образомъ охлажденіе. Чѣмъ чувствительнѣе гальванометръ, соединенный съ термобатареей, тѣмъ меньшая разность температуръ можетъ быть обнаружена.

Черт. 117.



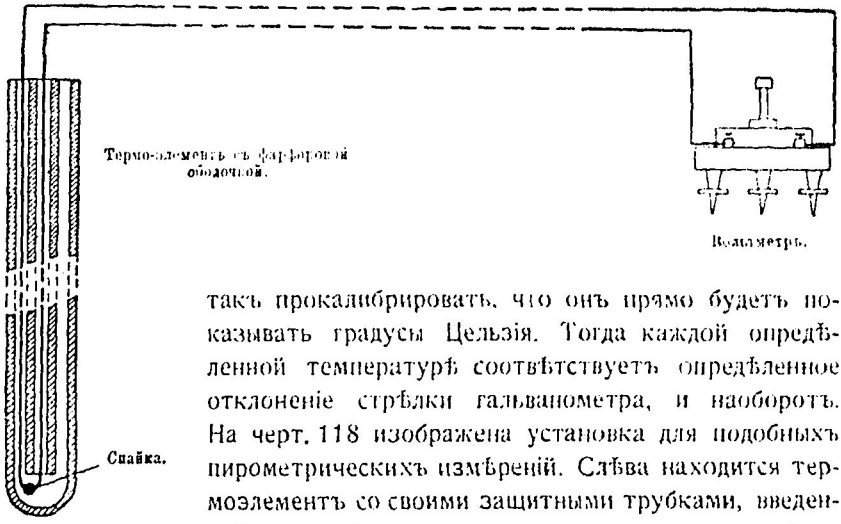
Но не всегда удобно пользоваться такой батареей, которая имѣетъ довольно большую дѣйствующую поверхность. Иногда желательно опредѣлить температуру одной какой-либо точки, въ которой нельзя установить цѣлой термобатареи. Для этого употребляютъ часто отдѣльный термоэлементъ соотвѣтственной формы. Очень удобна для этого термоэлектрическая игла (черт. 117), въ которой служащее для изслѣдованія мѣсто спая двухъ

металловъ. напр. нейзильбера и желѣза, имѣетъ форму острія; это остріе втыкаютъ въ изслѣдуемое мѣсто, напр. въ корень или кору дерева.

Термоэлементы постепенно нашли большое примѣненіе въ измѣреніи весьма высокихъ и низкихъ температуръ, для которыхъ обыкновенные ртутные термометры, годные только прибл. до 350° выше нуля и до—30° ниже нуля, непримѣнимы. Приборы для измѣренія весьма высокихъ температуръ, въ печахъ, въ пламени, въ плавильныхъ тигляхъ, называютъ пирометрами. Если изготовить термоэлементъ изъ проволокъ, строеніе которыхъ не мѣняется при высокихъ температурахъ, то электродвижущая сила ихъ, а, слѣдовательно, при постоянномъ сопротивленіи цѣпи и сила тока, растутъ по мѣрѣ того, какъ повышается температура нагрѣтаго спая. Поэтому можно, наоборотъ, по силѣ тока судить о температурѣ нагрѣтаго спая. Для высокихъ температуръ весьма пригодна по своему постоянству комбинація изъ платины и родистой платины (10% родія и 20% платины), которая впервые для подобныхъ измѣреній была примѣнена Лешателье. Такой термоэлектрическій пирометръ состоитъ изъ двухъ проволокъ: одна изъ химически чистой платины и другая изъ родистой платины. Обѣ проволоки имѣютъ въ длину около 150 см. и въ толщину приблизительно 0,6 мм.; онѣ помѣщены въ огнеупорную оболочку, состоящую изъ нѣсколькихъ, вставленныхъ другъ въ друга фарфоровыхъ трубокъ, изъ такъ называемой массы Маркквардта (Marquardtsche Masse). Трубки служатъ для изоляціи обѣихъ проволокъ элемента другъ отъ друга и для защиты отъ могущихъ случиться раскаленныхъ газовъ. Чтобы избѣжать поврежденій трубокъ, ихъ окружаютъ иногда, если въ изслѣдуемой печи температура не слишкомъ высока, защитной трубкой изъ чистаго никкеля или изъ Маннесмановой стали.

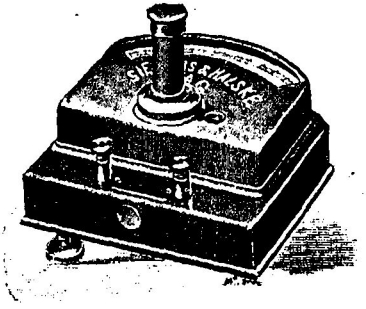
Такіе пирометры изготовляются Сименсомъ и Гальске въ Берлинѣ и Гартманомъ и Брауномъ во Франкфуртѣ-на-Майнѣ. Для изслѣдованія температуры какого-нибудь мѣста, напр. печи, трубка вводится въ него своей нижней частью, той, гдѣ находится спай. Фарфоровыя трубки выдерживаютъ температуру до 1600° Ц. и, слѣдовательно, этимъ термоэлементомъ можно пользоваться для измѣреній температуръ вплоть до этого предѣла. Свободные концы термоэлемента проведены къ двумъ зажимамъ, находящимся на предохранительной трубкѣ и удаленнымъ на 1½ метра отъ накаленнаго пространства; ихъ температура можетъ быть легко опредѣлена съ помощью обыкновеннаго термометра. Въ зажимахъ закрѣпляются проволоки, ведущія къ гальванометру, который можно расположить въ любомъ разстояніи отъ печи, напр., въ другомъ помѣщеніи. Если гальванометръ обладаетъ такимъ большимъ сопротивленіемъ, что въ сравненіи съ нимъ сопротивленіе соединительныхъ проводовъ ничтожно, то его можно

Черт. 118.



такъ прокалибрировать, что онъ прямо будетъ показывать градусы Цельзія. Тогда каждой опредѣленной температурѣ соотвѣтствуетъ опредѣленное отклоненіе стрѣлки гальванометра, и наоборотъ. На черт. 118 изображена установка для подобныхъ пирометрическихъ измѣреній. Слѣва находится термоэлементъ со своими защитными трубками, введенный въ изслѣдуемую печь; отъ него идутъ провода къ вольтметру, изображенному справа. Въ качествѣ вольтметра здѣсь употребляется одинъ изъ чувствительныхъ приборовъ Сименса и Гальске (стр. 86), у котораго подвижная катушка подвѣшена на нити, а не вращается, какъ обыкновенно, вокругъ неподвижной оси. Эта нить, какъ видно изъ черт. 119, изображающаго такой вольтметръ, укрѣплена въ трубкѣ, придѣланной къ верхней части прибора.

Черт. 119.

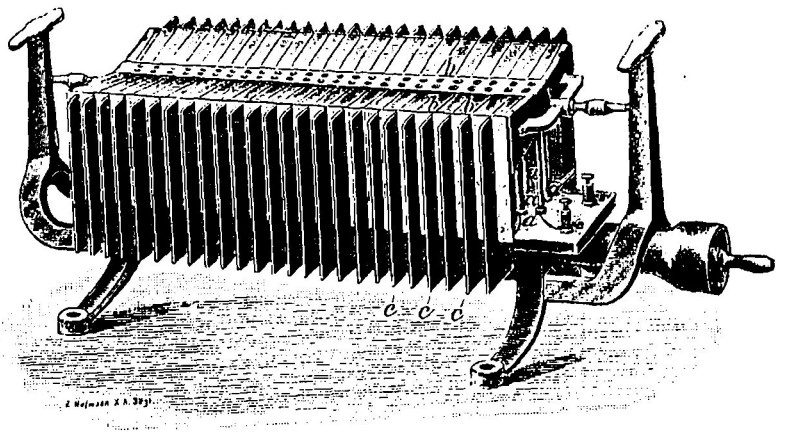


Для измѣренія низкихъ температуръ, которыя въ настоящее время легко получаются при помощи жидкаго воздуха и которыя доходятъ до — 190° Ц., также примѣняются термоэлементы въ соединеніи съ гальванометромъ. Для такихъ температуръ берутъ комбинацію мѣди и константана (а также серебро-константанъ или желѣзо-константанъ). Вообще измѣреніе весьма высокихъ и весьма низкихъ температуръ съ примѣненіемъ подобныхъ термоэлементовъ впервые сдѣлалось удобнымъ и точнымъ.

Не разъ уже дѣлались попытки построить термобатареи большой силы, т. е. такія термобатареи, которыя соединяли бы высокую электродвижущую силу съ незначительнымъ внутреннимъ сопротивленіемъ и отличались бы притомъ прочностью. Онѣ должны были бы нагрѣваться газомъ или пламенемъ угля и представлять собой удобо-

примѣнимый источникъ тока со сравнительно большой производительностью. Однако эта задача разрѣшена лишь отчасти. Гюльхеръ построилъ удобную и довольно практичную термобатарею, которая отапливается газомъ и даетъ электродвижущую силу въ 4 вольта; эта батарея изображена на черт. 120. Она состоитъ изъ 66 соединенныхъ послѣдовательно элементовъ изъ никкеля и нѣкотораго сплава, содержащаго сурьму. Никкель имѣетъ форму трубочекъ a,a, которыя одновременно служатъ газовыми горѣлками и размѣщены на пластинкѣ внутри аппарата. Къ верхнему концу каждой трубочки припаяна соединительная часть, сверху оканчивающаяся формочкой, въ которую налитъ сплавъ, содержащій сурьму. Эти электроды изъ сурьмы со-

Черт. 120.



гнуты углами b,b и къ концамъ ихъ припаяны длинныя мѣдныя полосы c,c, служащія одновременно и для охлажденія батареи и для соединенія элементовъ. На верхнія отверстія (см. черт.) помѣщаютъ небольшія асбестовыя вытяжныя трубы, насаживающіяся посредствомъ муфточекъ изъ слюды. Эта батарея такъ устроена, что даже при измѣняющемся давленіи газа батарея нагрѣвается равномѣрно. Внутреннее сопротивленіе этой батареи равно 0,65 ома. При коротк омъ замыканіи (стр. 75) она можетъ дать максимальный токъ въ $\frac{4}{0{,}65} = 6$ амперъ и приводится въ дѣйствіе простымъ лишь зажиганіемъ газа, поглощая при этомъ сравнительно мало газа (170 литровъ въ часъ).

Въ термоэлементахъ происходитъ прямое превращеніе тепла въ электричество. Когда, вслѣдствіе искусственнаго нагрѣванія одного изъ спаевъ, токъ начинаетъ идти черезъ него отъ одного металла къ другому, то въ самомъ спаѣ развивается отрицательное тепло Пелтье, т. е. происходитъ охлажденіе. Такимъ образомъ нагрѣтый спай,

вслѣдствіе возникшаго тока, охлаждается, если его постоянно не нагрѣвать. На другомъ же—холодномъ—спаѣ развивается положительное тепло Пельтье, и онъ нагрѣвается, если его не охлаждать льдомъ или проточной водой. Термоэлементъ, возбуждающій токъ, имѣетъ такимъ образомъ много общаго съ работающей паровой машиной. Эта машина работаетъ паромъ, который попеременно то образуется—при высокой температурѣ, то сгущается—при низкой температурѣ. Для своего образованія паръ потребляетъ теплоту, доставляемую горячимъ котломъ, при конденсаціи же онъ производитъ теплоту, которая поглощается сконденсированной водой. Итакъ, въ термоэлементѣ, какъ и въ паровой машинѣ, въ одномъ мѣстѣ тепло подводится извнѣ, а въ другомъ его отнимаютъ; разность этихъ количествъ теплоты въ паровой машинѣ преобразуется въ механическую работу, а въ термоэлементѣ въ электрическій токъ. Такъ какъ теплота одинъ изъ самыхъ могучихъ дѣятелей природы, вслѣдствіе того, что именно она снабжаетъ энергіей наши машины, то можно было бы предположить, что и посредствомъ превращенія теплоты въ электричество можно вызвать сильныя электрическія дѣйствія. Однако до сихъ поръ это не было осуществлено. Полезное дѣйствіе термоэлемента, т. е. отношеніе вызываемой имъ электрической энергіи къ затраченному количеству теплоты, очень незначительно. Задача непосредственнаго и экомическаго превращенія теплоты въ электричество, представляющая громадную важность какъ въ научномъ, такъ и практическомъ отношеніи до настоящаго времени еще не рѣшена

ГЛАВА VI.

Химическія дѣйствія тока. Электролизъ. Поляризаціонные токи.

Болѣе разностороннее, чѣмъ всѣ другія силы природы, электричество находится въ связи со всѣми ими. Какъ легко электрическій токъ вызываетъ свѣтовыя и тепловыя явленія, такъ же легко вызываетъ онъ и явленія химическія, явленія, представляющія большую важность какъ для научнаго изслѣдованія электричества, такъ и для практическаго примѣненія его.

Проводники электрическаго тока бываютъ, какъ мы уже знаемъ двухъ родовъ—проводники перваго и второго рода. Къ проводникамъ перваго рода относятся всѣ металлы, угли, селенъ и рядъ другихъ неметаллическихъ тѣлъ; къ проводникамъ второго рода относятся всѣ тѣ сложнаго состава жидкости, которыя вообще проводятъ токъ.

Когда электрическій токъ проходитъ черезъ подобную проводящую сложную жидкость, то онъ всегда вызываетъ химическое разложеніе этой жидкости и при этомъ такое химическое разложеніе, которое происходитъ по точно опредѣленнымъ законамъ. Поэтому проводники второго рода называютъ обыкновенно также электролитами, такъ какъ они разлагаются электричествомъ (λύειν—люейнъ, разлагать). Само явленіе разложенія называютъ электролизомъ. Мы уже и выше часто употребляли слово электроды, чтобы обозначить концы проводниковъ, по которымъ идетъ токъ. Это обозначеніе было впервые введено Фарадеемъ именно при электролизѣ. Если нужно провести электрическій токъ отъ гальванической батареи черезъ жидкость, то необходимо опустить въ эту жидкость двѣ металлическія пластинки или проволоки, изъ которыхъ одна пластинка должна быть соединена съ положительнымъ полюсомъ источника тока (батареи), а другая съ отрицательнымъ. Спеціально эти пластинки или проволоки и называютъ электродами (отъ ὁδός—ходосъ, путь). Электродъ, соединенный съ отрицательнымъ (цинковымъ) полюсомъ батареи, называютъ катодомъ, соединенный съ положительнымъ—анодомъ (отъ словъ κατ'—катъ, внизъ и ἀν'—анъ, вверхъ, т. е. путь, ведущій внизъ, и путь, ведущій вверхъ).

Если погрузить два электрода изъ одного и того же металла (напр. два платиновыхъ электрода), или изъ двухъ разныхъ металловъ въ проводящую жидкость и пропустить черезъ нее электрическій токъ, то жидкость будетъ непрерывно разлагаться на свои составныя части, т. е. при этомъ непрерывно будетъ имѣть мѣсто явленіе разложенія жидкости. Но это разложеніе происходитъ не во всей жидкости, а только около электродовъ. Такъ, напр., если двѣ платиновыя пластинки опустить въ ключевую воду и пропустить черезъ воду токъ отъ 2 или 3 бунзеновскихъ элементовъ, то на положительной и отрицательной платиновыхъ пластинкахъ появятся газовые пузырьки, а именно на положительной—кислородъ, а на отрицательной—водородъ. Это явленіе, происходящее въ водѣ, въ сущности весьма сложно, и потому мы о немъ поговоримъ подробнѣе дальше.

Проводящія жидкости представляютъ собой обыкновенно растворы кислотъ, какъ напр., сѣрной, соляной, азотной кислоты въ водѣ, растворы солей въ водѣ, а также расплавленныя соли. Въ каждой соли, напр., въ сѣрнокислой мѣди (мѣдный купоросъ), одна составная часть есть металлъ, въ нашемъ примѣрѣ мѣдь, а другая—кислота (въ нашемъ примѣрѣ сѣрная), кислородъ, хлоръ, или какое-нибудь другое подобное вещество. Если разлагать токомъ такой растворъ соли, то металлъ изъ соли всегда выдѣляется на отрицательномъ электродѣ, а остатокъ отъ разложенія соли на положительномъ. Въ нашемъ примѣрѣ — при разложеніи мѣднаго купороса —

чистая металлическая мѣдь выдѣлится на отрицательномъ электродѣ; на томъ же отрицательномъ электродѣ будетъ выдѣляться цинкъ изъ цинковаго купороса, серебро изъ азотнокислаго серебра, золото изъ хлористаго золота и т. д. Уже изъ сказаннаго выше очевидна практическая важность этого дѣйствія электрическаго тока. Дѣйствительно, оно намъ даетъ возможность выдѣлять въ чистомъ состояніи металлы изъ ихъ солей, т. е. выполнять процессъ, который, если и можетъ быть выполненъ другими путями, то, вообще говоря, очень не легко. Другая составная часть соли выдѣляется, какъ мы видѣли, на положительномъ электродѣ. Обѣ составныя части электролита, на которыя онъ разлагается токомъ, называютъ іонами (ἰών—іонъ, странствующее) и обозначаютъ (также по предложенію Фарадея) ту составную часть, которая выдѣляется у положительнаго электрода (анода)—аніономъ, а ту, которая появляется на отрицательномъ (катодѣ)—катіономъ. Изъ сказаннаго вытекаетъ первый законъ:

При каждомъ электролитическомъ разложеніи металлъ выдѣляется на катодѣ.

Къ металламъ принадлежитъ по этому закону и водородъ. Напримѣръ въ сѣрной кислотѣ H_2SO_4 водородъ 2H—катіонъ, а остатокъ SO_4—аніонъ. Однако этотъ общій законъ, что аніонъ электролита выдѣляется на анодѣ, а катіонъ на катодѣ, часто затемняется другими явленіями въ электролитѣ, такъ что онъ иногда съ перваго взгляда кажется невѣрнымъ.

Дѣйствительно, само собой очевидно, что если жидкость разлагается на свои составныя части, то эти составныя части могутъ, въ свою очередь, дѣйствовать чисто химически на жидкость или на электроды. Поэтому очень часто получаютъ при электролизѣ не дѣйствительные продукты разложенія, но тѣ вещества, которыя образуются вслѣдствіе чисто химическаго воздѣйствія іоновъ на жидкость или на электроды. Выдѣленныя электролитически составныя части входятъ, какъ говорятъ, во вторичныя реакціи. Если, напримѣръ, пустить токъ между платиновыми электродами черезъ растворъ хлористаго натрія (поваренной соли) въ водѣ, то на отрицательномъ электродѣ долженъ былъ бы выдѣлиться натрій. Въ моментъ своего возникновенія онъ дѣйствуетъ однако разлагающимъ образомъ на воду и образуетъ ѣдкій натръ и водородъ, между тѣмъ какъ свободный хлоръ появляется на положительномъ электродѣ въ видѣ газа и поднимается кверху.

Въ особенности, отрицательная составная часть электролита—аніонъ, которымъ обыкновенно бываетъ кислота, хлоръ или какое-нибудь другое сильно реагирующее вещество, вступаетъ почти всегда въ химическое соединеніе съ металломъ электродовъ или съ жидкостью. Если, напримѣръ, разлагать токомъ цинковый купоросъ

(сѣрнокислый цинкъ) между мѣдными электродами, то на отрицательномъ электродѣ выдѣлится цинкъ, а на положительномъ электродѣ выдѣляющійся тамъ радикалъ (остатокъ) сѣрной кислоты соединяется съ мѣдью электрода и образуетъ сѣрнокислую мѣдь (мѣдный купоросъ), которая, благодаря этому вторичному процессу, и появится на положительномъ электродѣ. Другой примѣръ: если разлагать концентрированный растворъ хлористаго олова ($SnCl_2$), то на отрицательномъ электродѣ образуется олово. а на положительномъ долженъ былъ бы выдѣлиться свободный хлоръ. Но онъ дѣйствуетъ тотчасъ на растворенную соль, на хлористое олово, и превращаетъ его въ хлорное олово, такъ что на положительномъ электродѣ выдѣляется не хлоръ, а хлорное олово.

Итакъ, выдѣленная на положительномъ электродѣ составная часть электролита можетъ вызвать множество вторичныхъ процессовъ.

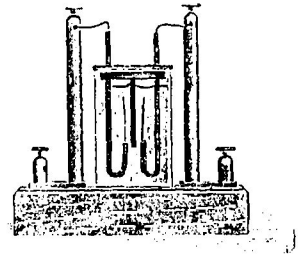
Точно такъ же и металлъ, выдѣляющійся на отрицательномъ электродѣ, можетъ тотчасъ вступить въ химическое соединеніе съ другими имѣющимися въ электролитѣ веществами, если только онъ вообще способенъ сильно химически воздѣйствовать.

Особенно щелочные металлы, калій и натрій, обладаютъ свойствами химически дѣйствовать, и поэтому они часто вызываютъ вторичныя реакціи, дѣйствуя разлагающимъ образомъ на воду раствора. Если, напримѣръ, разлагать растворъ сѣрнокислаго натрія (SO_4Na_2) между платиновыми электродами, то на отрицательномъ электродѣ выдѣлится металлъ—натрій, который тотчасъ однако разлагаетъ воду раствора на гидроксилъ (HO) и водородъ. Гидроксилъ соединяется съ натріемъ въ водѣ въ ѣдкій натръ (NaOH), водородъ освобождается и появляется въ видѣ пузырьковъ на отрицательномъ электродѣ. И на положительномъ электродѣ возникаютъ при этомъ вторичные процессы. Выдѣляемый здѣсь аніонъ SO_4 образуетъ съ водой (H_2O) сѣрную кислоту SO_4H_2, между тѣмъ какъ кислородъ воды освобождается и выдѣляется въ видѣ пузырьковъ на положительномъ электродѣ. Слѣдовательно, при электролизѣ сѣрнокислаго натрія (SO_4Na_2) на отрицательномъ электродѣ долженъ былъ бы образоваться натрій, а на положительномъ—SO_4. Но въ дѣйствительности, въ силу вторичныхъ процессовъ, на отрицательномъ электродѣ образуется водородъ, а на положительномъ — кислородъ. Эти вторичные процессы и ввели въ большое заблужденіе ученыхъ, впервые открывшихъ явленіе электролиза. Дѣйствительно, если пойдетъ электрическій токъ черезъ платиновыя пластины, опущенныя въ сосудъ съ обыкновенной водой, то на отрицательномъ электродѣ всегда появится водородъ, а на положительномъ — кислородъ. Поэтому, естественно, сначала предполагали, что вода разлагается токомъ непосредственно на свои состав-

ныя части — водородъ и кислородъ; однако дальнѣйшія изслѣдованія показали, что это не такъ. Совершенно чистая вода, свободная отъ всякихъ слѣдовъ растворенныхъ въ ней солей, почти не проводитъ электрическаго тока, является почти изоляторомъ, и потому не можетъ быть разлагаема токомъ. Слѣдовательно, если вода до нѣкоторой степени все же хорошо проводитъ электрическій токъ, какъ мы это видѣли въ вышеупомянутыхъ опытахъ надъ электролизомъ воды, то это потому, что она всегда содержитъ въ себѣ множество солей, въ большихъ или меньшихъ количествахъ, особенно натріевыхъ и калієвыхъ солей. Эти соли разлагаются токомъ, выдѣлившіеся металлы въ свою очередь разлагаютъ воду на отрицательномъ электродѣ, соединяются съ гидроксиломъ, а свободный водородъ выдѣляется. Остатки отъ солей соединяются на положительномъ электродѣ съ водородомъ воды и освобождаютъ кислородъ. Такимъ образомъ, при прохожденіи тока черезъ воду выдѣляются дѣйствительно кислородъ и водородъ, но не въ силу непосредственнаго электролиза, а вслѣдствіе вторичныхъ процессовъ. То же самое произойдетъ, если немного подкислить воду какой-нибудь кислотой, напримѣръ сѣрной кислотой. Тогда изъ сѣрной кислоты (SO_4H_2) выдѣлится на отрицательномъ электродѣ водородъ; а на положительномъ электродѣ остатокъ SO_4 соединится съ водородомъ воды и кислородъ освободится. Если прибавить къ водѣ соляной кислоты ClH, то катіонъ H сдѣлается свободнымъ, аніонъ-хлоръ Cl соединится съ водородомъ воды въ ClH, а кислородъ, освобожденный этими вторичными процессами, выдѣлится.

Изъ сказаннаго выше видно то разнообразіе первичныхъ и вторичныхъ процессовъ, которые могутъ произойти при электролизѣ. Многіе изъ этихъ процессовъ можно очень наглядно демонстрировать. Разсмотримъ снова электролизъ сѣрнокислаго натрія (глауберовой соли) Na_2SO_4 между платиновыми электродами; при этомъ расположимъ опытъ, какъ изображено на черт. 121, помѣстивъ между электродами глиняную стѣнку. Тогда въ водѣ вблизи катода образуется ѣдкій натръ (NaOH), и жидкость въ этомъ мѣстѣ способна къ щелочной реакціи; около же анода образуется сѣрная кислота (SO_4H_2), способная къ кислотной реакціи. Если растворъ глауберовой соли предварительно окрасить въ синій цвѣтъ отваромъ синей капусты, то вблизи катода она сильно окрасится въ зеленый цвѣтъ, около же анода въ красный; при перемѣнѣ направленія тока окраски около электродовъ также мѣняются мѣстами. Этимъ рѣзкимъ окрашиваніемъ пользуются на практикѣ, чтобы при помощи реагентной бу-

Черт. 121.



мажки быстро установить, который изъ полюсовъ какого-либо источника тока является отрицательнымъ. Реагентную бумажку приготовляютъ изъ обыкновенной пропускной бумаги, пропитывая ее сѣрнокислымъ каліемъ, къ которому прибавляется въ небольшихъ количествахъ органическое соединеніе, называемое фенолфталеиномъ. Если намочить такую бумажку и приложить къ ней два провода, соединенные съ полюсами какого-нибудь источника тока, то въ томъ мѣстѣ, гдѣ находится катодъ, появляется красное пятно. Окрашиваніе это происходитъ вслѣдствіе того, что выдѣляющійся здѣсь калій вступаетъ въ химическое соединеніе съ фенолфталеиномъ и образуетъ красную соль; на анодѣ ничего замѣтнаго при этомъ не происходитъ. Такимъ образомъ сейчасъ же становится извѣстнымъ, какой полюсъ источника тока положительный и какой отрицательный.

Но почему же выдѣленныя при электролизѣ составныя части появляются только на электродахъ? Если токъ разлагаетъ жидкость, то, казалось бы, онъ долженъ проявлять свое дѣйствіе на всемъ протяженіи жидкости, по которой онъ проходитъ, а не только на электродахъ, — мѣстахъ входа и выхода тока? Эти явленія объясняетъ теорія растворовъ Клаузіуса-Аррениуса, которая вмѣстѣ со всѣми вытекающими изъ нея слѣдствіями пока безусловно подтверждается опытомъ. По этой теоріи каждая составная молекула, напр. хлористый натрій NaCl, состоитъ изъ двухъ заранѣе равно, но противоположно наэлектризованныхъ частей, положительнаго металла и отрицательнаго остатка. Молекула поэтому какъ будто бы не заряжена. Если такая соль растворена въ водѣ, то не надо полагать, что въ водѣ находятся только молекулы хлористаго натрія (поваренной соли). Напротивъ, само явленіе растворенія вызываетъ сильную диссоціацію этихъ молекулъ. Отдѣльныя молекулы поваренной соли распадаются въ растворѣ на свои атомы и причину этой диссоціаціи можно видѣть въ томъ, что каждая молекула быстро и сильно движется въ жидкости, причемъ сталкивается съ другими молекулами и вслѣдствіе этого распадается на свои составныя части. Эти атомы, несущіе сильные электрическіе заряды, суть іоны молекулъ. Итакъ, въ жидкости происходятъ непрерывно распаденія и соединенія этихъ молекулъ, причемъ однако въ каждый моментъ большая часть всѣхъ молекулъ диссоціирована. Это представленіе о природѣ раствора еще совершенно независимо отъ явленій электролиза. Если теперь въ такую диссоціированную жидкость опустить два пластинчатыхъ электрода, изъ которыхъ одинъ наэлектризованъ положительно, а другой — отрицательно, то электричества этихъ пластинъ дѣйствуютъ притягивающимъ и отталкивающимъ образомъ на электрическіе заряды іоновъ. Отрицательный электродъ притягиваетъ положительно наэлектризованные іоны металловъ, а положительный электродъ — отрица-

тельный остатокъ. Итакъ, въ самой жидкости происходитъ непрерывное движеніе, движеніе всѣхъ катіоновъ въ одномъ, а всѣхъ аніоновъ въ другомъ направленіи. Однако, при этомъ движеніи вездѣ внутри жидкости число положительныхъ іоновъ равно числу отрицательныхъ и, слѣдовательно, жидкость сама по себѣ кажется неизмѣнившейся.

Иначе обстоитъ дѣло на границѣ жидкости, у самыхъ электродовъ. Тамъ непрерывно къ отрицательному электроду поступаютъ положительные металлическіе іоны. Они отдаютъ свой зарядъ электроду и остаются на немъ, но уже ненаэлектризованными. Точно такъ же и аніоны выдѣляются ненаэлектризованными на положительномъ электродѣ, и осѣдаютъ на немъ или, если они газообразны, то уходятъ въ воздухъ.

По этой теоріи, слѣдовательно, не токъ разлагаетъ молекулы; напротивъ, — молекулы уже большей частью разложены, а токъ вызываетъ только извѣстное движеніе частей молекулъ — іоновъ.

Хотя эта теорія и кажется на первый взглядъ нѣсколько искусственной, тѣмъ не менѣе она съ поразительной точностью объясняетъ всѣ, даже наиболѣе трудно уловимыя явленія, наблюдаемыя при изслѣдованіи сложныхъ жидкостей; поэтому она теперь всѣми принята.

Болѣе точное количественное изслѣдованіе электролитическихъ явленій должно очевидно свестись къ цѣлому ряду вопросовъ, изъ которыхъ первымъ является слѣдующій вопросъ: когда нѣкоторое соединеніе, напр. хлористое серебро, разлагается токомъ, то сколько хлора и сколько серебра выдѣляется на электродахъ? Отвѣты на этотъ и другіе вопросы были даны извѣстнымъ англійскимъ физикомъ Фарадеемъ; въ честь его законы, управляющіе явленіями электролиза, называются законами Фарадея. На поставленный нами вопросъ можно отвѣтить слѣдующее: извѣстно, что химія нашла для каждаго вещества опредѣленное число—атомный вѣсъ, которое въ связи съ химической формулой соединенія тотчасъ показываетъ, сколько вѣсовыхъ частей каждаго составляющаго вещества содержится въ данномъ соединеніи. Если, напримѣръ, химія даетъ для хлора (Cl) атомный вѣсъ 35,5, а для серебра (Ag) атомный вѣсъ 107,7, и если формула дла хлористаго серебра пишется AgCl, то это значитъ, что атомъ или 35,5 вѣсовыхъ частей (граммъ, сантиграммъ, миллиграммъ и т. д.) хлора соединяются съ 1 атомомъ или 107,7 вѣсовыми частями (граммъ, сантиграммъ, миллиграммъ и т. д.) серебра и образуютъ 143,2 вѣсовыхъ частей хлористаго серебра.

Если сѣра (S) имѣетъ атомный вѣсъ 32, кислородъ (O) имѣетъ атомный вѣсъ 16, мѣдь (Cu) атомный вѣсъ 63,5, и если формула для мѣднаго купороса пишется

$$SO_4Cu,$$

то это значитъ, что 32 вѣсовыхъ части сѣры соединяются съ 4 . 16=64 вѣсовыми частями кислорода и 63,5 вѣсовыми частями мѣди и образуютъ 159,5 вѣсовыхъ частей мѣднаго купороса.

При всякомъ электролитическомъ разложеніи на электродахъ выдѣляются составныя части въ томъ именно вѣсовомъ отношеніи, въ какомъ онѣ находились въ разложенномъ соединеніи. Если, напр., разлагать токомъ хлористое серебро, то на отрицательномъ электродѣ выдѣляется всегда 107,7 вѣсовыхъ частей серебра, а на положительномъ электродѣ образуется 35,5 вѣсовыхъ частей хлора; если разлагать токомъ мѣдный купоросъ, то на отрицательномъ электродѣ появится 63,5 вѣсовыхъ частей мѣди, а на положительномъ 96 вѣсовыхъ частей SO_4. Если разлагать токомъ хлористый цинкъ, формула котораго $ZnCl_2$, то, такъ какъ атомный вѣсъ цинка равенъ 65,2, а атомный вѣсъ хлора 35,5, на отрицательномъ электродѣ всегда выдѣляется 65,2 вѣсовыхъ частей цинка, а на положительномъ образуется 71 вѣсовая часть хлора.

Изъ всего вышеизложеннаго слѣдуетъ, что во всякомъ веществѣ разлагаются его молекулы, т. е., что вѣса количествъ выдѣляемыхъ іоновъ находятся въ такомъ же соотношеніи, въ какомъ эти іоны находятся въ самихъ молекулахъ. Вѣсъ количествъ составныхъ частей вещества называютъ ихъ химическими эквивалентными вѣсами. Отсюда слѣдуетъ законъ:

Во всякой жидкости количества выдѣленныхъ іоновъ находятся въ отношеніи ихъ эквивалетныхъ вѣсовъ.

Химическіе эквивалетные вѣса являются опредѣленными числами, которыя всѣ отнесены къ водороду; для каждаго элемента они равны его атомному вѣсу, дѣленному на его атомность. Эквивалентный вѣсъ водорода принятъ за единицу.

Если выдѣленные іоны входятъ затѣмъ во вторичныя химическія реакціи съ электродами или съ жидкостью, то по законамъ химіи каждый изъ іоновъ снова соединяется со столькими вѣсовыми частями электрода или жидкости, сколько ему химически эквиталентно.

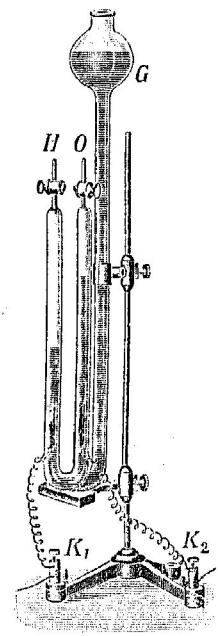
Если, напр., разлагать токомъ сѣрнокислый натръ Na_2SO_4, такъ что на отрицательномъ электродѣ выдѣлится Na_2 (2×23 вѣсовыхъ части), то этотъ натрій разлагаетъ эквивалентное ему количество воды, образуетъ 2 (NaOH) и выдѣляетъ изъ воды H_2, т. е. такое количество водорода, какое химически эквивалентно выдѣленному натрію.

Другими словами: если совершается электролизъ, то или сами составныя части электролитовъ, или

вторичные продукты, вызванные химическими превращеніями выдѣляются всегда въ химически эквивалентныхъ количествахъ.

Это легко можно доказать на опытѣ разложенія воды, которое происходитъ вѣдь тоже вслѣдствіе вторичныхъ процессовъ и заключается въ сущности въ разложеніи сильно разведенныхъ растворовъ. Изъ слегка подкисленной воды получаютъ, какъ уже было упомянуто выше, посредствомъ электролиза водородъ и кислородъ — обѣ составныя части воды. Эти оба газа въ моментъ ихъ образованія можно отдѣлить другъ отъ друга, если каждый изъ электродовъ помѣстить въ отдѣльные закрытые сверху сосуды, наполненные водой и сообщающіеся другъ съ другомъ. Подобный приборъ изображенъ на черт. 122. Стеклянная трубка G внизу раздѣляется на двѣ проградуированныя трубки O и H, которыя наверху могутъ быть закрыты при помощи кранов; въ каждую трубку впаяно по платиновому электроду, соединяющемуся съ зажимами K_1 и K_2. Если, открывъ краны, наполнить весь приборъ разведенной сѣрной кислотой и затѣмъ, закрывъ ихъ, присоединить къ зажимамъ K_1 и K_2 батарею (съ напряженіемъ около 8 вольтъ), то на обоихъ электродахъ начнутъ выдѣляться газы и притомъ у одного электрода (въ трубкѣ H) водородъ, а у другого (въ трубкѣ O) кислородъ. Выдѣляющіеся газы собираются въ верхнія части трубокъ, производятъ на воду давленіе и тѣмъ самымъ постепенно перегоняютъ ее въ трубку G. Изъ этого можно точасъ же убѣдиться въ томъ, что въ одно и то же время водорода выдѣляется вдвое больше (по объему), чѣмъ кислорода. Трубка O всегда только на половину наполнена газомъ по сравненію съ трубкой H. Такъ какъ кислородъ въ 16 разъ тяжелѣе водорода, то изъ этого слѣдуетъ, что кислорода образуется по вѣсу въ 8 разъ больше, чѣмъ водорода, или если выдѣляется 1 гр. водорода, то одновременно выдѣляется 8 гр. кислорода. Но въ водяной молекулѣ именно соединены 8 вѣсовыхъ частей (1 эквивалентъ) кислорода съ одной вѣсовой частью (1 эквивалентъ) водорода. Изъ этого и слѣдуетъ, что вода разлагается вслѣдствіе вторичныхъ процессовъ такъ, что выдѣляющіеся іоны находятся въ отношеніи своихъ эквивалентныхъ вѣсовъ.

Черт. 122.



Второй вопросъ слѣдующій: если пустить токъ послѣдовательно черезъ различныя разлагаемыя токомъ жидкости, то въ какомъ вѣсовомъ отно-

шеніи будутъ находиться другъ къ другу разложенныя въ каждой изъ нихъ количества?

На этотъ вопросъ Фарадей, произведя цѣлый рядъ опытовъ, далъ слѣдующій отвѣтъ: во всѣхъ разлагаемыхъ однимъ и тѣмъ же токомъ жидкостяхъ составныя части выдѣляются въ одно и то же время въ количествахъ, находящихся въ отношеніи, равномъ отношенію ихъ химическихъ эквивалетныхъ вѣсовъ.

Въ химіи называютъ граммъ-эквивалентомъ нѣкотораго вещества число граммовъ этого вещества, равное его эквивалентному вѣсу. Такимъ образомъ 1 граммъ-эквивалентъ натрія есть 23 гр. Na, 1 граммъ-эквивалентъ серебра есть 107,7 гр. Ag, 1 граммъ-эквивалентъ кислорода есть 8 гр. О и т. д.

Слѣдующій примѣръ разъяснитъ намъ этотъ фарадеевскій законъ. Если одинъ и тотъ же токъ пустить послѣдовательно чрезъ три сосуда, наполненные жидкостями, такъ, чтобы онъ одновременно разлагалъ жидкости въ трехъ сосудахъ, называемыхъ электролитическими ваннами, то выдѣляемыя количества іоновъ должны находиться въ отношеніи ихъ эквивалентныхъ вѣсовъ.

Если въ качествѣ этихъ жидкостей возьмемъ, напр., растворъ поваренной соли ($ClNa$), растворъ сѣрной кислоты (H_2SO_4) и растворъ *хлористаго олова* ($SnCl_2$), *то въ первой жидкости за нѣкоторый промежутокъ* времени выдѣлится, скажемъ, 1 граммъ-эквивалентъ Na (23 гр.) на катодѣ и 1 граммъ-эквивалентъ Cl (35,5 гр.) на анодѣ. За тотъ же промежутокъ времени во второй жидкости должно выдѣлиться на катодѣ эквивалентное количеству натрія количество водорода, т. е. 1 граммъ-эквивалентъ H (1 гр., но не H_2=2 гр.), а на анодѣ тогда образуется $^1/_2$ SO_4 (=48 гр.), соотвѣтственно одному эквиваленту водорода. Наконецъ въ третьей жидкости выдѣлится на анодѣ 1 граммъ-эквивалентъ Cl (35,5 гр., но не Cl_2=71 гр.) и на катодѣ эквивалентное количество олова, т. е. $^1/_2$ Sn=59 гр.

Такъ какъ количества выдѣленныхъ на каждомъ электродѣ іоновъ различныхъ жидкостей находятся въ томъ же отношеніи, какъ и ихъ эквивалентные вѣса, то и полныя количества разложенныхъ электролизомъ веществъ въ различныхъ жидкостяхъ находятся въ отношеніи ихъ эквивалентныхъ вѣсовъ; такимъ образомъ, въ нѣкоторый промежутокъ времени, въ теченіе котораго идетъ электролизъ, разложится поваренной соли 35,5+23=58,5 вѣсовой части, сѣрной кислоты $^1/_2$ (96+2)=49 вѣсовыхъ частей и хлористаго олова $^1/_2$ (118+71)=94,5 вѣсовой части.

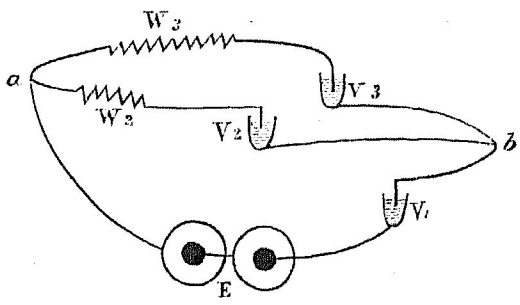
Возьмемъ еще примѣръ, иллюстрирующій законъ Фарадея. Токъ, который выдѣляетъ въ опредѣленное время изъ воды 1 гр. гремучаго газа, выдѣляетъ въ то же время 3,528 гр. мѣди изъ мѣднаго купороса

и 11,97 гр. серебра изъ азотнокислой соли серебра, потому что числа 1:3,528 : 11,97 относятся между собой, какъ эквивалентныя числа гремучаго газа, мѣди въ мѣдномъ купоросѣ и серебра въ азотнокислой соли серебра. Эквивалентный вѣсъ гремучаго газа равенъ $^1/_2$ (H$_2$+O)=9, мѣди $^1/_2$ Cu=31,75, серебра Ag=107.7, а эти вѣса и относятся между собой, какъ вышеприведенныя числа. Эти зависимости даютъ намъ новыя средства для измѣренія электрическихъ токовъ.

Третьимъ важнымъ вопросомъ является слѣдующій: отъ какихъ факторовъ электрическаго тока зависитъ количество выдѣленныхъ веществъ? Опытъ показалъ, что количество выдѣленныхъ іоновъ зависитъ, во-первыхъ, отъ продолжительности прохожденія тока, увеличиваясь постепенно по мѣрѣ того, какъ токъ продолжаетъ идти. Во-вторыхъ, количество вещества, выдѣленнаго въ каждую секунду путемъ электролитическаго разложенія во всякомъ данномъ электролитѣ, зависитъ исключительно отъ силы тока. Это можно легко доказать и на опытѣ.

Если устроить развѣтвленіе тока, показанное на черт. 123, и какъ въ главную вѣтвь 1, такъ и въ каждую вѣтвь 2 и 3 ввести по электролитической ваннѣ V$_1$, V$_2$, V$_3$, напр., по платиновому тиглю, наполненному растворомъ азотнокислаго серебра, и если затѣмъ ввести еще въ вѣтви 2 и 3 какія угодно сопротивленія W$_2$ и W$_3$, то въ каждой изъ трехъ вѣтвей сила тока будетъ разная; оказывается, что въ этомъ случаѣ и въ каждой изъ трехъ ваннъ отложатся на катодѣ различныя количества серебра. Сила тока въ 1 равна суммѣ силъ тока въ 2 и 3, и оказывается, что количество серебра, которое отложится въ ваннѣ V$_1$, равно суммѣ количествъ серебра, отложившихся въ V$_2$ и V$_3$. Далѣе, силы тока въ 2 и 3 обратно пропорціональны сопротивленіямъ этихъ вѣтвей (стр. 78), и точно такое же соотношеніе существуетъ между количествами серебра въ V$_2$ и V$_3$. Этотъ опытъ можно различно видоизмѣнять, но при этомъ всегда получимъ одинаковый результатъ, а именно, что количество электролитически выдѣленнаго вещества зависитъ исключительно, во-первыхъ,—отъ продолжительности тока, а во-вторыхъ—отъ силы тока.

Черт. 123.



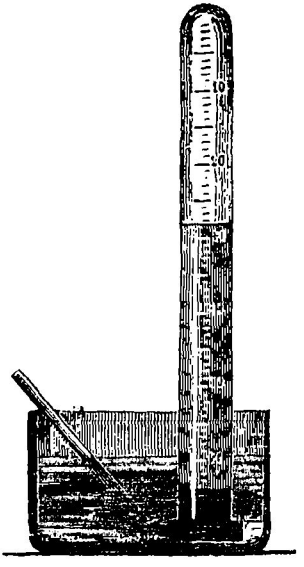
Этотъ опытъ можно удобно произвести также и слѣдующимъ образомъ. Въ цѣпь, содержащую батарею съ напряженіемъ около 6

вольтъ, вводятъ, во-первыхъ, амперметръ (стр. 86) и затѣмъ сосудъ съ подкисленной водой, въ которую опущены платиновыя пластинки, служащія электродами. Черт. 124 даетъ удобную форму такого сосуда; *c* и *d* суть проволоки, ведущія къ платиновымъ пластинкамъ. Вслѣдствіе дѣйствія тока на одномъ электродѣ образуется водородъ, а на другомъ кислородъ, и эти газы выходятъ по согнутой трубкѣ *b*, которая герметически вмазана въ пробку A, закрывающую сосудъ. Для того, чтобы можно было собрать выдѣляющуюся смѣсь газовъ, извѣстную подъ названіемъ гремучаго газа, проводятъ согнутую трубочку подъ другую трубку съ дѣленіями, наполненную водой и опущенную

Черт. 124.



Черт. 125.



въ сосудъ съ водой, какъ показано на черт. 125. Газы подымаются изъ согнутой трубочки въ трубку съ дѣленіями и вытѣсняютъ изъ нея воду. Дѣленія на трубкѣ сдѣланы такимъ образомъ, что внутренній объемъ между каждыми двумя черточками равенъ 1 куб. см. Благодаря этому можно тотчасъ видѣть, сколько куб. см. гремучаго газа выдѣлилось изъ прибора при разложеніи воды въ теченіе всего времени пока проходилъ токъ. Сдѣлаемъ этотъ опытъ, пользуясь токомъ въ 6 вольтъ напряженія, и замѣтимъ по шкалѣ амперметра силу тока, выраженную въ амперахъ, а по трубкѣ объемъ гремучаго газа, выдѣлившагося, положимъ, въ теченіе 10 минутъ пока нашъ токъ былъ замкнутъ.

Если вмѣсто тока въ 6 вольтъ взять токъ въ 20 вольтъ напряженія и ввести кромѣ того еще столько сопротивленія, чтобы сила тока была равна прежнему числу амперовъ, и затѣмъ замкнуть токъ

снова на 10 минутъ, то мы найдемъ и теперь, что образовалось такое же количество гремучаго газа, какъ и прежде.

Чѣмъ больше сила тока, тѣмъ больше выдѣляется въ 1 минуту гремучаго газа, и наоборотъ, чѣмъ меньше сила тока, тѣмъ меньше выдѣляется гремучаго газа. Этой зависимостью можно пользоваться (что весьма важно) и для измѣренія силы тока. Чѣмъ больше гремучаго газа выдѣляется токомъ въ опредѣленное время, тѣмъ больше сила тока; чѣмъ меньше гремучаго газа выдѣляется, тѣмъ сила тока меньше. Можно, слѣдовательно, непосредственно пользоваться выдѣляемымъ количествомъ гремучаго газа, какъ мѣрой силы тока. Если напр. въ минуту выдѣляется однимъ токомъ 5 куб. см. гремучаго газа, а другимъ 10 куб. см. въ минуту, то это доказываетъ, что сила тока во второмъ случаѣ была вдвое больше, чѣмъ въ первомъ случаѣ.

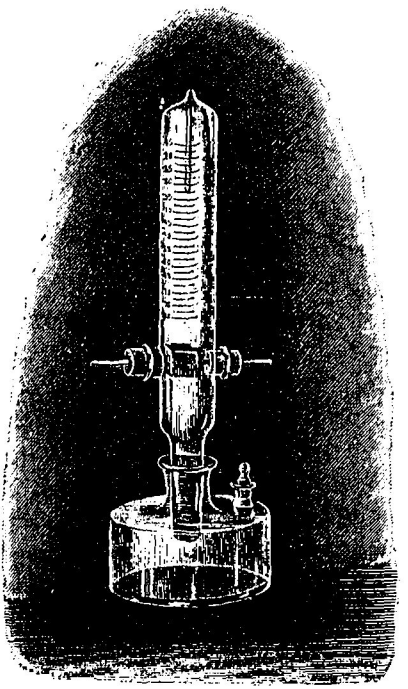
Приборы, дающіе возможность по явленію электролиза измѣрить силу тока, называются вольтаметрами (не надо ихъ смѣшивать съ вольтметрами стр. 111). Въ виду того, что изображеннымъ на черт. 124 и 125 приборомъ непосредственно можно пользоваться для измѣренія силы тока, причемъ выдѣлившееся количество гремучаго газа служитъ непосредственной мѣрой силы тока, этотъ приборъ называютъ вольтаметромъ съ гремучимъ газомъ или газовымъ вольтаметромъ.

Токъ опредѣленной силы выдѣляетъ въ каждомъ газовомъ вольтаметрѣ въ равное время всегда одно и то же количество гремучаго газа.

Слѣдовательно, необходимо только разъ навсегда опредѣлить, сколько гремучаго газа выдѣляетъ наша единица силы тока, 1 амперъ, въ 1 секунду изъ газоваго вольтаметра, чтобы имѣть уже дальше возможность съ помощью подобнаго вольтаметрическаго измѣренія во всякое время опредѣлить силу какого-либо тока, выраженную въ амперахъ. Одинъ амперъ выдѣляетъ, какъ показали точные опыты, въ 1 секунду 0,09328 мгр. или (такъ какъ легче измѣрять объемъ гремучаго газа) 0,1740 куб. см. при нормальномъ давленіи и нормальной температурѣ гремучаго газа, т. е. въ 1 минуту 10,440 куб. см. гремучаго газа. Зная это, можно всегда опредѣлить въ амперахъ силу тока, если только пропустить измѣряемый токъ черезъ газовый вольтаметръ, измѣрить выдѣленное токомъ въ 1 минуту количество гремучаго газа (по вѣсу или объему) и раздѣлить его на данное выше число.

Ф. Кольраушъ придалъ газовому вольтаметру (водяной вольтаметръ, изготовляемый Гартманомъ и Брауномъ во Франкфуртѣ на Майнѣ) весьма удобную форму. Вольтаметръ состоитъ, какъ показано на черт. 126, изъ раздѣленной на куб. см. широкой трубки, которая посредствомъ притертаго горлышка вставляется въ широкую шейку сосуда. Сосудъ и трубку наполняютъ водой, слегка разбавленной сѣрной кислотой. Въ трубкѣ находятся два платиновыхъ электрода, изъ

Черт. 126.

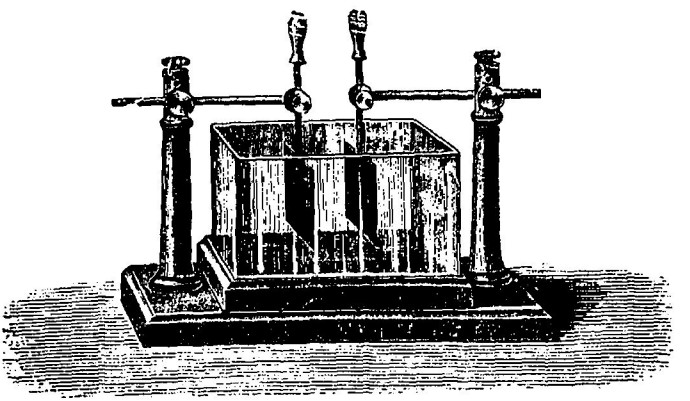


которыхъ одинъ согнутъ въ видѣ буквы П и обхватываетъ другой. Проволоки отъ электродовъ проходятъ черезъ каучуковыя пробки наружу. Выдѣлившійся гремучій газъ выгоняетъ воду изъ раздѣленной на куб. см. трубки; объемъ газа можно непосредственно отсчитать по трубкѣ, а температуру его мы узнаемъ изъ показаній помѣщеннаго въ трубкѣ термометра.

Силу тока можно опредѣлять не только по количеству выдѣленнаго гремучаго газа, но такъ же успѣшно и по количеству всякаго другого вещества, электролитически выдѣленнаго. На практикѣ примѣняютъ кромѣ вольтаметровъ съ гремучимъ газомъ еще мѣдные и серебряные вольтаметры.

Въ мѣдномъ вольтаметрѣ (черт. 127) двѣ платиновыхъ пластинки опущены въ насыщенный растворъ сѣрнокислой мѣди (мѣдный купоросъ). Если пропускать черезъ него токъ, то на отрицательномъ платиновомъ электродѣ осядетъ мѣдь, и по времени прохожденія тока и количеству выдѣлившейся мѣди можно непосредственно опредѣлить

Черт. 127.

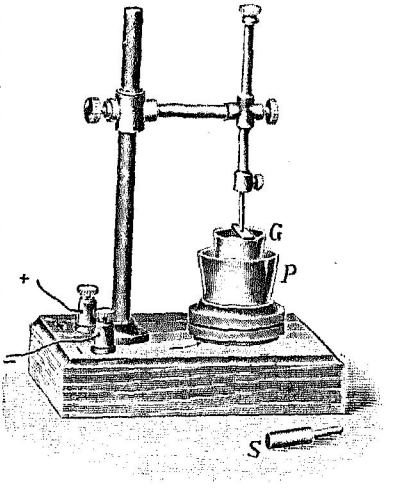


въ амперахъ силу тока. Количество выдѣлившейся мѣди узнается взвѣшиваніемъ отрицательной (обсушенной) пластинки до и послѣ опыта. Токъ въ 1 амперъ выдѣляетъ въ 1 минуту 19,69 мгр. мѣди. Для того, чтобы получить точные результаты при пользованіи мѣд-

нымъ вольтаметромъ, необходимо брать совершенно концентрированный растворъ мѣднаго купороса и употреблять возможно большіе электроды. Удобнѣе всего, для любой силы тока, употреблять электроды, имѣющіе дѣйствующую поверхность въ 40 кв. см.

Серебряный вольтаметръ, въ которомъ употребляется растворъ азотнаго серебра, имѣетъ обыкновенно форму, изображенную на черт. 128. Растворъ азотнокислаго серебра находится въ платиновой чашкѣ P, помѣщенной на металлической дощечкѣ, соединенной съ отрицательнымъ полюсомъ. Эта платиновая чашечка служитъ одновременно и отрицательнымъ электродомъ, на которомъ осаждается электролитически выдѣленное серебро. Положительнымъ электродомъ служитъ небольшой серебряный цилиндръ, въ видѣ S, опущенный не прямо въ P, а въ подвѣшенную стеклянную чашечку G, имѣющую дырочки для сообщенія жидкости, находящейся внутри G и внѣ ея. При электролизѣ раствора серебро осаждается на платиновомъ тиглѣ, а остатокъ соли—остатокъ азотной кислоты—выдѣляется на положительномъ электродѣ, серебрѣ, и соединяется съ нимъ снова въ азотнокислое серебро, которое растворяется въ жидкости. Это даетъ то преимущество, что растворъ остается всегда одинаково насыщеннымъ. Дѣйствительно, на платиновомъ тиглѣ осаждается, по закону Фарадея, такое же количество серебра, какое растворяется отъ серебряной палочки. Если взвѣсить платиновую чашечку сухою передъ опытомъ и затѣмъ взвѣсить ее снова, предварительно обсушивъ ее, послѣ того какъ черезъ растворъ былъ пропущенъ токъ, напр., въ продолженіи 10 минутъ, то разность вѣсовъ даетъ выдѣленное въ 10 минутъ количество серебра. (Стеклянная чашечка G служитъ для того, чтобы собирать падающія съ серебрянаго цилиндра частицы серебра). Извѣстно, что токъ силою въ 1 амперъ выдѣляетъ въ 1 минуту 67,10 мгр. серебра. Слѣдовательно, по разности вѣсовъ платиновой чашки можно непосредственно опредѣлить въ амперахъ силу тока.

Черт. 128.



Явленія въ электролитѣ, когда черезъ него проходитъ токъ, можно очень просто представить себѣ, исходя изъ вышеизложенныхъ опытныхъ фактовъ. Всегда, когда токъ проходитъ черезъ электролитъ, происходитъ выдѣленіе іоновъ на электродахъ, т. е., по вышеприведенной теоріи Клаузіуса-Арреніуса, это значитъ, что всѣ поло-

жительные іоны одновременно передвигаются по направленію къ катоду, а отрицательные іоны по направленію къ аноду. Слѣдовательно, прохожденіе тока по электролиту всегда сопровождается движеніемъ вещественныхъ частей электролитовъ—ихъ іоновъ. Но эти іоны сами наэлектризованы, а именно: металлическіе іоны положительно, а остаточные—отрицательно. Это приводитъ насъ къ предположенію, что можетъ быть одно только движеніе этихъ заряженныхъ іоновъ и обусловливаетъ токъ въ электролитѣ. Стоитъ только соединить оба электрода съ полюсами элемента, какъ іоны тотчасъ начнутъ передвигаться въ жидкости. Положительно наэлектризованные іоны (металлическіе іоны) передвигаются по направленію къ катоду, и каждый коснувшійся катода іонъ отдаетъ свой положительный зарядъ отрицательно наэлектризованному катоду и, потерявъ свой зарядъ, выдѣляется на немъ. Но къ катоду непрерывно подходятъ все новые положительные іоны и приносятъ ему, слѣдовательно, все новое положительное электричество. Въ то же время отрицательные іоны передвигаются по направленію къ аноду, отдаютъ тамъ свое электричество и дѣлаются сами ненаэлектризованными. Токъ въ электролитѣ состоитъ, слѣдовательно, по этой теоріи, въ передвиженіи положительныхъ іоновъ по направленію къ катоду и отрицательныхъ іоновъ по направленію къ аноду; онъ не только сопровождается этимъ двойнымъ передвиженіемъ, но это движеніе и представляетъ въ сущности само явленіе тока въ электролитѣ.

Но, по закону Фарадея, іоны во всѣхъ жидкостяхъ должны всегда выдѣляться въ эквивалентныхъ количествахъ. Поэтому они должны также въ эквивалентныхъ количествахъ принимать участіе и въ передачѣ тока. Другими словами: эквивалентный вѣсъ какого-либо іона долженъ переносить такое же количество электричества, какъ и эквивалентный вѣсъ всякаго другого іона. Слѣдовательно, если 1 гр. водорода несетъ съ собою извѣстное количество положительнаго электричества (извѣстное число кулоновъ), то 23 гр. натрія, 39 гр. калія, 31,6 гр. мѣди, 107,7 гр. серебра должны всегда нести съ собою то же количество кулоновъ, а также и 8 гр. кислорода, 48 гр. SO_4, 62 гр. NO_3, должны нести съ собою то же количество отрицательныхъ кулоновъ. Итакъ, изъ закона Фарадея слѣдуетъ:

Эквивалентные вѣса различныхъ іоновъ несутъ съ собою всѣ одинаковое число кулоновъ, и притомъ положительныхъ, въ томъ случаѣ, когда они катіоны, и отрицательныхъ, когда они аніоны.

Явленіе, слѣдовательно, представляется такимъ, какъ будто бы каждый атомъ вещества неразрывно связанъ съ нѣкоторымъ опредѣленнымъ количествомъ положительнаго или отрицательнаго электричества, такъ что каждый эквивалентъ обладаетъ всегда однимъ и

тѣмъ же количествомъ электричества. Это слѣдствіе приводитъ къ весьма интересному взгляду на природу электричества. Оно указываетъ на то, что подобно тому, какъ обычная матерія состоитъ изъ отдѣльныхъ частицъ—атомовъ, и электричество состоитъ изъ частицъ, подобныхъ атомамъ. Такимъ образомъ электричество—какъ положительное, такъ и отрицательное—представляетъ собой вещество, которое, подобно другимъ веществамъ природы, является не сплошнымъ, но состоитъ изъ отдѣльныхъ атомовъ. Въ первой главѣ мы временно допустили существованіе атомовъ электричества, названныхъ нами электронами, съ цѣлью объяснить явленія, которыя мы тамъ разсматривали.

Изъ явленій электролиза мы нашли, что заряды, т. е. электроны, всегда связаны съ вещественной матеріей. Поэтому іонъ какого-нибудь тѣла мы будемъ принимать за (химическое) соединеніе атома этого тѣла съ электрономъ.

Такимъ образомъ оказывается, по высказанному нами взгляду, что іонъ серебра и молекула хлористаго серебра имѣютъ одинаковое строеніе; дѣйствительно: молекула хлористаго серебра = 1 атомъ серебра + 1 атомъ хлора, а іонъ серебра — 1 атомъ серебра + 1 атомъ положительнаго электричества. Молекулы какого-нибудь тѣла, т. к. всѣ единицы ихъ химическаго сродства насыщены, не могутъ, вслѣдствіе этого насыщенія, вступать въ химическія соединенія, тогда какъ атомы, будучи ненасыщенными, оказываютъ сильнѣйшія притяженія и способны къ энергичнѣйшимъ химическимъ реакціямъ. Подобно этому и іоны представляютъ собой насыщенныя тѣла, не вступающія ни въ какія химическія реакціи, и по своимъ свойствамъ противуположны атомамъ, какъ и молекула. Основываясь на вышеизложенномъ, можно легко понять теорію Арреніуса о диссоціаціи солей въ водѣ. Если бы молекула хлористаго натра распалась въ водѣ на атомы хлора и натрія, то атомъ натрія долженъ былъ бы непремѣнно сильно подѣйствовать на воду и не могъ бы оставаться въ ней неизмѣнившимся.

Однако молекула хлористаго натрія разлагается не на составляющіе ее атомы, а на іоны. Атомы хлора и натрія или непосредственно соединяются съ электронами воды, или же они сами окружены электронами и лишь сохраняютъ ихъ при диссоціаціи. Во всякомъ случаѣ въ водѣ находятся не атомы, а іоны, которые, являясь тѣлами, единицы сродства коихъ насыщены, могутъ существовать пока не распадутся подъ вліяніемъ болѣе значительныхъ силъ притяженія.

Мы можемъ теперь даже вычислить, сколько кулоновъ связано съ каждымъ граммъ-эквивалентомъ вещества. Для этой цѣли вспомнимъ, что если токъ въ 1 амперъ проходитъ въ теченіе одной секунды по цѣпи, то тогда по этой цѣпи въ томъ же направленіи,

какъ и токъ, проходитъ ровно 1 кулонъ положительнаго электричества (стр. 67). Токъ въ 1 амперъ выдѣляетъ (стр. 157) въ одну минуту 67,10 мгр., т. е. въ 1 секунду 0,0011183 гр. серебра и эквивалентное количество NO_3 (0,0006440 гр.) изъ азотнокислаго серебра. Согласно вышеприведенному, этотъ токъ состоитъ въ электролитѣ въ томъ, что 1 кулонъ положительнаго электричества переносится по направленію къ катоду (и одновременно съ этимъ 1 кулонъ отрицательнаго электричества переносится по направленію къ аноду). Итакъ, 0,0011183 гр. серебра обязательно связаны съ 1 кулономъ, а слѣдовательно 1 граммъ-эквивалентъ серебра (107,7 гр.) связанъ съ

$$\frac{107,7}{0,0011183} = 96540 \text{ кулонами.}$$

Точно такое же количество кулоновъ несетъ съ собою граммъ-эквилентъ каждаго другого вещества. Изъ этого слѣдуетъ:

Граммъ-эквивалентъ каждаго іона соединенъ съ 96540 кулонами (положительными или отрицательными).

Такъ какъ при разложеніи каждаго граммъ-эквивалента вещества возникаютъ одновременно оба іона, то при каждомъ электролитическомъ разложеніи на одинъ граммъ-эквивалентъ разложеннаго вещества проходитъ черезъ жидкость 96540 кулоновъ.

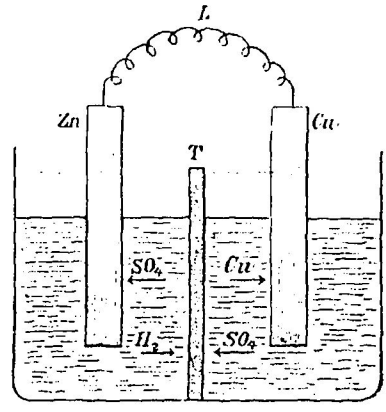
Такимъ образомъ 96540 кулоновъ электричества связаны съ каждымъ граммъ-эквивалентомъ любого общества. Такъ какъ эквивалентный вѣсъ водорода равенъ 1, то поэтому 1 гр. водорода связанъ съ 96540 кулонами. Пользуясь кинетической теоріей газовъ, удалось вычислить, что 1 гр. водорода заключаетъ въ себѣ 618 тысячъ трилліоновъ (618.10^{21}) атомовъ водорода. По современнымъ нашимъ представленіямъ мы должны заключить, что слѣдовательно существуетъ столько же іоновъ водорода, такъ какъ каждый атомъ связанъ съ зарядомъ, т.-е. съ электрономъ. Отсюда легко вычислить, каковъ зарядъ одного электрона. Зарядъ всѣхъ 618 тысячъ трилліоновъ электроновъ равенъ 96540 кулоновъ; слѣдовательно каждый электронъ имѣетъ чрезвычайно незначительный зарядъ, а именно около $\frac{1}{6 \text{ трилліоновъ}}$ кулона.

Это количество электричества называютъ электрическимъ элементарнымъ зарядомъ. Оно, по теперешнимъ воззрѣніямъ электронной теоріи, есть наименьшее возможное количество электричества.

Мы видѣли, какъ общее положеніе, что разложеніе—электролизъ—происходитъ всегда въ томъ случаѣ, когда чрезъ электролитическую жидкость проходитъ электрическій токъ. Отсюда слѣдуетъ, что и внутри замкнутаго гальваническаго элемента, по которому

проходитъ его собственный токъ, должно произойти электролитическое разложеніе жидкостей, и это разложеніе должно также совершаться точно по закону Фарадея. И это на самомъ дѣлѣ такъ. Предположимъ, напримѣръ, что элементъ Даніеля замкнутъ, и что такимъ образомъ чрезъ него проходитъ токъ; тогда обѣ жидкости должны разлагаться подъ дѣйствіемъ тока. На чертежѣ 129 представленъ схематически элементъ Даніеля, состоящій изъ цинковаго стержня (Zn), погруженнаго въ сѣрную кислоту (SO_4H_2) и мѣднаго стержня (Cu), опущеннаго въ растворъ мѣднаго купороса ($CuSO_4$). Обѣ жидкости раздѣлены глиняной стѣнкой T. Мѣдный купоросъ разлагается на мѣдь (Cu) и на остатокъ SO_4, не могущій существовать въ свободномъ видѣ. Разбавленная сѣрная кислота разлагается на водородъ (H_2) и на SO_4. Въ самомъ элементѣ мѣдь—отрицательный электродъ, такъ какъ положительный токъ въ элементѣ идетъ отъ цинка къ мѣди. Вслѣдствіе этого Cu и H_2 движутся направо, къ мѣди, а оба остатка SO_4 влѣво, къ цинку. Выдѣлившаяся изъ мѣднаго купороса мѣдь осаждается на мѣдномъ электродѣ, который въ теченіе процесса и покрывается блестящимъ слоемъ чистой металлической мѣди. Остатокъ SO_4 отъ мѣднаго купороса встрѣчается съ выдѣлившимся изъ разложенной токомъ сѣрной кислоты водородомъ H_2, и обѣ эти составныя части снова соединяются въ H_2SO_4. Другая составная часть разложенной токомъ сѣрной кислоты SO_4 идетъ къ цинку, въ этомъ случаѣ положительному электроду элемента, и непосредственно соединяется съ нимъ въ сѣрнокислый цинкъ (цинковый купоросъ SO_4Zn). Всѣ эти разложенія и соединенія происходятъ по закону Фарадея въ эквивалентныхъ количествахъ. Результатомъ этихъ химическихъ дѣйствій въ цѣпи является то, что цинкъ непрерывно растворяется въ сѣрной кислотѣ, и въ то же время на мѣдномъ электродѣ осаждается эквивалентное количество мѣди.

Черт. 129.



Мы видимъ отсюда, что при такомъ процессѣ жидкости должны непрерывно измѣняться, что онѣ не будутъ постоянно одного и того же состава. Изъ раствора мѣднаго купороса непрерывно выдѣляется мѣдь и взамѣнъ этого образуется сѣрная кислота. Слѣдовательно, растворъ будетъ дѣлаться все бѣднѣе содержаніемъ мѣднаго купороса, если мы въ него не будемъ подбавлять все новыхъ кристалловъ мѣднаго купороса, могущихъ раствориться. Жидкость, окружающая

цинкъ, состоявшая раньше изъ одного раствора сѣрной кислоты, дѣлается все богаче содержаніемъ цинковаго купороса, слѣдовательно, также измѣняется.

Когда цинкъ растворяютъ въ сѣрной кислотѣ, то, какъ учитъ термохимія, всегда образуется извѣстное количество тепла; напротивъ, на выдѣленіе мѣди изъ мѣднаго купороса затрачивается и притомъ значительно меньшее количество тепла. Слѣдовательно, химическія явленія въ цѣпи освобождаютъ извѣстное количество тепла. Однако, это количество тепла не остается свободнымъ въ элементѣ, не служитъ для того, чтобы повысить температуру элемента; энергія этого количества тепла превращается (по крайней мѣрѣ часть ея) въ электрическую энергію и служитъ для того, чтобы поддерживать электрическій токъ. Поэтому можно сказать, что когда въ элементѣ образуется и поддерживается электрическій токъ, то энергія тока, т. е. то количество работы, которое можетъ дать токъ, доставляется за счетъ теплоты, освобожденной вслѣдствіе химическихъ процессовъ въ цѣпи.

Съ этими явленіями мы можемъ ближе познакомиться, изслѣдуя ихъ въ количественномъ отношеніи. На каждый граммъ-эквивалентъ цинка, который идетъ въ растворъ, осаждается 1 граммъ-эквивалентъ мѣди, и въ то же время, на основаніи предыдущаго, черезъ растворъ и черезъ цѣпь, проходятъ 96540 кулоновъ положительнаго электричества отъ положительнаго электрода къ отрицательному. Та работа, которую совершаютъ электрическія силы при переносѣ этого числа кулоновъ отъ мѣста высшаго напряженія къ мѣсту низшаго, равна:

электродвиж. сила (въ вольтахъ) × количество электричества (въ кулонахъ). (Наименованіе: вольтъ-кулоны).

Работа равна, слѣдовательно, въ этомъ случаѣ:

электродвиж. сила × 96540 (вольтъ-кулоновъ).

Слѣдовательно, химическіе процессы связаны съ выдѣленіемъ такой именно работы электрическихъ силъ. Съ другой стороны, при химическихъ процессахъ происходитъ выдѣленіе опредѣленнаго количества теплоты. А именно: при раствореніи 1 граммъ-эквивалента цинка въ сѣрной кислотѣ, освобождается, какъ учитъ термохимія, количество тепла, равное 53045 единицамъ (вольтъ-калоріямъ), при выдѣленіи же мѣди изъ мѣднаго купороса на каждый эквивалентъ затрачивается 27980 калорій. Слѣдовательно, въ общемъ въ цѣпи освобождается 25065 калорій во время процесса. Все освобождающееся количество теплоты не переходитъ непремѣнно полностью въ электрическую энергію цѣпи; часть ея можетъ идти на повышеніе температуры элемента. Если бы, однако, все это термохимическое количество теплоты обратилось въ электрическую энергію (что въ иныхъ случаяхъ дѣй-

ствительно и происходитъ), то мы могли бы непосредственно вычислить, какъ велика должна быть электродвижущая сила нашего элемента (Даніеля) въ вольтахъ. Дѣйствительно (стр. 17), 1 вольтъ-кулонъ $= \frac{1}{9{,}81}$ килограммометра; съ другой стороны, какъ указываетъ механическая теорія тепла, одна малая калорія равна 0,426 кгм. Мы получаемъ, слѣдовательно, съ одной стороны, что

освобожденное количество теплоты $= 25065 \times 0{,}426$ кгм.,

а съ другой, что

выдѣляемая электрическая работа $= \frac{96540 \times \text{электродв. сила}}{9{,}81}$ кгм.

По высказанному предположенію, обѣ эти величины должны быть равны другъ другу, а потому получаемъ, что электродвижущая сила нашего элемента

$$= \frac{25065 \times 0{,}426 \times 9{,}81}{96540} \text{ вольтъ} = 1{,}085 \text{ вольта}.$$

И въ дѣйствительности электродвижущая сила элемента Даніеля имѣетъ именно такую величину. Однако, этотъ выводъ не во всѣхъ случаяхъ справедливъ. Вовсе не необходимо, чтобы все количество тепла, которое освобождается вслѣдствіе химическаго процесса въ элементѣ, превращалось всецѣло въ электрическую энергію. Часть этой теплоты можетъ пойти на то, чтобы повысить температуру элемента, и только другая часть выдѣлившагося тепла (теплоты реакціи) превращается въ электрическую энергію. Это въ дѣйствительности въ большинствѣ элементовъ такъ и бываетъ. Въ этомъ случаѣ наблюдаемая электродвижущая сила меньше, чѣмъ та, которая опредѣляется изъ величины теплоты реакціи. Однако, въ иныхъ случаяхъ бываетъ и обратное явленіе, т. е. что электродвижущая сила больше, чѣмъ она должна быть, судя по теплотѣ реакціи. Тогда необходимая энергія можетъ явиться только въ томъ случаѣ, если элементъ во время прохожденія тока самъ охлаждается и, слѣдовательно, теплота, отъ него отнимаемая, переходитъ въ электрическую энергію.

На основаніи вышеизложеннаго можно сказать, что прохожденіе электрическаго тока по проводнику, въ который введенъ элементъ, должно зависѣть отъ химическихъ процессовъ, происходящихъ въ элементѣ. Однако не всегда отсюда ясно, почему вообще возникаетъ токъ. Если, напримѣръ, цинковый стержень находится въ насыщенномъ растворѣ цинковаго купороса, то не происходитъ никакого замѣтнаго растворенія цинка. И если мѣдь помѣщена въ насыщенный растворъ мѣднаго купороса, то точно также не происходитъ ни растворенія мѣди, ни выдѣленія ея изъ раствора. И если помѣстить растворъ цинковаго купороса съ цинковымъ стержнемъ въ пористый глиняный цилиндръ и окружить послѣдній растворомъ мѣднаго купо-

роса, въ который погружена металлическая мѣдь, то, пока металлы не соединены, все-таки незамѣтно никакихъ химическихъ процессовъ. Представляется непонятнымъ, почему, во-первыхъ, при изслѣдованіи съ помощью электрометра, металлы оказываются противоположно наэлектризованными, и почему, во-вторыхъ, въ моментъ соединенія металловъ проводникомъ начинаетъ проходить токъ и начинается раствореніе цинка и выдѣленіе мѣди.

Для объясненія этого явленія оказалась весьма пригодной теорія растворовъ, о которой мы уже говорили (стр. 148). По этой теоріи, въ растворѣ нѣкоторой соли, напримѣръ, поваренной, растворяющіяся молекулы диссоціируютъ, т. е. большое число молекулъ распадается на іоны. Вещество, растворенное въ нѣкоторомъ растворителѣ, оказывается во многихъ отношеніяхъ подобнымъ тому же самому веществу въ газообразной формѣ. Такъ, газъ совершенно заполняетъ предоставленный ему объемъ, т. е. самъ собою разрѣжается, если только для этого есть свободное мѣсто; точно также и всякій растворъ самъ собою разжижается, если только имѣется достаточное количество растворителя. Подобно тому, какъ частицы газа сами по себѣ стремятся удалиться одна отъ другой, уйти на большее разстояніе, такъ и частицы растворенаго вещества сами по себѣ стремятся удалиться одна отъ другой, образовать между собою большіе промежутки. Въ случаѣ газа это стремленіе частицъ проявляется въ видѣ давленія, которое газъ оказываетъ на стѣнки содержащаго его сосуда и которое тѣмъ больше, чѣмъ большее количество газа находится въ этомъ сосудѣ. На основаніи этой аналогіи мы можемъ приписать и растворенному веществу также нѣкоторое давленіе, которое, однако, проявляется не въ стремленіи раздвинуть стѣнки сосуда, но въ постоянномъ стремленіи распредѣлить растворенное вещество въ возможно большемъ количествѣ растворителя и такимъ образомъ сдѣлать растворъ болѣе жидкимъ. Это давленіе, называемое осмотическимъ давленіемъ растворенаго вещества, можно измѣрить особыми методами. Чѣмъ больше число растворенныхъ молекулъ (граммъ-молекулъ) въ одномъ и томъ же количествѣ жидкости, тѣмъ больше осмотическое давленіе. Отношеніе числа растворенныхъ граммъ-молекулъ нѣкотораго вещества къ полному числу граммъ-молекулъ раствора называютъ концентраціей даннаго вещества въ растворѣ; такимъ образомъ, осмотическое давленіе нѣкотораго вещества въ растворѣ тѣмъ больше, чѣмъ больше его концентрація.

Итакъ, осмотическое давленіе стремится ослабить концентрацію раствора. Простѣйшимъ образомъ это можетъ быть достигнуто, если растворенную молекулу удалить изъ раствора, заставить ее выпасть. Но и у твердыхъ тѣлъ существуетъ подобное же стремленіе, именно стремленіе раствориться въ окружающихъ жидкостяхъ. Если привести какую-нибудь соль въ твердомъ видѣ въ соприкосновеніе съ нѣкс-

торой жидкостью, то частицы соли сами по себѣ переходятъ въ жидкость. Такимъ образомъ, можно говорить въ этомъ случаѣ также о нѣкоторомъ давленіи, которое заставляетъ частицы соли переходить въ жидкость. Это давленіе называютъ давленіемъ растворенія твердаго тѣла. Какъ видно теперь, давленіе растворенія дѣйствуетъ отъ твердаго тѣла по направленію къ жидкости, а осмотическое давленіе растворенаго вещества—наоборотъ, отъ жидкости: слѣдовательно, оба эти давленія противоположны другъ другу. Допустимъ теперь, что мы имѣемъ нѣкоторый растворъ соли Осмотическое давленіе стремится удалить изъ раствора растворенныя частицы; но какъ только одна изъ нихъ выдѣлится, начинаетъ дѣйствовать давленіе растворенія и гонитъ частицу обратно въ жидкость. Итакъ, пока давленіе растворенія вещества больше, чѣмъ осмотическое давленіе, ни одна растворенная частица не можетъ выдѣлиться. Только тогда, когда растворъ сдѣлается настолько концентрированнымъ, что осмотическое давленіе станетъ больше, чѣмъ давленіе растворенія вещества въ твердомъ видѣ, растворенныя частицы начинаютъ выдѣляться и процессъ этотъ продолжается до тѣхъ поръ, пока концентрація не уменьшится настолько, что осмотическое давленіе сдѣлается какъ разъ равнымъ давленію растворенія. Тогда наступаетъ равновѣсіе между растворомъ и веществомъ въ твердомъ видѣ.

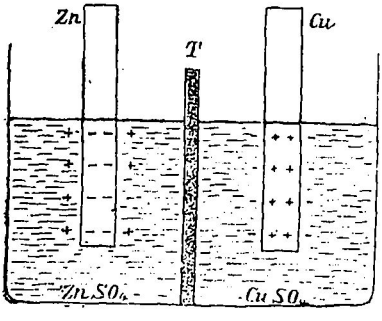
Примѣнимъ теперь къ случаю гальваническаго элемента эти общія представленія, отличающіяся простотой и ясностью и позволяющія вполнѣ разобраться въ процессахъ, которые происходятъ въ растворахъ. Когда мы вносимъ въ воду цинковый стержень, то въ силу давленія растворенія тотчасъ же цинкъ начинаетъ растворяться, т. е. частицы цинка начинаютъ стремиться переходить въ растворъ. Въ случаѣ растворенія металла мы должны предположить, что въ растворъ переходятъ не нейтральныя молекулы, а іоны, т. е. частицы, несущія положительный электрическій зарядъ; зарядъ этотъ положительный, такъ какъ іоны металла всегда заряжены положительно. Такимъ образомъ вода, въ которую войдутъ іоны цинка, будетъ заряжена положительно въ то время, какъ цинкъ, потерявшій положительный зарядъ, становится отрицательно наэлектризованнымъ. Итакъ, получается выводъ, что всякій металлъ, погруженный въ воду, оказывается отрицательно наэлектризованнымъ.

Дальнѣйшимъ слѣдствіемъ этого является то обстоятельство, что вообще можетъ раствориться только чрезвычайно малое количество металла. Іоны, сильно заряженные положительнымъ электричествомъ, и металлъ, сильно заряженный отрицательно, взаимно притягиваются и, такимъ образомъ, возникаетъ препятствіе для дальнѣйшаго перехода іоновъ въ растворъ, такъ что растворяется лишь не-

ощутимое на вѣсахъ количество металла; этого впрочемъ уже вполнѣ достаточно, чтобы между металломъ и жидкостью возникла разность напряженій.

Допустимъ теперь, что въ качествѣ жидкости взята не чистая вода, а растворъ соли соотвѣтственнаго металла; въ такомъ случаѣ вся разница будетъ въ томъ, больше или меньше давленіе растворенія соотвѣтственнаго металла сравнительно съ осмотическимъ давленіемъ раствора. Благородные металлы: золото, платина, серебро, мѣдь имѣютъ очень малое давленіе растворенія, другіе же, напримѣръ, цинкъ, кадмій, желѣзо—очень большое. Когда цинковый стержень находится въ растворѣ цинковаго купороса, то іоны цинка въ растворѣ имѣютъ опредѣленное осмотическое давленіе, которое должно быть тѣмъ больше, чѣмъ больше концентрація раствора. Это давленіе дѣйствуетъ обратно давленію растворенія; однако это послѣднее всегда остается нѣсколько больше, такъ что всегда нѣкоторое количество іоновъ цинка перейдетъ въ жидкость и, какъ и въ чистой водѣ, металлъ зарядится отрицательно, а жидкость положительно, только нѣсколько слабѣе. Если же будемъ имѣть дѣло съ мѣднымъ стержнемъ въ растворѣ мѣднаго купороса, то вообще осмотическое давленіе раствора больше, чѣмъ давленіе растворенія мѣди; такимъ образомъ въ этомъ случаѣ положительные іоны мѣди выдѣлятся изъ раствора и отложатся на металлѣ, который окажется положительно наэлектризованнымъ, растворъ же будетъ наэлектризованъ отрицательно. Какъ только выдѣлится ничтожное количество іоновъ, устанавливается равновѣсіе, такъ какъ электростатическія силы препятствуютъ дальнѣйшему ихъ выдѣленію. На черт. 130 показанъ цинковый стержень Zn въ растворѣ цинковаго купороса ($ZnSO_4$) и мѣдный стержень Cu въ растворѣ мѣднаго купороса ($CuSO_4$); жидкости раздѣлены перегородкой T изъ пористой глины; металлы не соединены. Цинкъ заряженъ отрицательно, а окружающая его жидкость положительно; мѣдь же, наоборотъ, имѣетъ положительный зарядъ, а находящаяся вокругъ нея жидкость—отрицательный.

Черт. 130.



Если теперь металлы соединить проводникомъ, то ихъ заряды взаимно уничтожаются и, вслѣдствіе этого, цинкъ можетъ посылать въ растворъ новые іоны въ то время, какъ изъ раствора мѣднаго купороса новыя количества мѣди будутъ отлагаться на электродѣ Cu.

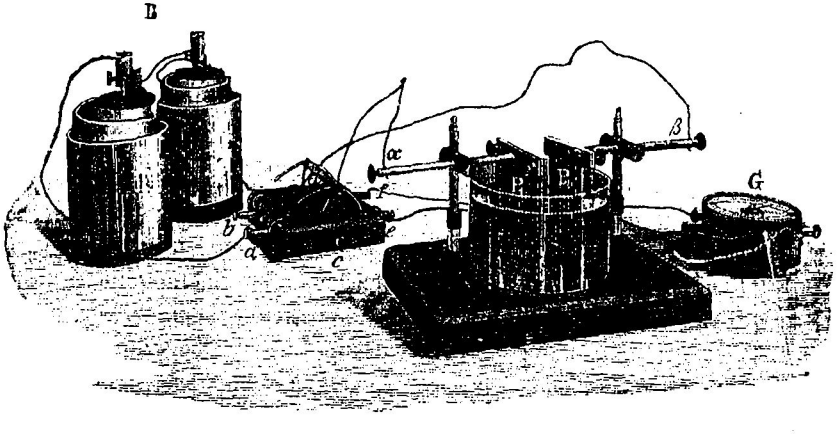
Изъ вышеизложеннаго мы можемъ сдѣлать слѣдующій выводъ. Чѣмъ меньше осмотическое давленіе раствора цинковаго купороса, тѣмъ легче могутъ іоны цинка переходить въ растворъ и тѣмъ, слѣдовательно, больше будетъ разность напряженій между цинкомъ и жидкостью. Обратно, чѣмъ больше осмотическое давленіе раствора мѣднаго купороса, тѣмъ больше іоновъ мѣди будетъ выдѣляться изъ раствора и потому тѣмъ больше будетъ разность напряженій между мѣдью и жидкостью. Такимъ образомъ, электродвижущая сила элемента, равная суммѣ этихъ двухъ разностей напряженій, будетъ увеличиваться, если мы будемъ брать болѣе концентрированный растворъ мѣднаго купороса и болѣе разбавленный растворъ цинковаго купороса. Это какъ разъ и наблюдается на опытѣ. Подобные же процессы происходятъ и во всякомъ другомъ элементѣ. Такимъ образомъ объясняются не только качественно, но и количественно явленія, происходящія при возникновеніи тока въ гальваническомъ элементѣ.

Возвратимся теперь снова къ электролизу жидкостей, черезъ которыя проходитъ токъ. Какъ мы уже нѣсколько разъ убѣждались, каждое дѣйствіе гальваническаго тока, зависящее отъ его направленія, можетъ обратно вызвать гальваническій токъ. Это справедливо также и въ случаѣ электролитическихъ дѣйствій тока. Если пропустить гальваническій токъ черезъ электролитическую ванну и разлагать такимъ образомъ токомъ жидкость, то ванна вслѣдствіе этого сама сдѣлается гальваническимъ элементомъ, т. е. въ ней появится электродвижущая сила, которая въ состояніи вызвать токъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ необходимость этого очевидна a priori. Пропустимъ, напримѣръ, токъ при помощи двухъ свинцовыхъ пластинокъ черезъ разбавленную сѣрную кислоту. Въ такомъ случаѣ сѣрная кислота разлагается, и на одной изъ свинцовыхъ пластинокъ выдѣляется кислородъ, окисляющій эту пластинку, и на ея поверхности образуется перекись свинца, что легко обнаружить по коричневой окраскѣ, принимаемой пластинкой; на другой же пластинкѣ выдѣляется водородъ. Теперь въ электролитической ваннѣ находятся слѣдовательно двѣ пластинки, но уже не изъ одинаковаго металла (двѣ чисто свинцовыя пластинки), а изъ разныхъ, именно одна, покрытая перекисью свинца, а другая изъ чистаго свинца. Но два различныхъ проводящихъ вещества въ жидкости оказываютъ другъ на друга электрическія дѣйствія; слѣдовательно въ электролитической ваннѣ должна появиться вслѣдствіе электролиза электродвижущая сила. Это слѣдствіе, вытекающее изъ столь простыхъ соображеній, дѣйствительно и оправдывается на опытѣ. Но электродвижущая сила возникаетъ въ вольтаметрѣ не только тогда, когда одинъ изъ электродовъ покрытъ замѣтнымъ слоемъ другого вещества. Даже въ такихъ случаяхъ, когда нельзя ни замѣтить, ни

даже предположить измѣненія электродовъ, послѣдніе образуютъ другъ съ другомъ послѣ прохожденія тока электродвижущую силу. Опустимъ, напримѣръ, двѣ платиновыхъ пластинки въ подкисленную воду и проведемъ чрезъ такую ванну токъ: тогда, какъ извѣстно, на одномъ электродѣ образуется водородъ, а на другомъ кислородъ. Эти газы, какъ можно было бы предположить, не измѣняютъ платиновыхъ электродовъ, такъ что электроды не должны были бы при этомъ вызвать появленіе электродвижущей силы. Однако, и въ данномъ случаѣ это явленіе наблюдается. Говорятъ, что электроды поляризуются. Если два поляризованныхъ электрода соединить другъ съ другомъ проволокой, то по ней и черезъ электролитическую ванну пойдетъ электрическій токъ. Этотъ токъ называется поляризаціоннымъ токомъ.

Для демонстрированія явленія поляризаціоннаго тока удобнѣе всего пользоваться расположеніемъ приборовъ, въ которомъ при помощи переключателя электролитическую ванну сначала соединяютъ съ батареей, а затѣмъ, выключивъ батарею, соединяютъ ее съ гальванометромъ. Такимъ переключателемъ можетъ служить коммутаторъ, изображенный на черт. 62, у котораго вынуты среднія поперечныя проволоки. Если соединить, какъ показано на черт. 131, два элемента Бунзена B съ ртутными чашечками a и b, а электролитическую ванну

Черт. 131.



(стеклянный сосудъ наполненный сѣрной кислотой, въ которую опущены платиновые электроды P_1 и P_2) съ чашечками c и d и поставить, какъ показано на чертежѣ, дугу коммутатора налѣво, то токъ будетъ поляризовать электроды въ электролитической ваннѣ. Но если перекинуть дугу направо, то ванна P_1 P_2 будетъ соединена уже не съ элементами Бунзена, а съ гальванометромъ G, который присоединенъ къ ртутнымъ чашечкамъ e и f; тогда стрѣлка гальванометра отклоняется и указываетъ на присутствіе поляризаціоннаго тока.

При этомъ совершенно безразлично, состоитъ ли вольтаметръ изъ сѣрной кислоты съ платиновыми электродами, или изъ какого угодно электролита съ электродами изъ любого металла: всегда при прохожденіи тока по разлагаемой жидкости электроды поляризуются, и вслѣдствіе этого возникаетъ въ электролитической ваннѣ электродвижущая сила. (Единственно лишь тогда, когда жидкость является растворомъ солей того же металла, изъ котораго состоятъ электроды, напр. цинковые электроды и растворъ цинковаго купороса, лишь въ этомъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ такъ называемыми неполяризующимися электродами).

Эта электродвижущая сила вызываетъ токъ, который идетъ по направленію, обратному направленію первоначальнаго поляризующаго тока. Такъ, напримѣръ, на черт. 131 положительный поляризующій токъ идетъ отъ элементовъ Бунзена B по a, c, α къ P_1 и отъ него черезъ жидкость къ P_2, затѣмъ по β, d, b обратно къ B. Но въ поляризаціонномъ токѣ положительный токъ течетъ обратно, отъ P_2 черезъ жидкость къ P_1, слѣдовательно на черт. 131 онъ идетъ по направленію P_2 P_1: α, c, e, G, f, d, β. Это явленіе происходитъ такъ не только въ данномъ случаѣ, когда платиновые электроды поляризуются въ подкисленной водѣ, но и всегда. Поляризаціонный токъ всегда имѣетъ направленіе обратное направленію первоначальнаго тока; послѣдній называютъ поляризующимъ токомъ. Пластинка P_1 соединена съ положительнымъ полюсомъ батареи, P_2 — съ отрицательнымъ. Послѣ поляризаціи токъ въ элементѣ идетъ отъ P_2 къ P_1, а внѣ его отъ P_1 черезъ гальванометръ къ P_2. Пластинка P_1 для поляризаціоннаго тока — положительный электродъ. Вообще электродъ, соединенный во время поляризаціи съ положительнымъ полюсомъ батареи, служитъ тоже положительнымъ электродомъ и для поляризаціоннаго тока.

Уже въ то время пока проходитъ поляризующій токъ, электроды въ электролитической ваннѣ обнаруживаютъ другъ относительно друга электродвижущую силу, и поэтому уже во время поляризаціи идетъ нѣкоторый токъ отъ ванны по цѣпи навстрѣчу поляризующему току. Слѣдовательно, токъ, идущій отъ батареи, напр. изъ двухъ бунзеновскихъ элементовъ, черезъ электролитъ, ослабляется обратнымъ по направленію поляризаціоннымъ токомъ.

Мы имѣемъ двѣ противодѣйствующія одна другой электродвижущія силы, и потому законъ Ома выразится такъ:

$$\text{Сила тока} = \frac{\text{электродвиж. сила батареи} - \text{электродвиж. сила поляризаціи}}{\text{общее сопротивленіе}}.$$

Электродвижущая сила поляризаціи электродовъ зависитъ отъ природы электродовъ и разлагаемой жидкости.

Благодаря поляризаціонному току аніоны раствора начинаютъ двигаться къ аноду, катіоны—къ катоду, отдаютъ электродамъ свои заряды и либо вполнѣ, либо отчасти выдѣляются на нихъ въ видѣ ненаэлектризованныхъ молекулъ. Газообразныя тѣла, какъ водородъ или кислородъ, отчасти выдѣляются въ воздухъ, отчасти же остаются на электродахъ и окклюзируются. Но эти вещества, выдѣлившіяся на электродахъ, или поглощенныя, снова стремятся перейти въ растворъ: они обладаютъ извѣстнымъ давленіемъ растворенія, которое гонитъ ихъ обратно въ жидкость навстрѣчу дѣйствію поляризующаго тока. По этой именно причинѣ поляризаціонный токъ имѣетъ въ жидкости направленіе обратное току поляризующему.

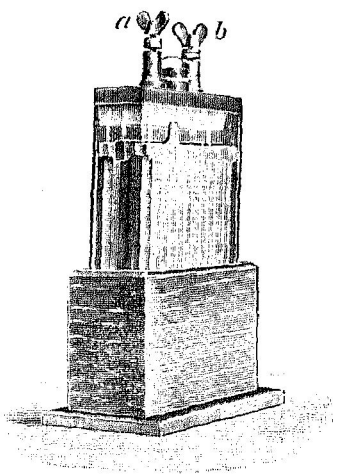
Такимъ образомъ, каждый поляризаціонный элементъ имѣетъ опредѣленную электродвижущую силу, которая зависитъ отъ природы веществъ, отложившихся на электродахъ, и отъ природы жидкости. Когда сила поляризующаго тока растетъ, то такъ же увеличивается сначала и электродвижущая сила поляризаціоннаго элемента до извѣстнаго предѣла, послѣ чего она остается при этой постоянной наибольшей своей величинѣ, такъ что дальнѣйшее увеличеніе силы поляризующаго тока не имѣетъ болѣе никакого дѣйствія. Въ случаѣ, если электродвижущая сила поляризующаго тока ниже этого maximum'а, то она, понятно, не можетъ зарядить электродовъ вольтаметра до maximum'а ихъ поляризаціи, потому что, какъ только электродвижущая сила поляризаціоннаго тока превзошла бы силу заряжающаго элемента, то токъ пошелъ бы въ обратномъ направленіи и уничтожилъ бы совершенно поляризацію. Слѣдовательно до достиженія этого maximum'а электродвижущая сила поляризаціоннаго тока равна электродвижущей силѣ поляризующаго тока. Такъ напр., при платиновыхъ электродахъ, опущенныхъ въ подкисленную воду, maximum поляризаціи есть 2,7 вольта; эта наибольшая электродвижущая сила, которую можно вызвать поляризаціей платиновыхъ пластинокъ въ подкисленной водѣ. Такимъ образомъ каждый поляризаціонный элементъ имѣетъ нѣкоторую опредѣленную электродвижущую силу.

Если отъ поляризаціоннаго элемента, который называютъ также вторичнымъ элементомъ, пропустить по цѣпи токъ, то послѣдній пойдетъ по этому элементу самъ по направленію, обратному поляризовавшему току. Этотъ токъ во вторичномъ элементѣ самъ долженъ вызвать электролизъ. Но такъ какъ онъ идетъ въ направленіи обратномъ первоначальному, то на платиновой пластинкѣ, покрытой кислородомъ, осядетъ въ этомъ случаѣ водородъ, а на пластинкѣ, покрытой водородомъ, получится кислородъ. Слѣдовательно, электролитическія измѣненія на пластинкахъ, вызванныя поляризующимъ токомъ, мало-по-малу уменьшаются по мѣрѣ того, какъ идетъ поляризаціонный токъ, и тѣмъ больше, чѣмъ дольше онъ идетъ. Наконецъ, когда эти измѣненія на пла-

тиновыхъ пластинкахъ совершенно нейтрализуются, совершенно исчезнутъ, то и поляризаціонный токъ перестанетъ идти. Поляризаціонный токъ изъ поляризованной электролитической ванны можетъ идти, слѣдовательно, только опредѣленное время, именно до тѣхъ поръ, пока не уничтожатся вполнѣ химическія измѣненія, возникшія въ ваннѣ при поляризаціи.

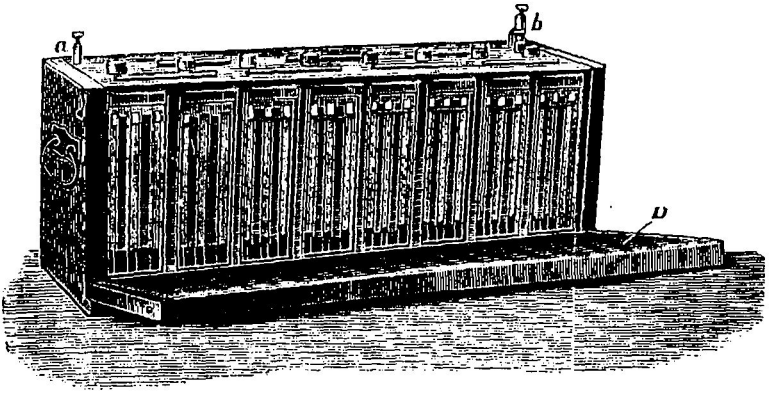
Понятно, что рядъ такихъ вторичныхъ элементовъ можно соединить одинъ за другимъ послѣдовательно и параллельно. Тогда получится поляризаціонная батарея или вторичная батарея. Такимъ образомъ соединяя рядъ подобныхъ вторичныхъ элементовъ послѣдовательно, можно получить батарею съ очень большой электродвижущей силой, или при параллельномъ соединеніи,—батарею, дающую очень сильные токи, но только въ теченіе извѣстнаго времени. Для дальнѣйшаго пользованія ею слѣдуетъ ее снова поляризовать, или, какъ говорятъ, зарядить батарею. Въ техническомъ примѣненіи эти вторичныя батареи называютъ аккумуляторами, такъ какъ благодаря имъ можно собирать и накоплять энергію поляризующаго тока. Въ III главѣ второй части мы подробнѣе остановимся на этихъ аккумуляторахъ. Здѣсь же упомянемъ только, что примѣняемые теперь аккумуляторы состоятъ изъ свинцовыхъ пластинъ, помѣщенныхъ въ разбавленной сѣрной кислотѣ. При поляризаціи пластинъ внѣшнимъ токомъ,—при заряженіи аккумулятора,—одна изъ пластинъ до нѣкоторой толщины превращается въ перекись свинца, другая же остается чистымъ свинцомъ. Когда аккумуляторъ заряженъ, онъ имѣетъ электродвижущую силу въ 2,02 вольта, и при соединеніи полюсовъ его внѣшнею цѣпью — при разрядѣ его — способенъ давать токъ до тѣхъ поръ, пока почти весь его зарядъ не будетъ потребленъ. Такіе свинцовые аккумуляторы удобны не только въ большомъ видѣ, въ чемъ мы убѣдимся во второй части, но и въ видѣ небольшихъ элементовъ, приспособленныхъ для опытовъ. Въ лабораторіяхъ, гдѣ раньше употреблялись гальваническіе элементы, теперь почти исключительно пользуются аккумуляторами. На черт. 132 изображенъ небольшой переносный аккумуляторъ въ 2 вольта; въ *a* и *b* его полюсы. Внутри стекляннаго сосуда находятся свинцовыя пластинки, а именно двѣ параллельно соединенныя отрицательно заряженныя пластинки, между которыми находятся пластинки, покрытыя слоемъ

Черт. 132.



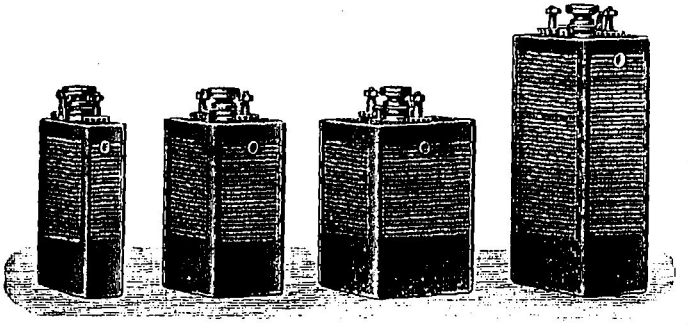
перекиси свинца. На черт. 133 изображена большая аккумуляторная батарея въ 16 вольтъ напряженія, состоящая изъ 8 элементовъ бо́льшаго размѣра. Они помѣщены въ переносномъ деревянномъ ящикѣ съ откидной передней стѣнкой D, которую обыкновенно держатъ поднятой; полюсы батареи у *a* и *b*.

Черт. 133.



Въ самое послѣднее время Нѣмецкая компанія аккумуляторовъ Эдисона выпустила новый типъ эдисоновскихъ аккумуляторовъ, очень удобный для лабораторной практики. Они обладаютъ меньшей электродвижущей силой, а именно въ 1,23 вольта, но, при одинаковой величинѣ сравнительно съ обыкновенными свинцовыми аккумуляторами, они, нисколько не портясь, позволяютъ получить болѣе сильные токи. На черт. 134 представлены различные типы такихъ аккумуляторовъ; подробнѣе мы на нихъ остановимся въ III главѣ второй части.

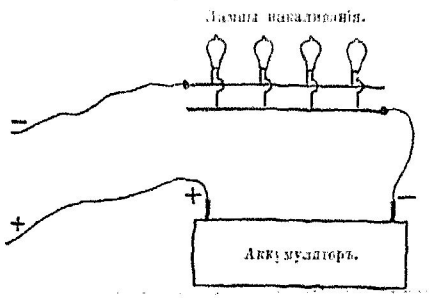
Черт. 134.



Аккумуляторы должны быть заряжены время отъ времени, чтобы они были всегда готовы давать токъ. Для аккумуляторовъ общеупотребительныхъ типовъ практикою опредѣляется наибольшая сила тока какъ для зарядки, такъ и для разрядки каждаго элемента; пропусканіе токовъ большихъ опредѣленной величины вредно отражается на прочности аккумулятора. Напримѣръ, свинцовые аккумуляторы, изображен-

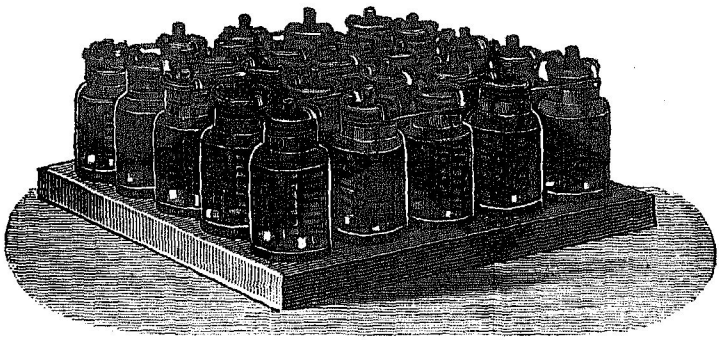
ные на черт. 132, заряжаются токомъ приблизительно въ 5 амперъ; аккумуляторы же Эдисона, въ зависимости отъ ихъ величины (на черт. даны ихъ четыре размѣра), заряжаются токами отъ 7.5 до 30 амперъ. Для заряженія аккумуляторовъ конечно удобнѣе всего пользоваться токомъ отъ центральной электрической станціи, если имѣется станціонная сѣть. Однако, обыкновенно такія сѣти имѣютъ напряженіе въ 110 вольтъ и при простомъ включеніи аккумулятора чрезъ него пошелъ бы слишкомъ сильный токъ; поэтому, кромѣ аккумулятора, включаютъ еще и ламповый реостатъ (стр. 126). На черт. 135 изображена схема такого соединенія. Положительный полюсъ сѣти центральной станціи соединенъ съ положительнымъ полюсомъ аккумулятора, а между отрицательными полюсами сѣти и аккумулятора включенъ ламповый реостатъ (или одна лампа накаливанія). Такъ какъ обыкновенно неизвѣстно, какой полюсъ центральной сѣти положительный и какой отрицательный, то правильное соединеніе находятъ просто путемъ опыта. При правильномъ включеніи аккумулятора въ сѣть лампы должны горѣть не такъ ярко, какъ обыкновенно, такъ какъ главный токъ и токъ отъ аккумулятора дѣйствуютъ другъ противъ друга; при неправильномъ же соединеніи онѣ горятъ ярче, ибо оба тока суммируются.

Черт. 135.



Цѣлый рядъ маленькихъ аккумуляторовъ,—нѣсколько тысячъ ихъ, соединенныхъ послѣдовательно, и могущихъ, слѣдовательно, дать напряженія до нѣсколькихъ тысячъ вольтъ, называютъ аккумуляторной батареей высокаго напряженія. На черт. 136 изображена батарея изъ 25 такихъ небольшихъ аккумуляторовъ, примѣняемыхъ въ

Черт. 136.



Имперскомъ физико-технич. институтѣ. Каждый стаканъ содержитъ два грушевидныхъ куска свинца, служащихъ электродами, и снабженъ плотной покрышкой. Стеклянная трубочка, вставленная въ крышку, позволяетъ наполнять стаканъ сѣрной кислотой и даетъ выходъ образующимся при заряженіи газамъ. Понятно, что при заряженіи такой батареи токомъ, напр., въ 110 вольтъ напряженія, нужно заряжать каждые 50 элементовъ отдѣльно, или соединять параллельно нѣсколько рядовъ по 50 элементовъ въ каждомъ. Если затѣмъ всѣ эти ряды или часть ихъ соединить послѣдовательно, то можно получить токи съ весьма высокимъ напряженіемъ. Такъ какъ при токахъ столь высокихъ напряженій слѣдуетъ особенно обращать вниманіе на изоляцію всѣхъ частей, то отдѣльные элементы тщательно изолированы.

Возникновеніе поляризаціи въ жидкости, по которой проходитъ токъ, выясняетъ намъ, почему невозможно опредѣлить сопротивленіе жидкостей пользуясь мостикомъ Витстона, какъ это дѣлается для опредѣленія сопротивленія твердыхъ тѣлъ. Дѣйствительно, когда токъ идетъ по жидкости, то появляется противодѣйствующая электродвижущая сила, величина которой неизвѣстна и притомъ подвержена измѣненіямъ. Поэтому и нельзя къ жидкости примѣнить непосредственно методъ опредѣленія сопротивленій мостикомъ Витстона. Для того, чтобы можно было относиться къ жидкости, какъ къ проводнику перваго рода, необходимо уничтожить въ ней вліяніе поляризаціи, а этого возможно достигнуть при помощи перемѣнныхъ токовъ, какъ мы уже видѣли на стр. 104. Проводникъ второго рода относится къ перемѣннымъ токамъ такъ же, какъ и проводникъ перваго рода. Тогда не возникаетъ никакой поляризаціи, и потому съ жидкостью можно обращаться такъ же, какъ и съ металломъ.

Во многихъ случаяхъ электрическій токъ, проходя чрезъ жидкость и разлагая ее, производитъ особыя весьма интересныя явленія. Именно можетъ случиться, что вещества, выдѣляющіяся на томъ или другомъ электродѣ, образуютъ съ веществомъ электрода химическое соединеніе, которое оказывается столь дурнымъ проводникомъ, что самый токъ совершенно или почти совершенно прекращается. Въ этомъ случаѣ, какъ говорятъ, на поверхности электрода возникаетъ значительное сопротивленіе перехода. Любопытный примѣръ подобнаго явленія представляетъ электролизъ раствора двууглекислаго натра (соды), когда положительнымъ электродомъ служитъ алюминій. Благодаря току, на алюминіевомъ электродѣ выдѣляется кислородъ, который вступаетъ съ алюминіемъ въ соединеніе, столь дурно проводящее токъ, что почти совершенно прекращается прохожденіе этого тока. Если примѣнена электродвижущая сила не свыше 100 вольтъ, то черезъ такую электролитическую ванну въ томъ направленіи, при которомъ алюминій является анодомъ, проходитъ лишь очень слабый токъ, всего

въ нѣсколько миллиамперовъ; при большихъ же электродвижущихъ силахъ и сила тока въ цѣпи, несмотря на сопротивленіе перехода, возрастаетъ. Алюминіевый электродъ, погруженный въ растворъ соды и соединенный съ положительнымъ полюсомъ, не пропускаетъ тока, имѣющаго напряженіе въ 100 вольтъ. Если измѣнить направленіе тока, т. е. соединить алюминіевый электродъ съ отрицательнымъ полюсомъ, то тогда токъ проходитъ черезъ электролитическую ванну безъ всякаго затрудненія, сообразно своему напряженію. Электролитическій сосудъ съ положительнымъ полюсомъ изъ алюминія и какимъ угодно отрицательнымъ (напр. изъ свинца, желѣза или угля) дѣйствуетъ, какъ клапанъ. Онъ въ одномъ направленіи совсѣмъ не пропускаетъ токовъ, имѣющихъ напряженіе ниже 100 вольтъ, тогда какъ въ другомъ направленіи, когда катодомъ является алюминій, пропускаетъ ихъ совсѣмъ свободно. Такіе приборы называются выпрямителями тока Греца; жидкости, находящіяся въ нихъ, должны обладать свойствомъ выдѣлять на анодѣ кислородъ непосредственно, или вслѣдствіе вторичныхъ процессовъ. Особенно удобными въ этомъ отношеніи жидкостями являются слѣдующія: растворы фосфорнокислой соли натрія, борнокислой соли аммонія, соды и вообще растворы солей, содержащихъ слабыя кислоты, какъ напр. фосфорную, борную или угольную кислоту. Въ главѣ IV второй части мы опишемъ очень важное примѣненіе такихъ выпрямителей.

ГЛАВА VII.

Магнитныя дѣйствія электрическаго тока.

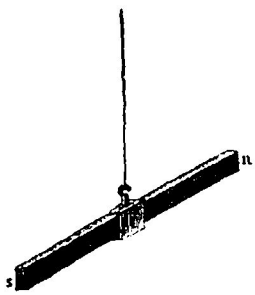
Всѣ дѣйствія электрическаго тока, о которыхъ мы говорили въ предыдущихъ главахъ, проявлялись на пути самого тока. Цѣпь тока нагрѣвалась по закону Джоуля, и на мѣстахъ соединенія двухъ различныхъ металловъ происходило явленіе Пельтье. На мѣстѣ перерыва сильнаго тока возникала вольтова дуга; наконецъ, жидкости, по которымъ проходилъ токъ, подвергались электролизу и разлагались на свои составныя части.

Однако, вышеприведенными явленіями далеко еще не исчерпывается кругъ дѣйствій электрическаго тока. Уже въ методѣ измѣренія, который мы примѣняли для электрическаго тока (съ помощью гальванометровъ), мы пользовались дѣйствіемъ тока на магнитъ, причемъ отклоненіе магнитной стрѣлки отъ ея естественнаго направленія сѣверъ-югъ указывало намъ на присутствіе электрическаго тока. Это дѣйствіе представляетъ, однако, лишь совершенно частный случай въ обширномъ

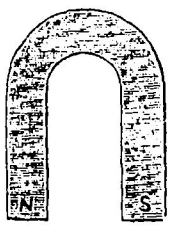
и важномъ ряду зависимостей, существующихъ между электричествомъ и магнитами и подробно изслѣдованныхъ различными физиками. Это общее ученіе объ отношеніяхъ электрическаго тока къ магнитизму называютъ «электромагнитизмомъ».

Извѣстно, что каждый магнитъ имѣетъ два полюса—сѣверный и южный. Магнитамъ, которые употребляются на практикѣ, обыкновенно придаютъ форму стержня, какъ показано на черт. 137, или форму подковы (черт. 138), или наконецъ—стрѣлки (черт. 139). Если подвѣсить магнитный стержень или магнитную стрѣлку, и притомъ такъ, чтобы они могли свободно вращаться въ горизонтальной плоскости, то они всегда примутъ совершенно опредѣленное направленіе. Тотъ конецъ, который обращенъ на сѣверъ, называютъ сѣвернымъ полюсомъ, а противоположный конецъ — южнымъ полюсомъ магнита. Кромѣ этого свойства, каждый магнитъ имѣетъ еще всѣмъ извѣстное важ-

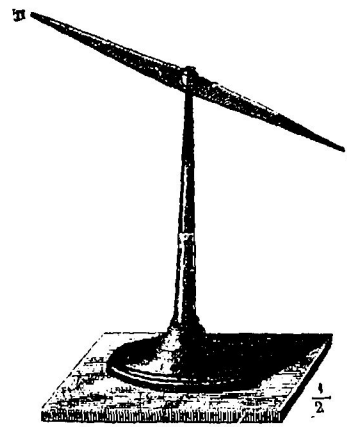
Черт. 137.



Черт. 138.



Черт. 139.



ное свойство притягивать или отталкивать другіе магниты. Законы притяженія и отталкиванія двухъ полюсовъ магнита совершенно тѣ же, какъ и законы притяженія и отталкиванія двухъ наэлектризованныхъ тѣлъ. Одноименные магнитные полюсы отталкиваются, а разноименные притягиваются.

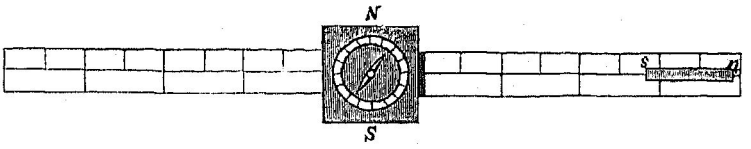
Мы никоимъ образомъ не можемъ имѣть отдѣльно одинъ магнитный полюсъ, но всегда на одномъ и томъ же кускѣ желѣза оказывается и противоположный по знаку полюсъ. Это представляетъ существенное отличіе отъ явленій электрическихъ. Дѣйствительно, мы вѣдь можемъ посредствомъ, напримѣръ, тренія наэлектризовать нѣкоторое

тѣло положительно, отрицательное же электричество распредѣляется при этомъ на совершенно другомъ тѣлѣ, удаленномъ отъ перваго. Напротивъ, въ случаѣ магнита, всегда оба полюса находятся вмѣстѣ на одномъ и томъ же кускѣ желѣза, но не на двухъ отдѣльныхъ кускахъ; поэтому силы, вызываемыя магнитомъ, всегда зависятъ отъ обоихъ полюсовъ. Можно, однако, сдѣлать магнитъ очень длиннымъ, взявъ, напримѣръ, длинную намагниченную вязальную иглу, и тогда часто можно наблюдать почти исключительно дѣйствіе только одного полюса.

То обстоятельство, что магнитная стрѣлка сама собою постоянно указываетъ на сѣверъ, какъ извѣстно, объясняется тѣмъ, что сама земля представляетъ собою магнитъ, южный полюсъ котораго лежитъ на сѣверѣ, такъ что къ нему обращаются всѣ сѣверные полюсы магнитныхъ стержней. То направленіе, въ которомъ устанавливается въ нѣкоторомъ мѣстѣ земного шара магнитная стрѣлка, называютъ *магнитнымъ меридіаномъ* этого мѣста. Направленіе его однако не вполнѣ совпадаетъ съ направленіемъ географическаго меридіана этого мѣста. Итакъ, въ каждомъ мѣстѣ земной поверхности нѣкоторая сила приводитъ магнитную стрѣлку въ положеніе магнитнаго меридіана и удерживаетъ ее въ этомъ направленіи. Если поэтому вывести стрѣлку изъ положенія меридіана, то послѣ нѣсколькихъ колебаній она снова установится въ этомъ положеніи. Въ каждомъ мѣстѣ земной поверхности, какъ говорятъ, существуетъ извѣстная *горизонтальная составляющая* магнитной силы. Величина ея различна для различныхъ точекъ земной поверхности; вскорѣ мы познакомимся съ методомъ измѣренія этой величины.

Для того, чтобы лучше понять явленія магнитизма, мы должны изыскать способъ для количественнаго его выраженія въ числахъ. Уже изъ простого опыта, который мы можемъ произвести, держа въ рукѣ ключъ и поднося его къ магниту, мы убѣждаемся, что разные магниты дѣйствуютъ съ различною силою. Если одинъ магнитъ дѣйствуетъ

Черт. 140.



сильнѣе другого, то говорятъ, что первый обладаетъ бо́льшимъ *магнитнымъ моментомъ*, и мы должны прежде всего найти способъ численно сравнивать между собою магнитные моменты различныхъ магнитовъ. Простѣйшій способъ состоитъ въ слѣдующемъ: въ серединѣ линейки съ дѣленіями помѣщаютъ стрѣлку компаса (черт. 140) и под-

носятъ къ ней на нѣкоторое разстояніе испытуемый магнитный стержень $s\ n$, какъ то показано на чертежѣ. Вслѣдствіе магнитнаго дѣйствія стержня стрѣлка компаса отклонится на нѣкоторый небольшой уголъ отъ направленія магнитнаго меридіана. Если мы на мѣсто $s\ n$ положимъ другіе магниты, отличающіеся по силѣ отъ перваго, то стрѣлка отклонится на иные углы и эти углы отклоненія будутъ намъ служить мѣрою магнитныхъ моментовъ испытуемыхъ стержней. Можно поступать и иначе, а именно, помѣщать различные по силѣ магниты на неодинаковыхъ разстояніяхъ—такихъ, чтобы стрѣлка каждый разъ отклонялась на одинъ и тотъ же уголъ. Въ такомъ случаѣ моменты отдѣльныхъ магнитовъ относятся обратно пропорціонально третьимъ степенямъ разстояній между серединами стрѣлки и магнитовъ. Теперь остается только взять нѣкоторый опредѣленный стержень и принять величину его магнитнаго момента за единицу; тогда мы будемъ въ состояніи выражать въ этихъ единицахъ всѣ магнитные моменты магнитныхъ стержней, стрѣлокъ и т. д. Въ обычно принятой единицѣ, магнитный стержень, имѣющій около 15 см. длины и форму, изображенную на черт. 137, когда онъ сильно намагниченъ, обладаетъ моментомъ равнымъ приблизительно 1000 единицъ.

Допустимъ, что въ нѣкоторомъ пространствѣ существуютъ по какой бы то ни было причинѣ магнитныя силы; дѣйствіе ихъ на свободно подвѣшенную магнитную стрѣлку будетъ проявляться въ стремленіи установить стрѣлку въ направленіи магнитной силы. Поэтому можно обратно судить о направленіи магнитной силы по направленію, въ которомъ устанавливается маленькая свободно подвѣшенная магнитная стрѣлка. Этимъ мы вскорѣ воспользуемся. Пространство, въ которомъ по какой бы то ни было причинѣ дѣйствуютъ магнитныя силы, называютъ магнитнымъ полемъ. Въ частномъ случаѣ земля также обладаетъ магнитнымъ полемъ. Чѣмъ больше силы, съ которыми дѣйствуетъ нѣкоторое магнитное поле на данный магнитный стержень, тѣмъ больше, какъ говорятъ, напряженіе поля.

При посредствѣ магнитнаго стержня, магнитный моментъ котораго намъ извѣстенъ, мы можемъ опредѣлить для любого мѣста напряженіе магнитнаго поля земли въ горизонтальномъ направленіи, т. е. такъ называемую горизонтальную составляющую магнитнаго поля земли. Для этого подвѣсимъ такой стержень на нити; онъ немедленно установится въ меридіанѣ. Если мы нѣсколько отклонимъ его и затѣмъ предоставимъ самому себѣ, то онъ начнетъ совершать колебанія около положенія равновѣсія, стремясь вернуться къ направленію меридіана. Чѣмъ сильнѣе напряженіе магнитнаго поля, тѣмъ быстрѣе онъ будетъ колебаться; по продолжительности одного подобнаго колебанія, которое легко измѣрить, мы можемъ опредѣлить напряженіе магнитнаго поля земли, дѣйствующаго на магнитный стержень. Если принять, что еди-

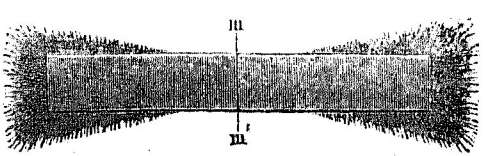
ницѣ равно напряженіе того поля, которое оказываетъ вращательную силу, равную 1 на магнитный стержень, обладающій моментомъ, равнымъ 1, то мы можемъ напряженіе любого поля выражать опредѣленными числами. Такимъ образомъ найдено, что горизонтальная составляющая земного магнитнаго поля въ различныхъ мѣстахъ земной поверхности различна по величинѣ. Въ Европѣ, напримѣръ, ея величина, выраженная въ установленныхъ нами единицахъ, колеблется между 0,24 (на югѣ) и 0,12 (на сѣверѣ); въ Мюнхенѣ она почти точно равна 0,20; въ Петербургѣ 0,16.

Подобно тому, какъ мы нашли возможность измѣрить напряженіе магнитнаго поля земли, мы можемъ такъ же, по крайней мѣрѣ въ принципѣ, измѣрить и напряженіе всякаго другого магнитнаго поля, какимъ бы магнитомъ оно ни было создано. Ясно, конечно, что такое поле будетъ имѣть различное напряженіе, смотря по тому, на какомъ разстояніи отъ магнита мы будемъ находиться. Такъ, напримѣръ, удалось получить столь сильное поле, что его напряженіе выражается числомъ 30000; это поле въ 150000 разъ сильнѣе горизонтальной составляющей силы магнитнаго поля земли.

Теперь мы познакомимся еще съ нѣкоторыми свойствами магнитовъ.

Какъ извѣстно, магнитъ дѣйствуетъ не только на другой магнитъ (притягательно или отталкивательно), но также и на ненамагниченное желѣзо; а именно оно всегда притягивается магнитомъ. Это происходитъ вслѣдствіе явленія совершенно аналогичнаго электрической индукціи. Дѣйствительно, если ненамагниченный кусокъ мягкаго желѣза приблизить къ магниту, то вслѣдствіе этого онъ самъ намагнитится, совершенно такъ же, какъ и ненаэлектризованное тѣло пріобрѣтаетъ электрическія свойства подъ вліяніемъ индукціи находящагося вблизи него наэлектризованнаго тѣла. Въ этомъ случаѣ говорятъ, что магнитъ возбуждаетъ магнитизмъ въ ненамагниченномъ кускѣ желѣза вслѣдствіе магнитнаго вліянія или магнитной индукціи. Поэтому мягкое ненамагниченное желѣзо всегда притягивается магнитомъ, такъ какъ каждый полюсъ возбуждаетъ въ находящемся вблизи него концѣ куска мягкаго желѣза противоположный ему полюсъ, а въ дальнемъ концѣ—одноименный. Понятно, что притяженіе между двумя противоположными полюсами, находящимися вблизи другъ друга, пересиливаетъ, и, подверженный индукціи кусокъ желѣза притягивается. Въ этомъ можно легко убѣдиться, если погрузить магнитный стержень въ желѣзныя опилки и затѣмъ его вынуть; онѣ пристаютъ

Черт. 141.

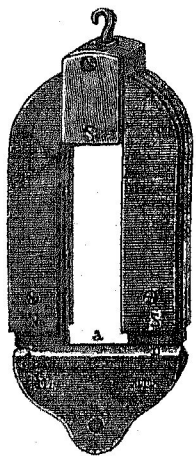


къ концамъ магнитнаго стержня (черт. 141), такъ какъ каждая частичка опилокъ превратилась въ магнитъ.

Если подвергнутый индукціи кусокъ мягкаго желѣза снова удалить отъ магнита, то онъ совершенно потеряетъ свой магнитизмъ. Иначе дѣло обстоитъ со сталью. Намагниченный посредствомъ индукціи кусокъ стали всегда сохраняетъ часть своего магнитизма, даже и въ томъ случаѣ, если его удалить отъ индуктирующаго тѣла. Извѣстно, что можно ненамагниченные куски мягкаго желѣза и стали намагнитить, натирая ихъ уже готовымъ магнитомъ; однако при этомъ также оказывается, что мягкое желѣзо очень быстро теряетъ свой магнитизмъ, между тѣмъ какъ сталь его сохраняетъ. Поэтому такъ называемые *постоянные магниты* дѣлаютъ всегда изъ стали или еще лучше изъ *вольфрамовой стали*. Въ отличіе отъ постоянныхъ, *временными магнитами* называютъ тѣ, которые остаются намагниченными только до тѣхъ поръ, пока вблизи нихъ находится индуктирующее магнитное тѣло.

Каждый магнитъ проявляетъ магнитныя свойства не только у полюсовъ, но всюду, на всемъ своемъ протяженіи; на полюсахъ магнитныя силы обнаруживаются особенно рѣзко, потому что здѣсь онѣ вызываютъ сильныя притягательныя и отталкивательныя дѣйствія. Если полюсы магнита соединить кускомъ желѣза (который называется якоремъ), то тогда говорятъ, что магнитъ *замкнутъ*. Подобный магнитъ проявляетъ значительно меньшія притягательныя и отталкивательныя силы на внѣшніе предметы, чѣмъ незамкнутый магнитъ, но тѣмъ не менѣе онъ все-таки настоящій магнитъ, и можетъ проявлять на особый манеръ даже очень значительныя магнитныя дѣйствія, какъ мы это впослѣдствіи и увидимъ. Такой замкнутый магнитъ называютъ также *безполюснымъ* магнитомъ, такъ какъ онъ не имѣетъ свободныхъ полюсовъ. Простѣйшимъ примѣромъ такого магнита можетъ служить магнитъ NS, съ якоремъ *mm*, изображенный на черт. 142, а другимъ примѣромъ служитъ намагниченное желѣзное кольцо.

Черт. 142.

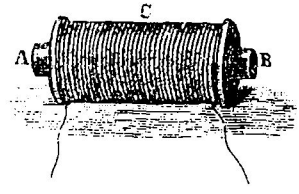


Долгое время желѣзо умѣли намагничивать исключительно тѣмъ, что его натирали уже существующимъ магнитомъ, или же подвергали его дѣйствію магнитной индукціи. Было открытіемъ выдающагося значенія, когда нашли, что того же самаго можно достигнуть при помощи электрическихъ токовъ.

Если *электрическій токъ обвести по спирали вокругъ* ненамагниченнаго стержня мягкаго желѣза, то желѣзный

стержень намагнитится. Для того, чтобы удобно произвести этотъ опытъ, полый деревянный цилиндръ C обматываютъ цѣлымъ рядомъ оборотовъ изолированной проволоки, какъ это изображено на черт. 143. Концы этой проволоки выходятъ наружу и соединяются съ полюсами гальванической батареи. Токъ идетъ вокругъ этого цилиндра по ряду спиральныхъ оборотовъ.

Черт. 143.

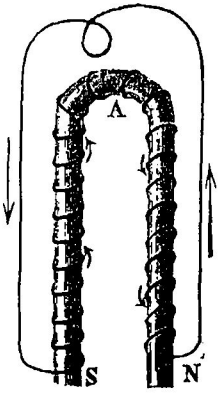


Если теперь въ полость цилиндра помѣстить стержень AB изъ ненамагниченнаго мягкаго желѣза, то стержень намагнитится чрезвычайно сильно, и можетъ притянуть другой кусокъ желѣза, напримѣръ ключъ. Одинъ конецъ стержня станетъ сѣвернымъ полюсомъ магнита, а другой южнымъ. Поэтому и называютъ подобный обмотанный проволокой цилиндръ намагничивающей катушкой. Какъ только прервемъ токъ, магнитизмъ въ мягкомъ желѣзѣ AB исчезаетъ и ключъ отъ него отпадаетъ, слѣдовательно, желѣзо намагнитилось исключительно подъ дѣйствіемъ тока. Поэтому подобный стержень, намагничивающійся электрическимъ токомъ, и называютъ *электромагнитомъ*.

Каждый магнитный стержень имѣетъ сѣверный и южный полюсы; спрашивается, который же конецъ стержня AB будетъ сѣвернымъ полюсомъ, и который южнымъ? Отвѣтъ на этотъ вопросъ даетъ правило, высказанное Ампером и называемое правиломъ Ампера или правиломъ амперовскаго пловца.

Если представить себя плывущимъ вдоль проволоки намагничивающей катушки по направленію (положительнаго) тока такъ, чтобы лицо было обращено къ магнитному стержню, то сѣвернымъ полюсомъ будетъ тотъ конецъ стержня, который находится по лѣвую руку. Если посредствомъ коммутатора измѣнить направленіе тока въ намагничивающей катушкѣ, то и магнитизмъ въ AB сдѣлается обратнымъ: тотъ конецъ, который былъ прежде сѣвернымъ полюсомъ, станетъ южнымъ и наоборотъ.

Черт. 144.

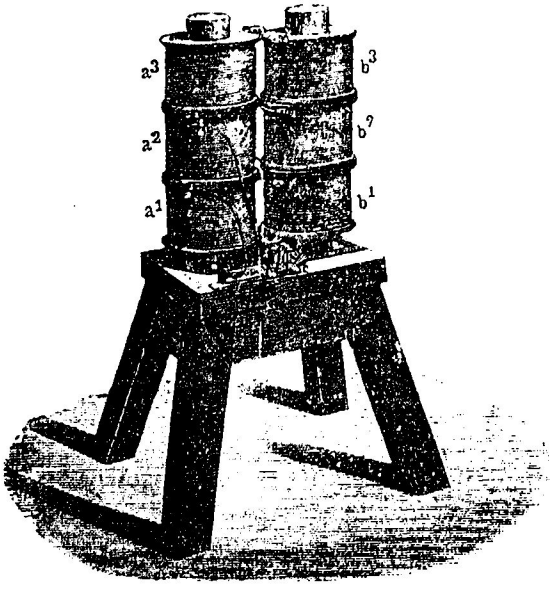


Подобно тому, какъ намагничиваютъ прямой стержень мягкаго желѣза, можно намагнитить и стержень, согнутый въ видѣ подковы. Для этого достаточно обмотать стержень или его концы проволокой въ видѣ спирали. На черт. 144 изображенъ такой обмотанный подковообразный магнитъ. Мы можемъ предположить, что желѣзный стержень былъ прямой, когда его обматывали проволокой, и лишь затѣмъ былъ согнутъ въ под-

кову. Примѣняя правило Ампера къ току, направленіе котораго изображено стрѣлками, находимъ, что два полюса магнита будутъ въ S и N. Послѣ того, какъ мы стержень согнемъ подковообразно, оба конца кажутся обмотанными въ противоположныхъ направленіяхъ. Но если ихъ дѣйствительно обмотать въ противоположныхъ направленіяхъ такъ, чтобы по виду они казались обмотанными въ одномъ направленіи, то оба конца подковы будутъ представлять одинаковые полюсы, а противоположные полюсы будутъ находиться наверху, въ сгибѣ подковы.

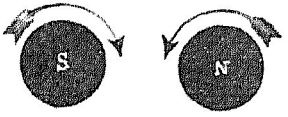
Пропуская такимъ образомъ электрическій токъ вокругъ сердечника изъ мягкаго желѣза, можно получить чрезвычайно сильные временные магниты. На черт. 145 изображено часто примѣняемое приспособленіе, служащее для полученія очень сильныхъ электромагнитовъ. Два толстыхъ цилиндра изъ мягкаго желѣза помѣщаютъ на крѣпкомъ столѣ, на которомъ ихъ соединяютъ поперечной желѣзной пластиной. На каждый желѣзный цилиндръ одѣты три намагничивающія катушки $a^1a^2a^3$ и $b^1b^2b^3$, по которымъ можно пропускать токъ. Катушки $a^1a^2a^3$ и $b^1b^2b^3$ соединяютъ такъ, чтобы оба выступающихъ конца желѣзнаго цилиндра были намагничены противоположно, т.-е., чтобы одинъ конецъ былъ сѣвернымъ полюсомъ, а другой южнымъ.

Черт. 145.



Обыкновенно къ столу придѣлываютъ зажимные винты, съ помощью которыхъ можно вводить токъ въ намагничивающія катушки; кромѣ того на столѣ помѣщаютъ коммутаторъ, служащій для того, чтобы быстро мѣнять полюсы магнита, а также и для того, что совершенно прерывать токъ и, слѣдовательно, совершенно уничтожать магнитизмъ желѣза. Если соединить спирали такъ, чтобы одинъ конецъ подковы былъ сѣвернымъ полюсомъ, а другой южнымъ, и затѣмъ смотрѣть на концы желѣзныхъ стержней сверху, то токъ будетъ идти вокругъ нихъ въ противоположныхъ направленіяхъ,— какъ это показано на черт. 146. Примѣняя правило Ампера, можно

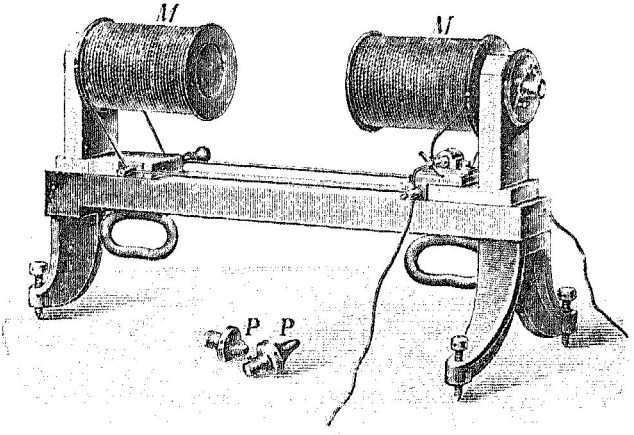
Черт. 146.



тотчасъ убѣдиться въ томъ, что изображенное на чертежѣ направленіе тока совершенно вѣрно. Чтобы легко запомнить направленіе тока вокругъ магнитнаго полюса, можно замѣтить, что если смотрѣть сверху, то вокругъ южнаго полюса токъ идетъ по направленію движенія часовой стрѣлки, а вокругъ сѣвернаго полюса—въ направленіи обратномъ движенію часовой стрѣлки.

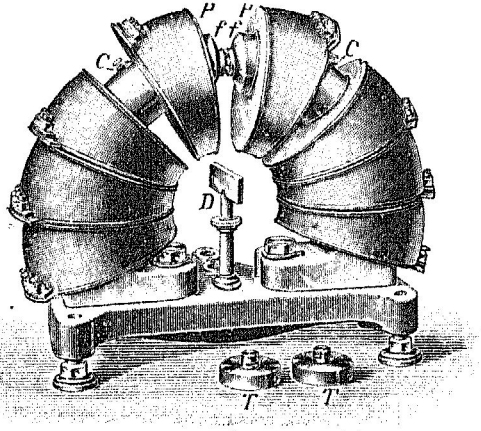
Прикрѣпляя къ полюсамъ электромагнита особой формы наконечники (называемые башмаками), мы можемъ получить въ промежуткѣ между ними сильное магнитное поле.

Черт. 147.



Двѣ другія часто употребляемыя формы электромагнитовъ изображены на черт. 147 и 148. Первый изъ этихъ электромагнитовъ (черт. 147) состоитъ изъ двухъ желѣзныхъ сердечниковъ, обмотанныхъ проволокою; они находятся на желѣзной подставкѣ и могутъ быть установлены на разныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга. На томъ же чертежѣ, въ сторонѣ, изображены наконечники PP съ очень острыми концами, которые насаживаются на полюсы; между ними въ промежуткѣ образуется очень сильное поле. Обмотку сердеч-

Черт. 148.



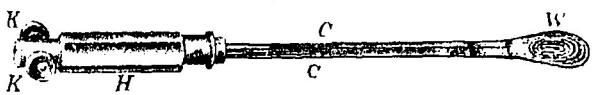
ника магнита соединяютъ такъ, что оба полюса намагничиваются разноименно.

Наиболѣе сильныя магнитныя поля получаются при помощи такъ называемыхъ полукруглыхъ электромагнитовъ (черт. 148). Два куска желѣза, изогнутые по дугѣ круга, привинчиваются къ желѣзной подставкѣ; на нихъ надѣто восемь намагничивающихъ катушекъ, которыя могутъ быть соединены послѣдовательно. На концы сердечниковъ PP насаживаются различной формы наконечники, напр. ff (или TT, которые изображены отдѣльно, внизу чертежа). Между ними остается очень незначительный промежутокъ до 1 мм. шириною; когда стержни становятся магнитами, тогда въ этомъ промежуткѣ возникаетъ очень интенсивное магнитное поле. Столикъ D можетъ быть поднимаемъ на винту и служитъ для введенія изслѣдуемыхъ предметовъ въ это сильное поле.

Напряженіе магнитныхъ полей, образуемыхъ полукруглыми электромагнитами, достигаетъ величины 38000, тогда какъ горизонтальная составляющая магнитной силы земли достигаетъ лишь 0,2. Для измѣренія напряженій такихъ сильныхъ полей нельзя пользоваться наблюденіями надъ качаніемъ магнитнаго стержня, какъ при измѣреніи слабаго поля земли; нельзя просто уже потому, что магнитный стержень при внесеніи его въ такое сильное поле непремѣнно сильно намагнитится подъ вліяніемъ индукціи. Въ дальнѣйшемъ, при изученіи явленій индукціи, мы познакомимся со способами точнаго измѣренія силы такихъ интенсивныхъ полей.

Однако существуетъ одинъ употребительный способъ подобныхъ измѣреній, который понятенъ даже при теперешнихъ нашихъ познаніяхъ. Опытами удалось установить, что сопротивленіе, оказываемое электрическому току висмутовой проволокой, не одинаково, смотря по тому, находится ли она въ магнитномъ полѣ или нѣтъ. Въ магнитномъ полѣ сопротивленіе увеличивается приблизительно пропорціонально его силѣ. Когда напряженіе магнитнаго поля увеличивается (въ

Черт. 149.



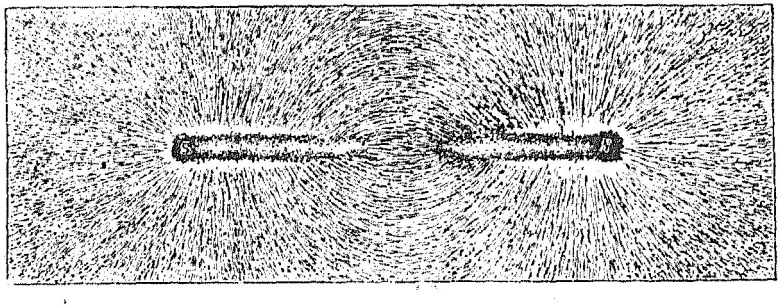
установленныхъ нами выше единицахъ) на 1000 единицъ, то сопротивленіе висмута увеличивается на $5^0/_0$ своей первоначальной величины. Изъ этого слѣдуетъ, что, если при помощи мостика Витстона опредѣлить измѣненія въ сопротивленіи висмутовой проволоки, то мы будемъ въ состояніи измѣрить напряженіе магнитнаго поля. Для этой цѣли Гартманомъ и Брауномъ изготовляются плоскія висмутовыя спирали, въ родѣ изображенной на черт. 149. Висмутовая проволока

свертывается въ плоскую спираль W, которая, съ цѣлью предохраненія отъ поломки, закрывается слюдяными пластинками. Ея концы припаиваются къ мѣднымъ стержнямъ CC, которые хорошо изолированы и проходятъ сквозь рукоятку H; на концахъ стержней находятся зажимы KK для соединенія съ приборомъ, служащимъ для измѣренія сопротивленія. Плоская спираль вводится въ магнитное поле. Если висмутовую спираль прокалибрировать, т. е. опредѣлить величину ея сопротивленія для различныхъ напряженій поля, напр. въ 100, 1000, 5000 и т. д. единицъ, то мы по величинѣ сопротивленія спирали можемъ опредѣлить въ нашихъ единицахъ напряженіе любого магнитнаго поля.

При помощи очень простого опыта мы можемъ составить себѣ представленіе и графическое изображеніе для такихъ сильныхъ магнитныхъ полей, которыя оказались весьма цѣлесообразными.

Помѣстимъ гдѣ-нибудь на столѣ магнитный стержень; надъ нимъ положимъ листъ бумаги и посыплемъ его желѣзными опилками. Онѣ тогда расположатся такъ, что по направленію магнитной силы лягутъ отдѣльныя частички желѣза одна за другой. Черт. 150 даетъ картину этого явленія. Каждая линія, по которой располагается рядъ кусочковъ желѣза, называется магнитной силовой линіей (линіей магнитныхъ силъ). Мы видимъ здѣсь, что линіи силъ отъ полюсовъ идутъ по всѣмъ направленіямъ, а между сѣвернымъ и южнымъ полюсами имѣютъ видъ кривыхъ линій. Такимъ образомъ мы получаемъ представленіе о на-

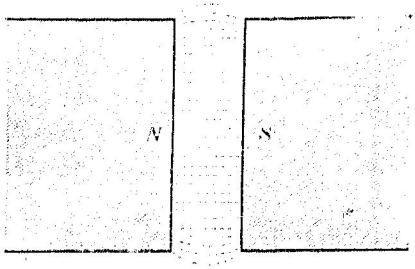
Черт. 150.



правленіи магнитныхъ силъ въ полѣ, если при этомъ условимся считать, что линіи силъ исходятъ всегда изъ сѣвернаго полюса въ воздухъ и входятъ въ южный полюсъ. Если бы можно было приготовить отдѣльно одинъ сѣверный магнитный полюсъ (что, понятно, невозможно, такъ какъ каждый, даже самый малый, магнитъ имѣетъ два полюса), то такой сѣверный полюсъ совершенно свободно въ каждой точкѣ его двигался бы по направленію соотвѣтственной силовой линіи. Онъ всегда отталкивался бы отъ сѣвернаго полюса и притягивался бы къ южному полюсу.

Въ узкихъ поляхъ, образующихся между полюсами магнитовъ, силовыя линіи, идущія отъ сѣвернаго къ южному полюсу, являются въ сущности прямыми. Только на границѣ магнитнаго поля онѣ принимаютъ видъ кривыхъ. На чертежѣ 151 мы видимъ расположеніе силовыхъ линій такого магнитнаго поля. Поле, въ которомъ силовыя линіи имѣютъ видъ прямыхъ, называютъ однороднымъ магнитнымъ полемъ.

Черт. 151.



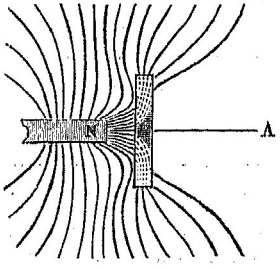
Въ такомъ полѣ мы не будемъ чертить неограниченное число силовыхъ линій, но всегда опредѣленное число ихъ. Черезъ каждый квадратный сантиметръ такого поля, расположенный перпендикулярно къ направленію силовыхъ линій, мы проведемъ столько силовыхъ линій, сколько единицъ заключается въ величинѣ силы разсматриваемаго поля, выраженной въ установленныхъ выше единицахъ. Если имѣется поле, напряженіе котораго равно 1000, то мы должны были бы черезъ каждый квадратный сантиметръ провести 1000 такихъ линій, имѣющихъ направленіе отъ сѣвернаго полюса къ южному. Въ полѣ описаннаго выше полукруглаго электромагнита, когда оно имѣетъ свое наибольшее напряженіе, намъ нужно было бы провести черезъ 1 кв. сантиметръ 38000 такихъ линій. Магнитное поле земли тоже однородно, но оно такъ слабо, что при принятомъ нами способѣ изображенія 1 силовая линія приходится на 2 кв. сантиметра. Полная сила земного магнитизма, имѣющая наклонное направленіе къ горизонту, равна 0,5; горизонтальная же составляющая ея, которая, какъ мы раньше сказали (стр. 179), равна 0,2, является лишь частью этой полной величины, ея составляющею. Если напряженіе поля не вездѣ одно и то же, то въ различныхъ его мѣстахъ на каждый кв. сантиметръ приходится различное число силовыхъ линій. Какъ видно, при такомъ способѣ обозначенія рѣшительно все равно, скажемъ ли мы, что напряженіе поля въ нѣкоторомъ мѣстѣ равно 200, или что въ этомъ мѣстѣ на 1 кв. сантиметръ приходится 200 силовыхъ линій. Введеніе понятія о числѣ силовыхъ линій въ 1 кв. сантиметрѣ, кажущагося съ перваго взгляда нѣсколько сложнымъ, представляетъ, однако, большую выгоду, какъ это мы увидимъ въ главѣ IX.

Теперь, руководствуясь свойствами, проявляемыми намагниченными тѣлами, мы составимъ себѣ представленіе о свойствахъ силовыхъ линій. Прежде всего оказывается слѣдующее.

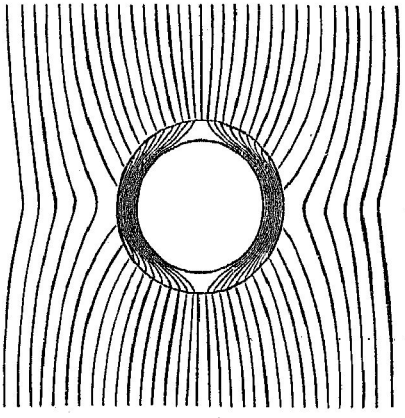
Если къ сѣверному полюсу N магнитнаго стержня приблизить кусокъ мягкаго желѣза, то онъ подвергается индукціи и, такъ какъ про-

тивъ сѣвернаго полюса N всегда образуется южный полюсъ S, между магнитомъ и намагниченнымъ, подъ вліяніемъ индукціи, желѣзомъ напряженіе поля будетъ весьма велико, значительно болѣе, чѣмъ въ другихъ мѣстахъ вблизи магнита. Слѣдовательно, линіи силъ между полюсомъ N и кускомъ желѣза A (черт. 152) будутъ расположены гораздо гуще, чѣмъ въ остальномъ полѣ. Это свойство силовыхъ линій мы можемъ выразить такъ: мягкое желѣзо концентрируетъ въ себѣ существующія въ полѣ линіи силъ. Подобнымъ же образомъ линіи

Черт. 152.



Черт. 153.



силъ на черт. 153, изображающемъ желѣзное кольцо, расположенное въ полѣ, наполненномъ силовыми линіями, концентрируются въ желѣзномъ кольцѣ; онѣ сгибаются вблизи него и проходятъ черезъ него въ большей густотѣ, чѣмъ черезъ сосѣднее съ нимъ пространство. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ силовыя линіи входятъ въ желѣзо, возбуждается южный полюсъ, а гдѣ онѣ выходятъ—сѣверный полюсъ, такъ какъ выше мы установили, что всегда силовыя линіи направлены отъ сѣвернаго полюса къ южному.

Силовыя линіи, исходящія изъ нѣкотораго магнита, проходятъ также черезъ вещество самаго магнита, при чемъ онѣ входятъ въ него со стороны южнаго полюса и выходятъ со стороны сѣвернаго. Такимъ образомъ, внутри магнита силовыя линіи идутъ отъ южнаго полюса къ сѣверному, а внѣ его—отъ сѣвернаго къ южному. Если кусокъ желѣза, не проявлявшій раньше магнитныхъ свойствъ, становится намагниченнымъ, то изъ него начинаютъ исходить силовыя линіи, раньше не существовавшія. Когда этотъ кусокъ желѣза теряетъ свой магнитизмъ, то исчезаютъ и силовыя линіи. Послѣднее можно описать слѣдующимъ образомъ. Когда желѣзо размагничивается, то силовыя линіи начинаютъ сокращаться, какъ сокращаются щупальца улитки; стяги

ваясь, онѣ уходятъ изъ того пространства, которое раньше занимали, пока наконецъ совершенно не исчезнутъ. Обратно, когда желѣзо начинаетъ намагничиваться, то этотъ процессъ можно себѣ представить такъ, что отъ каждой частицы желѣза начинаетъ расходиться все большее и большее число силовыхъ линій. Подобное представленіе о силовыхъ линіяхъ не вноситъ, понятно, ничего новаго. Оно не даетъ намъ никакого новаго опытнаго факта, но позволяетъ только ввести новый, для многихъ цѣлей болѣе удобный, способъ описачія хорошо уже извѣстныхъ явленій.

Посредствомъ магнитной индукціи намагничиваются не только желѣзныя тѣла, но также, правда болѣе слабо, никкель и кобальтъ; въ еще болѣе слабой степени намагничиваются и почти всѣ остальныя тѣла, даже воздухъ и другіе газы. Это великое открытіе принадлежитъ также Фарадею; онъ показалъ, что магнитность есть общее свойство всѣхъ тѣлъ, что всѣ вещества могутъ придти въ то состояніе, которое мы называемъ магнитизмомъ и которое въ столь сильной степени проявляется у желѣза. Поэтому, если мы имѣемъ магнитъ, который проявляетъ магнитныя силы по всѣмъ направленіямъ вокругъ себя, и если къ нему приблизить кусокъ мягкаго ненамагниченнаго желѣза, то послѣднее очень сильно намагнитится; оно сконцентрируетъ въ себѣ большую часть исходящихъ изъ магнита силовыхъ линій. Однако, часть магнитныхъ силъ магнита дѣйствуетъ внѣ желѣза на воздухъ, или другія окружающія тѣла; слѣдовательно индукція не вся концентрируется на желѣзѣ. Въ этомъ случаѣ происходитъ, какъ говорятъ, нѣкоторое разсѣиваніе магнитныхъ силъ. Поэтому для того, чтобы сконцентрировать силу магнита въ опредѣленномъ мѣстѣ пространства, слѣдуетъ принять мѣры, чтобы это разсѣиваніе магнитныхъ силъ было возможно меньше, т. е., чтобы магнитныя силы сконцентрировались бы, по возможности, только въ томъ мѣстѣ, гдѣ ими собираются пользоваться.

Вернемся теперь снова къ изученію электромагнитовъ, изъ котораго мы можемъ почерпнуть гораздо болѣе поучительнаго, чѣмъ изъ изслѣдованія постоянныхъ стальныхъ магнитовъ. Силу послѣднихъ мы не можемъ произвольно мѣнять, тогда какъ увеличеніемъ или уменьшеніемъ силы намагничивающаго тока мы можемъ измѣнять силу электромагнита въ широкихъ предѣлахъ.

Какъ только токъ, идущій по обмоткѣ электромагнита, прерванъ, магнитизмъ желѣза исчезаетъ. Однако, это не вполнѣ вѣрно; все же проходитъ нѣкоторый, хотя небольшой, но измѣримый промежутокъ времени, пока магнитизмъ совершенно исчезнетъ изъ желѣзнаго сердечника. Для объясненія этихъ магнитныхъ явленій дѣлаютъ предположеніе, что въ каждомъ, даже ненамагниченномъ кускѣ желѣза, молекулы желѣза всегда сами по себѣ уже заранѣе намагничены, но

что всѣ онѣ имѣютъ самыя разнообразныя положенія и направленія, и что дѣйствіе намагничиванія, все равно, вызвано ли оно натираніемъ другимъ магнитомъ, или пропусканіемъ вокругъ него тока, состоитъ лишь въ томъ, что всѣ молекулы желѣза располагаются въ одномъ направленіи. Итакъ, магнитъ представляетъ собою кусокъ желѣза, въ которомъ всѣ молекулы направлены одинаково. Далѣе допускаютъ, что въ обыкновенномъ мягкомъ желѣзѣ молекулы отъ дѣйствія внѣшней намагничивающей силы приходятъ тотчасъ въ свои новыя положенія, между тѣмъ какъ въ стали эти измѣненія направленій вызвать не легко. Молекулы стали такъ крѣпко связаны между собой, что каждому измѣненію направленій противодѣйствуетъ значительная сила, которую называютъ задерживательной силой. Итакъ, если существуетъ въ стали значительная задерживательная сила, то понятно, что кусокъ стали не легко намагничивается, а, напротивъ, требуетъ очень продолжительнаго воздѣйствія намагничивающихъ силъ. Понятно также, что разъ кусокъ стали намагниченъ, онъ уже и останется магнитнымъ. Дѣйствительно, задерживательная сила препятствуетъ тому, чтобы молекулы вернулись снова въ свои прежнія произвольныя положенія; онѣ, слѣдовательно, остаются одинаково направленными, и кусокъ стали не перестаетъ быть магнитнымъ. Иначе обстоитъ дѣло въ случаѣ мягкаго желѣза. Задерживательная сила въ немъ очень незначительна, почти незамѣтна. Поэтому мягкое желѣзо быстро намагничивается отъ воздѣйствія намагничивающихъ силъ, и такъ же быстро размагничивается при прекращеніи дѣйствія этихъ силъ. Однако, задерживательная сила существуетъ и въ мягкомъ желѣзѣ, хотя она и много слабѣе, чѣмъ въ стали. Поэтому мягкое желѣзо намагничивается до полной силы не тотчасъ послѣ того, какъ замкнутъ намагничивающій токъ, а только спустя нѣкоторое время, которое, правда, равно малой доли секунды. Точно такъ же мягкое желѣзо размагничивается не тотчасъ послѣ прекращенія намагничивающаго тока, а теряетъ свой магнитизмъ постепенно, хотя и въ очень короткій промежутокъ времени.

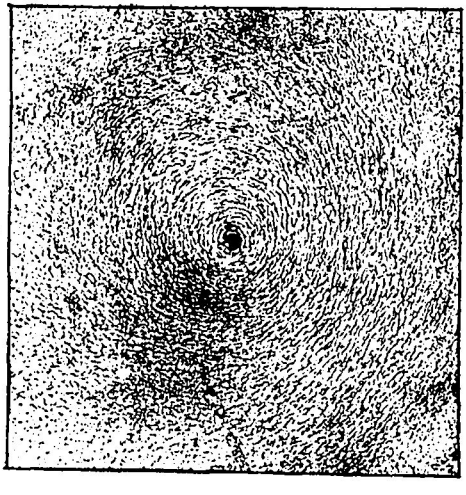
Отсюда вытекаетъ одно замѣчательное явленіе. Если увеличивать постепенно силу тока въ намагничивающей катушкѣ, окружающей стержень изъ мягкаго желѣза, то желѣзо постепенно намагничивается все сильнѣе и сильнѣе; совершенно также при постепенномъ ослабленіи тока намагничиваніе становится слабѣе. Однако, и это является для насъ новостью, при усиленіи и ослабленіи тока, намагничиваніе не переходитъ чрезъ одинаковыя значенія. При одинаковой намагничивающей силѣ тока, полученный магнитизмъ при наростающемъ (усиливающемся) токѣ слабѣе, чѣмъ при убывающемъ. Это происходитъ вслѣдствіе того, что задерживательная сила при наростающемъ токѣ противодѣйствуетъ намагничиванію, а при ослабляющемся токѣ—

размагничиванію. Описанное явленіе называютъ гистерезисомъ въ желѣзѣ (отъ слова ὑστερέω, хюстерейнъ—отставать). Это свойство желѣза является вреднымъ во многихъ примѣненіяхъ электромагнитовъ, и въ нѣкоторыхъ случаяхъ приходится принимать его въ разсчетъ даже у самаго мягкаго желѣза.

Явленіе это можно себѣ представить слѣдующимъ образомъ: молекулы желѣза при своемъ вращеніи, при измѣненіи своего направленія, испытываютъ нѣкоторое треніе одна о другую, и потому не могутъ тотчасъ слѣдовать воздѣйствующей на нихъ силѣ. Но при всякомъ треніи, при всякомъ преодолѣваніи сопротивленій, какъ извѣстно, развивается теплота. Поэтому и въ мягкомъ желѣзѣ отъ намагничиванія и размагничиванія должна образоваться теплота. Если токъ замкнуть лишь одинъ разъ и такимъ образомъ произвести намагничиваніе желѣза, то его нагрѣваніе незамѣтно. Если же очень быстро и послѣдовательно, то замыкать, то размыкать токъ такъ, чтобы намагничиваніе электромагнита непрерывно и послѣдовательно измѣнялось, то, вслѣдствіе гистерезиса, образуется каждый разъ небольшое количество теплоты. Эти небольшія количества теплоты постепенно суммируются и въ результатѣ производятъ значительныя повышенія температуры желѣза Это неудобство очень замѣтно въ динамо-электрическихъ машинахъ, какъ мы это послѣ увидимъ.

Тотъ фактъ, что токъ дѣйствуетъ намагничивающимъ образомъ на мягкое желѣзо, заставляетъ предполагать, что вокругъ тока, какъ и вокругъ магнита, дѣйствуютъ магнитныя силы. Если это въ самомъ дѣлѣ такъ, то можно, слѣдовательно, при помощи желѣзныхъ опилокъ получить магнитныя линіи силъ тока, въ родѣ того, какъ мы получали ихъ съ магнитнымъ стержнемъ. Это дѣйствительно возможно. Если проткнуть прямую проволоку вертикально черезъ листъ бумаги и пропустить по ней токъ, то желѣзныя опилки, посыпанныя на бумагу, расположатся такъ, какъ показано на черт. 154, т. е. магнитныя силовыя линіи тока представляютъ собой круги, расположенные вокругъ проволоки.

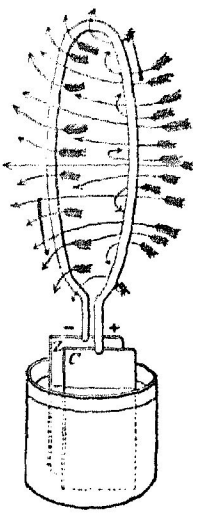
Черт. 154.



Итакъ, вокругъ каждаго отрѣзка проводника

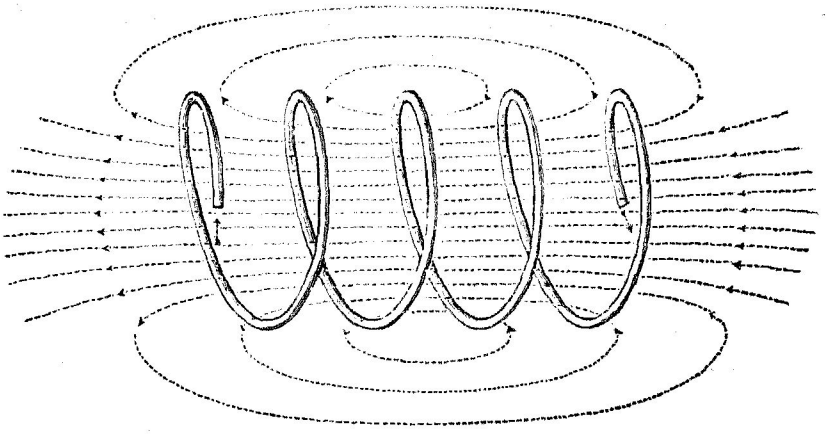
магнитныя силовыя линіи располагаются въ видѣ круговъ. Поэтому, если мы имѣемъ замкнутую цѣпь, изображенную на черт. 155, то вокругъ каждой части проволоки линіи силъ имѣютъ направленіе нарисованныхъ на чертежѣ маленькихъ стрѣлокъ и пронизываютъ перпендикулярно поверхность, ограничиваемую цѣпью тока, какъ то показываютъ большія стрѣлки; такимъ образомъ, линіи силъ проходятъ черезъ плоскость цѣпи перпендикулярно къ ней.

Черт. 155.



Если мы возьмемъ проволочную спираль (черт. 156), то линіи силъ будутъ проходить по той же причинѣ приблизительно параллельно оси катушки. Внутри проволочной спирали, по которой проходитъ токъ, образуется такимъ образомъ однородное магнитное поле (стр. 186). Снаружи силовыя линіи образуютъ замкнутыя фигуры. Какъ всегда, эти силовыя линіи должны сообщать магнитныя свойства каждому куску желѣза, въ который онѣ проникаютъ; въ дѣйствительности это такъ и происходитъ. Такую проволочную спираль часто называютъ соленоидомъ (отъ σωλήν солѣнъ, витокъ).

Черт. 156.



Напряженіе магнитнаго поля въ подобной катушкѣ тѣмъ больше, чѣмъ большее число витковъ приходится въ ней на 1 сантиметръ длины и чѣмъ сильнѣе проходящій по катушкѣ токъ. Если выражать силу тока въ амперахъ, то произведеніе числа витковъ, заключающихся въ 1 сантиметрѣ соленоида, на силу тока обыкновенно называютъ числомъ амперъ-витковъ, и поэтому можно сказать, что

напряженіе поля внутри соленоида тѣмъ больше, чѣмъ больше число амперъ-витковъ. Соотношеніе между принятой единицей для измѣренія напряженія поля и единицей силы тока, 1 ампером, было намѣренно взято такое, что напряженіе поля внутри подобной катушки, имѣющее повсюду (за исключеніемъ мѣстъ близкихъ къ концамъ) одну и ту же величину, какъ разъ равно $^3/_4$ числа амперъ-витковъ (точнѣе число это равно не $^3/_4$, а $\frac{4\pi}{10} = 1{,}2566$). Такъ какъ мы условились черезъ каждый квадратный сантиметръ проводить силовыя линіи въ числѣ, равномъ напряженію поля въ данномъ мѣстѣ, то, слѣдовательно, мы сейчасъ же можемъ опредѣлить, сколько силовыхъ линій мы имѣемъ въ подобной катушкѣ, по которой проходитъ токъ. Если напримѣръ на каждый сантиметръ длины катушки приходится 10 витковъ и если по ней проходитъ токъ силою въ 4 ампера, то число амперъ-витковъ равно 40, а число силовыхъ линій на 1 кв. сантиметрѣ равно 50. Итакъ черезъ каждый квадратный сантиметръ мы должны провести 50 силовыхъ линій. Полное число силовыхъ линій, которыя нужно провести, зависитъ, конечно, отъ сѣченія катушки. Если оно напримѣръ равно 6 кв. см., то полное число силовыхъ линій внутри катушки равно 300.

Если мы помѣстимъ внутри катушки кусокъ мягкаго желѣза, то вслѣдствіе намагничивающей силы оно само сдѣлается магнитомъ и возбудитъ нѣкоторое новое количество силовыхъ линій; число линій силъ, которыя теперь будутъ проходить сквозь катушку, т. е. черезъ сердечникъ, значительно увеличится, такъ какъ магнитное желѣзо само, смотря по силѣ своего магнитизма, содержитъ въ себѣ большее или меньшее число линій силъ. Различные сорта желѣза различаются между собой очень существенно тѣмъ, въ какомъ отношеніи они увеличиваютъ число линій силъ соленоида. Въ нижеслѣдующей таблицѣ приведены полученныя изъ опыта данныя касательно связи между числомъ амперъ-витковъ намагничивающей катушки (слѣдовательно между намагничивающей силой) съ одной стороны, и числомъ силовыхъ линій, на квадратный сантиметръ, возникающихъ въ кускѣ желѣза, внесенномъ въ катушку, съ другой стороны. Эти данныя относятся къ тремъ сортамъ желѣза: къ кованному желѣзу, литой стали и чугуну. Кромѣ того въ ней приведено число силовыхъ линій внутри пустой спирали.

Число амперъ-витковъ.	Число силовыхъ линій въ пустой спирали.	Число силовыхъ линій на 1 кв. см.		
		Кованное желѣзо.	Литая сталь.	Чугунъ.
5	6,25	9 000	11 000	—
10	12,5	12 000	13 500	2300
15	18,75	13 300	14 500	3900
20	25	14 400	15 000	5000
25	31,25	14 900	15 500	5600
30	37,5	15 300	15 800	6200

Изъ таблицы видно, что число силовыхъ линій на квадратный сантиметръ, т. е. степень намагничиванія, при одномъ и томъ же числѣ амперъ-витковъ для литой стали больше, чѣмъ для кованнаго желѣза, и для обоихъ этихъ матеріаловъ значительно больше, чѣмъ для чугуна.

Отношеніе, въ которомъ находится число силовыхъ линій катушки послѣ внесенія сердечника къ прежнему числу линій силъ (безъ сердечника), называютъ *магнитной проводимостью* разсматриваемаго желѣза. Часто этой величинѣ даютъ также названіе *магнитной проницаемости*.

На основаніи вышеприведенныхъ чиселъ мы можемъ вычислить проницаемость для этихъ трехъ сортовъ. Такимъ образомъ получаемъ слѣдующую таблицу:

	Магнитная проводимость.		
Число амперъ-витковъ.	Кованное желѣзо.	Литая сталь.	Чугунъ.
5	1440	1760	—
10	960	1080	184
15	709	773	208
20	576	600	200
25	477	496	179
30	408	421	165

Какъ видно, магнитная проницаемость различныхъ сортовъ желѣза не есть постоянная величина, какъ электропроводность металловъ, но она тѣмъ меньше, чѣмъ больше намагничивающая сила, дѣйствующая на желѣзо. Такимъ образомъ, магнитное состояніе, пріобрѣтаемое желѣзомъ, усиливается не пропорціонально намагничивающей силѣ, но значительно медленнѣе; оно стремится къ нѣкоторому предѣлу, превзойти который не можетъ.

Въ томъ же смыслѣ можно говорить также и о магнитной проницаемости не только желѣза, но и другихъ тѣлъ. Такъ, напр., проницаемость воздуха или мѣди очевидно равна 1, такъ какъ они не увеличиваютъ числа силовыхъ линій, если ихъ помѣстить внутри катушки. Только никкель и кобальтъ имѣютъ проницаемость нѣсколько бо́льшую, чѣмъ 1.

Этс воззрѣніе на сущность разсматриваемыхъ процессовъ, кажущееся нѣсколько искусственнымъ, приводитъ насъ къ новому и очень важному способу пониманія магнитныхъ явленій.

Возьмемъ замкнутое желѣзное кольцо и сплошь обовьемъ его проволокой. По проволокѣ пусть идетъ токъ; отъ числа амперъ-витковъ зависитъ число магнитныхъ силовыхъ линій. Чѣмъ больше проницаемость желѣза, чѣмъ больше поперечный разрѣзъ кольца, чѣмъ сильнѣе токъ и чѣмъ больше витковъ приходится на 1 см. длины,—тѣмъ больше силовыхъ линій проходитъ черезъ кольцо. Когда

извѣстно общее число витковъ, то на 1 см. длины приходится тѣмъ большее ихъ число, чѣмъ меньше длина кольца (измѣренная по осевой линіи). Поэтому въ данномъ случаѣ можно высказать законъ, совершенно аналогичный *закону* Ома для электрическаго тока. Если мы назовемъ число амперъ-витковъ всего нашего кольца (они и представляютъ въ сущности причину намагничиванія) магнитодвижущей силой (какъ выше указано, число амперъ-витковъ нужно умножить на $\frac{1}{4\pi}$, для того чтобы эта величина согласовалась съ принятыми наукой магнитными мѣрами), и обозначимъ величину, которая зависитъ отъ проницаемости, поперечнаго разрѣза и длины кольца, магнитнымъ сопротивленіемъ кольца, то мы можемъ сказать, что число линій силъ въ нашемъ кольцѣ равно магнитодвижущей силѣ, раздѣленной на магнитное сопротивленіе:

$$\text{Число линій силъ} = \frac{\text{магнитодвижущая сила}}{\text{магнитное сопротивленіе}}.$$

Этотъ законъ носитъ названіе закона Ома для магнитизма. Итакъ, то, что въ обыкновенномъ законѣ Ома есть сила тока, то въ законѣ для магнитизма есть число линій силъ.

Магнитное сопротивленіе кольца имѣетъ совершенно тѣ же свойства, какъ и электрическое сопротивленіе проволоки: оно тѣмъ больше, чѣмъ больше длина кольца, чѣмъ меньше поперечный разрѣзъ и чѣмъ меньше проницаемость (взятая для даннаго числа амперъ-витковъ):

$$\text{Магнитное сопротивленіе} = \frac{\text{длина}}{\text{поперечн. разрѣзъ} \times \text{магнитная проницаемость}}$$

точно также и

$$\text{электрическое сопротивл.} = \frac{\text{длина}}{\text{поперечн. разрѣзъ} \times \text{электрическ. проводимость}}$$

Совершенно точно этотъ законъ магнитизма приложимъ только къ замкнутому желѣзному кольцу, такъ какъ только въ такомъ кольцѣ всѣ линіи силъ дѣйствительно проходятъ внутри него. Однако, съ достаточной точностью тотъ же законъ примѣнимъ и для почти замкнутой магнитной цѣпи, если только брать каждый разъ правильную величину для магнитнаго сопротивленія. Разсмотримъ, напримѣръ, изображенное на черт. 157 желѣзное кольцо, разрѣзанное въ мѣстѣ SN такъ, что тамъ находится воздушный слой; въ этомъ мѣстѣ, слѣдовательно, кольцо имѣетъ два свободныхъ полюса.

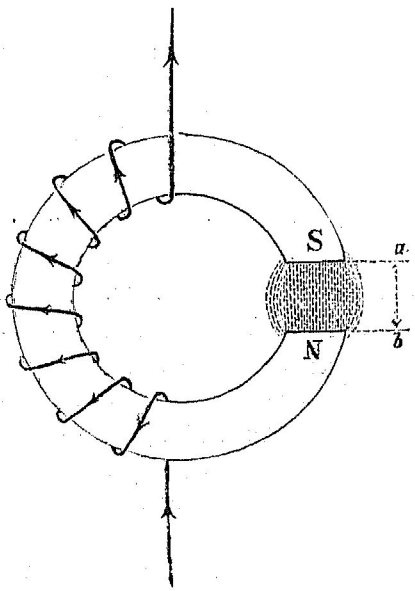
Линіи силъ проходятъ по воздушному слою такъ, какъ показано на чертежѣ, т. е. онѣ идутъ по прямымъ линіямъ между N и S и только слегка выгибаются наружу. Онѣ выгибаются тѣмъ меньше, чѣмъ тоньше слой воздуха. Въ данномъ случаѣ мы можемъ вычислить

число линій силъ, если только будемъ разсматривать общее магнитное сопротивленіе какъ состоящее изъ двухъ частей, а именно:

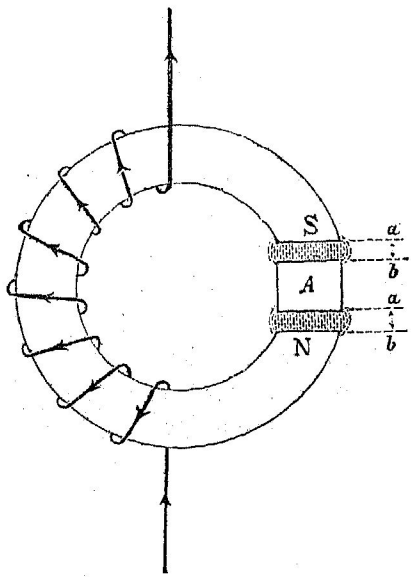
полное магнитное сопротивленіе = магн. сопротивл. желѣза + + магн. сопротивл. воздуха.

Будемъ производить разсчетъ на числахъ. Пусть поперечный разрѣзъ кольца будетъ 5 кв. см., длина всего кольца (т. е. длина осевой линіи) 60 см. и длина воздушнаго слоя 1 см. Проницаемость желѣза примемъ за 1000. Тогда, если бы кольцо не имѣло перерыва, его магнитное сопротивленіе $= \frac{60}{5.1000} = 0{,}012$.

Черт. 157.



Черт. 158.



Но, такъ какъ кольцо разрѣзано, то его магнитное сопротивленіе $= \frac{59}{5.1000} + \frac{1}{5} = 0{,}0118 + 0{,}2 = 0{,}2118$.

Итакъ, мы видимъ, что магнитное сопротивленіе увеличилось приблизительно въ 17,7 разъ, такъ что число линій силъ во второмъ случаѣ уменьшилось въ 17,7 разъ сравнительно съ тѣмъ, сколько ихъ было въ первомъ случаѣ.

Разсмотримъ далѣе болѣе сложный случай, изображенный на черт. 158. Здѣсь внутри воздушнаго слоя находится кусокъ желѣза A, подвергающійся индукціи. Предположимъ, что желѣзо A имѣетъ длину 0,8 см., а каждый изъ двухъ воздушныхъ слоевъ длину въ 0,1 см. Тогда магнитное сопротивленіе $\frac{59}{5.1000} + \frac{0{,}8}{5.1000} + 2 \cdot \frac{0{,}1}{5} = 0{,}05196$; слѣдовательно, оно приблизительно только въ 4 раза больше, чѣмъ при совершенно

замкнутомъ желѣзномъ кольцѣ. Если, напримѣръ, чрезъ совершенно замкнутое желѣзное кольцо проходитъ около 17000 линій силъ, то въ первомъ случаѣ (черт. 157) пройдетъ сквозь всю поверхность, ограничиваемую кольцомъ, лишь около 1000, а во второмъ (черт. 158)— около 4000 силовыхъ линій.

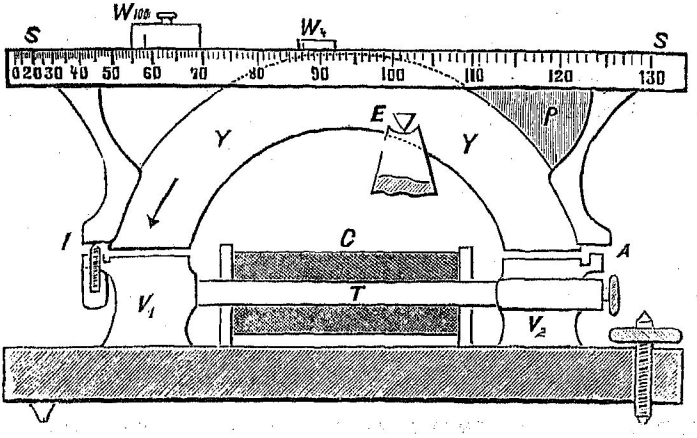
Можно задаться и обратной задачей, а именно: какъ велико должно быть во всѣхъ трехъ случаяхъ число амперъ-витковъ, чтобы каждый разъ число возникающихъ силовыхъ линій равнялось бы 17000. Изъ закона Ома для магнитизма слѣдуетъ, что для достиженія поставленной цѣли въ первомъ случаѣ необходима магнитодвижущая сила, равная $17000 \times 0{,}012 = 204$, которая соотвѣтствуетъ $\frac{4}{5} \cdot 204 = 165$ амперъ-виткамъ; во второмъ случаѣ сила эта больше, чѣмъ въ первомъ, въ 17 разъ, т. е. она равна приблизительно 2800, а въ третьемъ случаѣ она больше въ 4 раза, т. е. равна приблизительно 700 амперъ-виткамъ. Отсюда видно, насколько значительно мы должны увеличить число амперъ-витковъ, чтобы, несмотря на промежуточный слой воздуха, достигнуть той же степени намагничиванія желѣза.

Этотъ законъ Ома для магнитизма примѣняютъ обыкновенно при вычисленіи динамомашинъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ всегда приходится имѣть дѣло съ почти замкнутыми цѣпями.

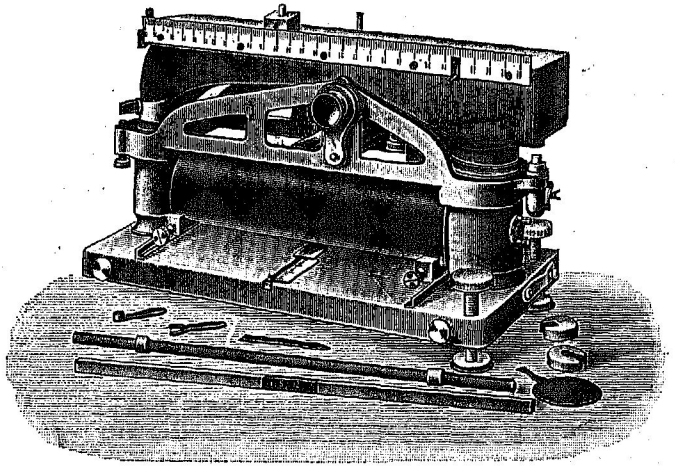
Изъ полной аналогіи, существующей между магнитнымъ сопротивленіемъ различныхъ сортовъ желѣза и электрическимъ сопротивленіемъ проволокъ, слѣдуетъ, что различные сорта желѣза можно сравнивать другъ съ другомъ относительно ихъ магнитной проводимости (проницаемости), подобно тому, какъ мы сравниваемъ различныя проволоки относительно ихъ электропроводности. Прежде всего является мысль расположить магнитные стержни такъ же, какъ мы располагаемъ электрическія сопротивленія въ мостикѣ Витстона, и этимъ способомъ измѣрить магнитныя сопротивленія. Однако, оказывается, что между магнитными и электрическими измѣреніями все же имѣется существенное различіе. При электрическихъ измѣреніяхъ воздухъ является совершеннѣйшимъ изоляторомъ; сопротивленіе его въ нѣсколько милліоновъ разъ больше, чѣмъ сопротивленіе куска металла одинаковыхъ размѣровъ. Въ случаѣ же магнитизма обстоятельства являются иными: наиболѣе магнитное желѣзо проводитъ магнитизмъ всего лишь въ 2000—3000 разъ лучше воздуха. Поэтому, когда въ воздухѣ расположенъ кусокъ желѣза и мы устроимъ такъ, чтобы чрезъ него проходили магнитныя линіи силъ, то всегда нѣкоторое количество силовыхъ линій проходитъ и чрезъ окружающій его воздухъ. Нѣчто аналогичное мы имѣли бы въ случаѣ электричества, если бы мы мѣдную проволоку, по которой желаемъ пропустить токъ, протянули не въ воздухѣ, а внутри ртути или внутри весьма хорошо

проводящаго раствора какой-нибудь соли. Въ этомъ случаѣ всегда часть тока прошла бы параллельно мѣдной проволокѣ черезъ ртуть или растворъ соли, находящіеся въ отвѣтвленіи отъ проволоки. При магнитныхъ измѣреніяхъ воздухъ также всегда находится въ отвѣтвленіи отъ желѣзныхъ стержней, и потому при измѣреніяхъ нельзя пренебрегать его вліяніемъ.

Черт. 159.



Черт. 160.



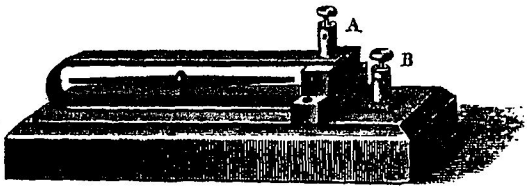
Однако все же нѣкоторыми пріемами удается сравнительно просто опредѣлять магнитную проницаемость различныхъ сортовъ желѣза, и притомъ для намагничивающихъ силъ разной величины, такъ какъ магнитная проницаемость желѣза, вѣдь, мѣняется въ зависимости отъ величины этихъ силъ. Весьма удобнымъ для подобныхъ измѣреній приборомъ являются магнитные вѣсы Дюбуа, изображенные на черт. 159 (схематически) и на черт. 160 (общій видъ). Изслѣдуемое желѣзо обтачивается въ цилиндрическій стержень въ 15 см. длины и

1 кв. см. сѣченіемъ и образуетъ (въ этомъ и заключается принципъ прибора) часть замкнутой магнитной цѣпи. Желѣзный стержень T зажимается между двумя желѣзными массами V_1 и V_2 и находится тогда внутри катушки C, по которой можно пропускать токи силой до 30 амперъ. Надъ V_1 и V_2 на оси E виситъ полукруглое желѣзное ярмо JJ, могущее совершать лишь незначительныя колебанія. Ось E расположена несимметрично по отношенію къ ярму. Чтобы удержать, однако, ярмо въ равновѣсіи справа придѣлана къ нему свинцовая масса P. Винтъ I и пластинка A ограничиваютъ величину колебанія ярма. Пока по C не идетъ тока, ярмо находится въ равновѣсіи, но какъ только по C пущенъ токъ, оно тотчасъ передвигается налѣво, по направленію стрѣлки. Дѣйствительно, тогда T и желѣзныя массы V_1 и V_2 намагничиваются и притягиваютъ намагниченное подъ вліяніемъ индукціи желѣзное ярмо. Хотя послѣднее и намагничивается съ обѣихъ сторонъ вполнѣ равномѣрно, но ярмо все же повернется, такъ какъ ось вращенія его расположена эксцентрично, а слѣдовательно, плечи рычага не одинаковой длины. Перемѣщая гирьку W_{100} вѣсомъ въ 100 гр., или при меньшихъ силахъ другую гирьку W_4 вѣсомъ въ 4 грамма, можно привести ярмо снова въ равновѣсіе. Такимъ образомъ вѣсъ гирьки компенсируетъ магнитное притяженіе, зависящее отъ магнитнаго момента стержня. Отсюда легко измѣрить магнитный моментъ, а слѣдовательно и магнитную проницаемость изслѣдуемаго желѣза.

Электрическій токъ имѣетъ, какъ мы видѣли, свойство намагничивать желѣзо; однако, это не единственное магнитное дѣйствіе электрическаго тока.

Мы уже неоднократно пользовались выше гальваноскопами и гальванометрами, при помощи которыхъ мы узнавали о существованіи электрическаго тока и измѣряли его силу. Эрстедтъ, профессоръ въ Копенгагенѣ, впервые обратилъ вниманіе на то, что если вблизи электрическаго тока помѣстить магнитную стрѣлку, то подъ вліяніемъ тока она отклонится отъ своего постояннаго направленія, т. е. отъ направленія сѣверъ-югъ. Если пропустить по мѣдной петлѣ (черт. 161) чрезъ винты A и B электрическій токъ, то находящаяся внутри петли магнитная стрѣлка отклонится. Она отклонится и въ томъ случаѣ, если будетъ находиться надъ петлей или подъ ней, или, наконецъ, рядомъ съ петлей, по которой проходитъ токъ. Это было основное открытіе Эрстедта. Главнѣйшіе вопросы, возникающіе при этомъ явленіи, слѣдующіе: 1) въ какомъ направленіи отклоняется

Черт. 161.



токомъ магнитная стрѣлка? 2) отъ какихъ условій зависитъ величина отклоненія?

При каждомъ измѣненіи направленія тока стрѣлка отклоняется въ обратную сторону. Такъ, напр., если сѣверный полюсъ стрѣлки былъ обращенъ къ намъ при одномъ направленіи тока, то при обратномъ направленіи тока онъ уходитъ отъ насъ. Итакъ направленіе, въ которомъ отклоняется магнитная стрѣлка, зависитъ, слѣдовательно, отъ направленія тока, дѣйствующаго на нее. Амперъ нашелъ, что въ этомъ случаѣ можно пользоваться тѣмъ же правиломъ «пловца», которое вѣрно и для случая намагничиванія желѣза токомъ (стр. 181). Если представить себя плывущимъ по направленію (положительнаго) тока, съ лицомъ, обращеннымъ къ магнитной стрѣлкѣ, то сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки отклонится налѣво.

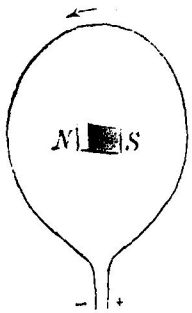
Итакъ, сила, съ которой токъ дѣйствуетъ на вращающуюся на оси магнитную стрѣлку, есть вращательная сила. Токъ производитъ на нее, какъ говорятъ, вращательный моментъ, который стремится поставить стрѣлку перпендикулярно току. Мы знаемъ (стр. 191), что магнитныя силовыя линіи расположены въ подобной петлѣ, по которой проходитъ токъ (черт. 155), перпендикулярно плоскости тока. Именно въ этомъ направленіи, въ направленіи магнитныхъ силовыхъ линій тока и стремится стать магнитная стрѣлка. Однако, она не можетъ совершенно свободно слѣдовать этому своему стремленію, такъ какъ находится подъ вліяніемъ двухъ силъ. Во-первыхъ, на нее дѣйствуетъ земной магнитизмъ, который стремится ее привести въ опредѣленное направленіе сѣверъ-югъ. Во-вторыхъ, она находится подъ дѣйствіемъ тока, стремящагося вывести ее изъ этого положенія. Если бы не существовало земного магнитизма, то самый слабый токъ могъ бы уже повернуть магнитную стрѣлку такъ, чтобы она стала перпендикулярно къ направленію тока. Но такъ какъ земной магнитизмъ стремится удержать стрѣлку въ направленіи сѣверъ-югъ и вернуть ее въ это направленіе, когда она отклоняется, то отклоненія стрѣлки будутъ таковы, чтобы дѣйствующія на стрѣлку вращательныя силы,— земного магнитизма и тока,— находились въ равновѣсіи.

Величина вращающей силы, съ какой дѣйствуетъ токъ на магнитъ, и вообще величина магнитнаго дѣйствія тока зависитъ, какъ показали опытныя изслѣдованія, прямо отъ силы тока. При одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, токъ въ 2 ампера дѣйствуетъ на магнитъ съ силой въ 2 раза большей, чѣмъ токъ въ 1 амперъ. Далѣе эта сила зависитъ также и отъ положенія магнита относительно тока и отъ разстоянія между ними.

Для того, чтобы найти законъ этихъ дѣйствій, мы можемъ проще всего исходить изъ слѣдующаго представленія. Вообразимъ

себѣ замкнутую цѣпь, въ которой токъ имѣетъ опредѣленную силу. Эта цѣпь обнимаетъ часть плоскости нѣкоторой извѣстной величины. Полная сила, съ которой дѣйствуетъ эта цѣпь на магнитный полюсъ, имѣетъ тѣ же величину и направленіе, какъ и сила, съ какой дѣйствуетъ короткій магнитный стержень, который былъ бы расположенъ внутри цѣпи, перпендикулярно къ ея плоскости. Магнитный моментъ (стр. 177) этого воображаемаго магнитнаго стержня долженъ быть таковъ, чтобы онъ былъ равенъ произведенію силы тока на обнимаемую имъ часть плоскости. Дѣйствіе цѣпи совершенно одинаково съ дѣйствіемъ построеннаго нами такимъ образомъ магнита. Сѣверный полюсъ этого короткаго магнита находится по ту сторону плоскости тока, со стороны которой токъ представляется идущимъ обратно часовой стрѣлкѣ. Такой магнитъ изображенъ внутри цѣпи на черт. 162. Этотъ законъ электромагнитныхъ дѣйствій тока называютъ закономъ Біо-Савара. Законъ Біо-Савара формулируется, слѣдовательно, такимъ образомъ:

Черт. 162.



Магнитная сила, которую производитъ цѣпь тока, равна силѣ, производимой короткимъ магнитнымъ стержнемъ, проходящимъ перпендикулярно черезъ плоскость цѣпи, моментъ котораго равенъ произведенію силы тока на величину части плоскости, имъ ограничиваемой.

Изъ этого закона непосредственно слѣдуетъ, что свободно подвѣшенная магнитная стрѣлка должна стремиться стать перпендикулярно къ плоскости тока. Дѣйствительно, магнитная стрѣлка стремится принять то же направленіе, какъ и магнитъ, дѣйствующій на нее; ось же предполагаемаго магнита, замѣняющаго токъ, перпендикулярна къ плоскости тока.

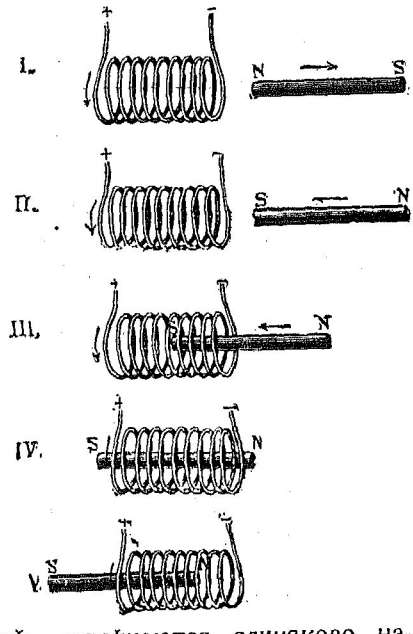
При такой редакціи закона Біо-Савара мы, слѣдовательно, замѣняемъ токъ магнитомъ, имѣющимъ опредѣленный магнитный моментъ. Такъ какъ раньше мы выразили магнитные моменты въ опредѣленныхъ единицахъ, то благодаря этому мы теперь можемъ установить единицу для измѣренія силы различныхъ токовъ; установленную такимъ образомъ единицу силы тока называютъ электромагнитной единицей силы тока. Эта единица равна 10 амперамъ, т. е. равна одному дека-амперу; употребляющаяся на практикѣ единица силы тока—1 амперъ—составляетъ десятую часть этой абсолютной единицы. Законъ Біо-Савара послужилъ основаніемъ къ тому, чтобы именно эту практическую единицу и выбрали для измѣренія силы тока.

Мы можемъ теперь легко объяснить всѣ электромагнитныя явленія, исходя изъ того соображенія, что замкнутая цѣпь тока дѣй-

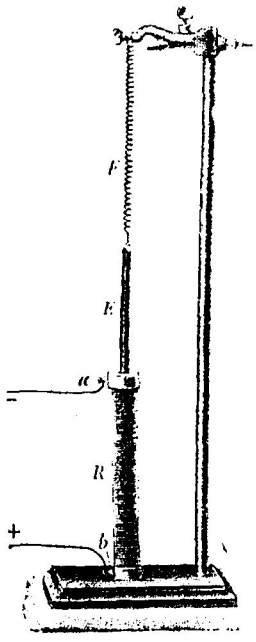
ствуетъ совершенно аналогично магниту, проходящему сквозь ея поверхность перпендикулярно къ ней, и что чрезъ эту поверхность проходитъ опредѣленное количество силовыхъ линій. Эти дѣйствія становятся сильнѣе и рельефнѣе, когда мы придаемъ цѣпи, по которой идетъ токъ, форму спирали (катушки), которую можно разсматривать какъ цѣлый рядъ расположенныхъ другъ за другомъ круговыхъ токовъ. Одно только различіе существуетъ между спиралью, по которой идетъ токъ, и магнитомъ, а именно: въ случаѣ магнита внутреннія его части недоступны, между тѣмъ какъ внутрь полой спирали могутъ быть вводимы постороннія тѣла.

Оба конца спирали, по которой проходитъ токъ, обладаютъ тѣми же свойствами, какъ и полюсы магнита; сѣвернымъ полюсомъ является конецъ спирали, по которому токъ проходитъ въ направленіи, обратномъ движенію часовой стрѣлки. На черт. 163 изображены спирали, концы которыхъ соединены съ положительнымъ и отрицательнымъ полюсами батареи; токъ отъ нея проходитъ по спирали въ показанномъ стрѣлкой направленіи. При этомъ вокругъ конца (—) токъ проходитъ въ направленіи, обратномъ движенію часовой стрѣлки, такъ что конецъ (—) обладаетъ свойствами положительнаго полюса. Силовыя линіи спирали выходятъ наружу отъ ея конца (—) и входятъ въ нее съ конца (+); внутри катушки онѣ имѣютъ направленіе отъ конца (+) къ концу (—). Если расположить противъ спирали магнитный стержень NS, какъ изображено на черт. 163 I, то изъ N тоже выходятъ силовыя линіи; онѣ встрѣчаются съ противоположно направленными силовыми линіями, выходящими изъ катушки, сталкиваются и заставляютъ магнитъ отталкиваться. Наоборотъ, въ положеніи II, изображенномъ на томъ же чертежѣ, встрѣчаются одинаково направленныя силовыя линіи, выходящія изъ конца (—) и входящія въ S; онѣ стремятся стянуться и потому магнитъ будетъ втягиваться внутрь спирали, какъ показано въ положеніяхъ II, III, IV. Въ положеніи IV конецъ (—) отталкиваетъ сѣверный полюсъ, а конецъ (+) отталкиваетъ съ той же силой южный полюсъ и, слѣдовательно, магнитный стержень остается въ равновѣсіи; если же его слегка вы-

Черт. 163.



Черт. 164.

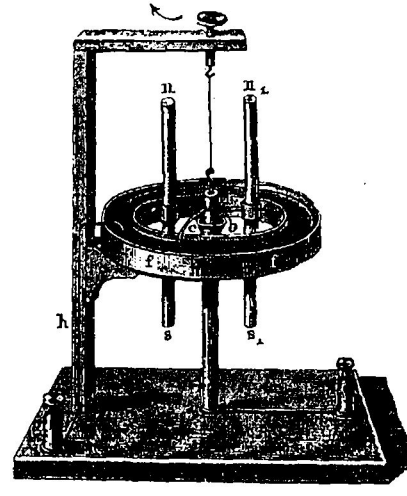


тянуть изъ спирали, какъ показано въ положеніи V, то онъ снова по той же причинѣ втянется спиралью, пока его середина не совпадетъ съ серединой спирали.

Если стержень NS не магнитъ, а сдѣланъ изъ мягкаго ненамагниченнаго желѣза, то онъ, вслѣдствіе исходящихъ изъ спирали силовыхъ линій, намагничивается и затѣмъ втягивается въ нее. Если, напримѣръ, поставить вертикальную катушку R, по которой можно пропустить токъ (черт. 164), и подвѣсить надъ ней на пружинѣ F стержень изъ мягкаго желѣза E, то въ моментъ начала прохожденія тока желѣзный стержень втянется въ катушку и останется внутри, пока въ ней проходитъ токъ. Какъ только мы разомкнемъ токъ, желѣзный стержень тотчасъ вновь выскочитъ изъ спирали. Итакъ, спираль, по которой проходитъ токъ, всегда втягиваетъ въ себя стержень изъ мягкаго желѣза. Мы уже пользовались (стр. 67) этимъ свойствомъ при устройствѣ приборовъ для измѣренія силы токовъ. Когда токъ, идущій по такой катушкѣ, достаточно силенъ, то сила, съ которой эта, расположенная вертикально катушка удерживаетъ внутри себя желѣзный стержень, настолько велика, что онъ свободно виситъ въ ней, а не падаетъ подъ вліяніемъ силы земного притяженія.

Искусной комбинаціей магнитовъ и цѣпей токовъ возможно, какъ показалъ Фарадей, достигнуть того, чтобы магнитъ непрерывно вращался вокругъ электрическаго тока, откуда ясно обнаруживаются особенныя свойства электромагнитныхъ силъ. Это приспособленіе изображено на черт. 165. Здѣсь два магнитныхъ стержня ns и n_1s_1 вращаются вокругъ оси. Электрическій токъ, входящій черезъ зажимъ c, идетъ наверхъ по металлическому стержню ab. Подвѣшенный кусокъ металла d, къ которому прикрѣплены магниты, опущенъ въ

Черт. 165.

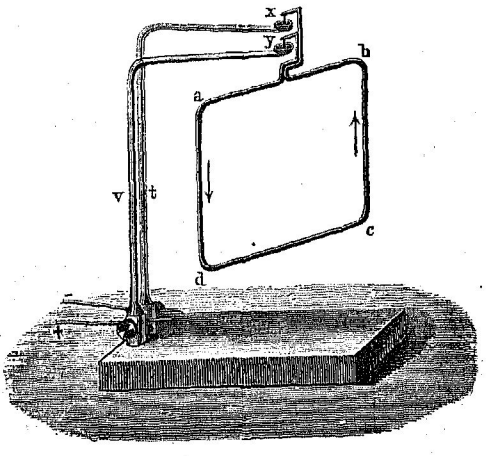


чашечку съ ртутью, расположенную на концѣ h. Къ этому металлическому стержню d прикрѣплена проволока c, опущенная въ желобъ съ ртутью ff. Токъ идетъ съ праваго зажима черезъ ad во вращающуюся металлическую часть d, и отъ нея черезъ проволоку c въ ртуть f; изъ ртути токъ по проволокѣ h проходитъ къ зажиму g и отъ него возвращается къ элементу. Итакъ, часть тока dcf можетъ вращаться; когда токъ начинаетъ идти, то магниты приходятъ во вращеніе и вращаются до тѣхъ поръ, пока токъ не будетъ разомкнутъ. Ось магнита расположена въ данномъ случаѣ вертикально и благодаря устройству прибора должна оставаться вертикальной; а силовыя линіи цѣпи $abchg$ горизонтальны; магнитъ вслѣдствіе этого не можетъ никогда своей осью стать параллельно линіямъ силъ и принужденъ такимъ образомъ непрерывно вращаться.

Примѣнивъ правило Амперовскаго пловца мы тотчасъ убѣдимся, что магниты дѣйствительно должны вращаться, и можемъ даже рѣшить, въ какомъ направленіи должно происходить это вращеніе. Представимъ себѣ, напримѣръ, что токъ идетъ по направленію cab; тогда пловецъ Ампера въ части ab стоитъ вертикально, и если онъ смотритъ на магнитъ ns, то южный полюсъ магнита долженъ отклониться за чертежъ (къ правой рукѣ пловца); если же онъ смотритъ на n_1s_1, то южный полюсъ этого магнита долженъ выйти впередъ изъ плоскости чертежа; такимъ образомъ отклоненіе обоихъ южныхъ полюсовъ должно происходить въ противоположныхъ направленіяхъ. На эту пару магнитовъ дѣйствуетъ, слѣдовательно, пара силъ, а такая пара силъ всегда вызываетъ вращеніе.

До сихъ поръ мы разсматривали движеніе магнитовъ подъ дѣйствіемъ неподвижныхъ токовъ. Наоборотъ, когда цѣпь тока подвижна, а магнитъ неподвиженъ, то проводникъ тока долженъ вращаться и притомъ такъ, чтобы направленіе его силовыхъ линій, перпендикулярныхъ къ его плоскости, становилось всегда параллельно оси магнита. Чтобы изслѣдовать этотъ вопросъ, намъ раньше всего предстоитъ задача устроить такой проводникъ, который бы могъ свободно двигаться, или чтобы по крайней мѣрѣ какія-нибудь отдѣльныя его части были легко подвижными. Этого до-

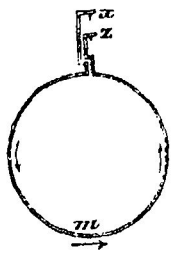
Черт. 166.



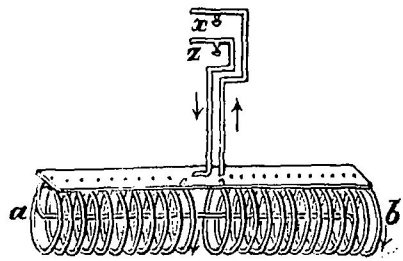
стигъ Амперъ, построивъ названный по его имени Амперовъ станокъ. Для этого Амперъ снабдилъ ту часть цѣпи, движеніе которой онъ желалъ изслѣдовать, остріями, опущенными въ чашечки, наполненныя ртутью. Чашечки были закрѣплены на проводящихъ стержняхъ; черт. 166 даетъ видъ такого Амперова станка.

Токъ проходитъ въ металлическіе стержни r и t, имѣющіе на верхнихъ своихъ концахъ ртутныя чашечки x и y. Въ нихъ на остріяхъ укрѣпляется подвижная часть цѣпи $abcd$; подъ вліяніемъ дѣйствія силъ она можетъ вращаться вокругъ этихъ острій. На станокъ можно подвѣсить либо четыреугольникъ $abcd$ (черт. 166), либо

Черт. 167.



Черт. 168.



кругъ (черт. 167), либо наконецъ спираль (черт. 168), которая такимъ образомъ представитъ собой вращающійся соленоидъ. Если къ такой подвижной цѣпи приблизить магнитъ, то эта цѣпь установится въ опредѣленномъ положеніи относительно магнита, напримѣръ, такъ, что плоскость цѣпи будетъ стоять перпендикулярно къ оси магнита, т. е. оси магнита и соленоида будутъ лежать на одной прямой.

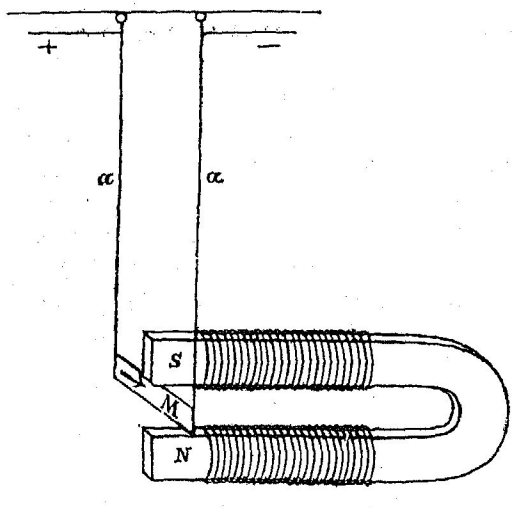
Такимъ образомъ подобный подвижный проводникъ устанавливается подъ вліяніемъ магнита совершенно такъ же, какъ магнитная стрѣлка. Изъ этого можно немедленно заключить, что и земной магнитизмъ долженъ дѣйствовать на подобную подвижную цѣпь такъ же, какъ онъ дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку. Аналогично тому, какъ магнитная стрѣлка устанавливается съ юга на сѣверъ, по направленію магнитнаго меридіана земли, и подвижный проводникъ подъ вліяніемъ земного магнитизма долженъ устанавливаться своею осью по направленію югъ-сѣверъ. Это въ дѣйствительности такъ и происходитъ. Такой проводникъ, если онъ можетъ свободно вращаться, устанавливается въ совершенно опредѣленномъ положеніи, а именно такъ, что его ось направлена съ юга на сѣверъ, а слѣдовательно плоскость его перпендикулярна къ магнитному меридіану.

Для того, чтобы быстро и опредѣленно дать направленіе движенія въ магнитномъ полѣ отдѣльныхъ частей проводника съ токомъ,

существуетъ правило, въ которомъ три перпендикулярныя одно другому направленія обозначаются тремя пальцами лѣвой руки: большимъ, указательнымъ и среднимъ. Это правило называютъ *правиломъ лѣвой руки*. Если указательный палецъ лѣвой руки направить вдоль магнитныхъ силовыхъ линій поля, а средній палецъ вдоль тока въ подвижной части проводника, то направленіе большого пальца всегда будетъ совпадать съ направленіемъ движенія этой части проводника.

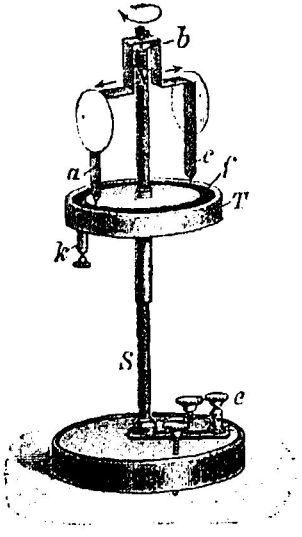
Весьма наглядный случай движенія проводника съ токомъ въ магнитномъ полѣ представленъ на черт. 169. Подковообразный электромагнитъ NS лежитъ горизонтально такимъ образомъ, что силовыя линіи идутъ отъ сѣвернаго полюса N вверхъ къ южному полюсу. Слѣдовательно, указательный палецъ долженъ быть направленъ вверхъ. Между полюсами магнита подвѣшена на длинныхъ гибкихъ проволокахъ *aa* металлическая полоска M. Черезъ эти проволоки и полоску M пропускается сильный токъ. Допустимъ, что онъ по полоскѣ идетъ по направленію къ намъ; въ такомъ же направленіи надо держать и средній палецъ. Полоска M, слѣдовательно, выйдетъ изъ магнитнаго поля по направленію большого пальца, т. е. влѣво. Въ дѣйствительности такъ и произойдетъ; какъ только возбужденъ электромагнитъ, полоска M вылетаетъ изъ магнитнаго поля. Если мы измѣнимъ направленіе намагничивающаго тока, то M задвижется по направленію къ мѣсту сгиба въ магнитѣ; если же кромѣ того измѣнить и направленіе тока въ самой пластинкѣ M, то она снова пойдетъ налѣво, что легко опредѣлить и по правилу лѣвой руки.

Черт. 169.



Другой опытъ, ходъ котораго можно опять-таки предвидѣть, пользуясь правиломъ лѣвой руки, представляетъ собой видоизмѣненіе вышеописаннаго опыта Фарадея (стр. 202) съ вращающимися магнитами. Дѣло въ томъ, что можно такъ расположить магниты и проводники, что проволока, по которой идетъ токъ, получитъ постоянное вращательное движеніе вокругъ магнита. Для этого необхо-

Черт. 170.



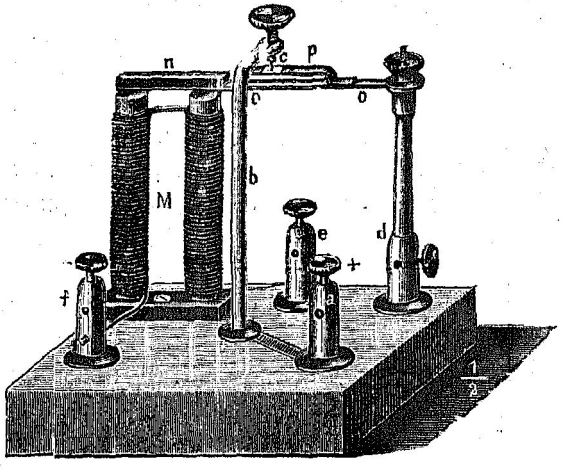
димо, чтобы одна часть проводника была подвижна, въ то время какъ другая оставалась бы неподвижной. Приборъ, изображенный на черт. 170, служитъ именно для такого опыта. Въ этомъ приборѣ часть проводника *abc* вращается на остріѣ *b*, опущенномъ въ углубленіе, сдѣланное на концѣ N магнитнаго стержня SN и наполненное ртутью. Концы этой части проводника опущены въ наполненный ртутью жолобокъ *f*. Токъ отъ батареи черезъ зажимъ *c* входитъ въ магнитный стержень и по нему достигаетъ *b*; здѣсь онъ раздѣляется и проходитъ по двумъ путямъ *ba* и *bc* въ наполненный ртутью жолобокъ, откуда черезъ зажимъ *k* снова возвращается въ батарею. Тогда проволочное стремя вращается вокругъ магнита въ направленіи, показанномъ стрѣлкой наверху чертежа.

Направленіе этого движенія легко опредѣлить по правилу лѣвой руки. Отъ сѣвернаго полюса N магнита силовыя линіи идутъ наверхъ, такъ что мы должны направить нашъ указательный палецъ вверхъ. Когда токъ по проволокѣ *bc* идетъ, какъ изображено, отъ *b* къ жолобку, наполненному ртутью, то средній палецъ мы должны держать надъ правой частью стремени въ направленіи, указанномъ стрѣлкой; значитъ большой палецъ выйдетъ впередъ чертежа. Слѣдовательно, правая часть стремени движется впередъ. Въ лѣвой части стремени токъ идетъ отъ *b* къ *a* и потому средній палецъ мы должны держать въ этомъ направленіи; большой палецъ окажется тогда позади чертежа и, слѣдовательно, лѣвая часть стремени, если на нее смотрѣть сверху, будетъ двигаться по направленію часовой стрѣлки. Если измѣнить направленіе тока или магнитныхъ силовыхъ линій, то въ обоихъ случаяхъ измѣнится и направленіе вращенія.

Электромагнитныя дѣйствія всякаго рода нашли себѣ весьма широкія примѣненія, какъ въ техникѣ, такъ и въ наукѣ. Упомянемъ здѣсь прежде всего объ одномъ примѣненіи, важномъ и для науки. Дѣло въ томъ, что намагничиваніемъ мягкаго желѣза токомъ можно воспользоваться для того, чтобы вызвать быстрое колебаніе, т. е. движеніе въ томъ и другомъ направленіи. Такое приспособленіе построилъ впервые французскій врачъ Нэфъ и по его имени оно названо было молоточкомъ Нэфа. Дѣйствіе его основано на томъ, что токъ обводится вокругъ куска мягкаго желѣза, которое, слѣдовательно, при прохожденіи тока намагничивается. Этотъ магнитъ

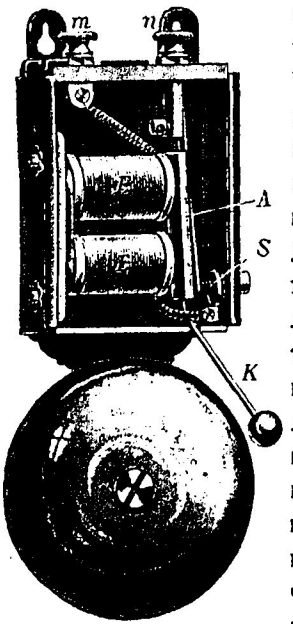
притягиваетъ тогда якорь; но благодаря этому, подходящимъ приспособленіемъ въ то же мгновеніе токъ размыкается и якорь снова отходитъ отъ магнита; токъ вслѣдствіе этого снова замыкается и явленіе повторяется заново. Устройство такого молоточка изображено на черт. 171. Полюсы элемента присоединяются къ зажимамъ *a* и *f*, тогда какъ между *d* и *e* можно включить проволоку или какой угодно приборъ. Тогда токъ идетъ чрезъ металлическую стойку *b* къ платиновому острію *c*, нажимающему на пружину *p*; такимъ образомъ токъ чрезъ пружину попадаетъ въ *o* и *d*. Изъ *d* токъ идетъ чрезъ какой-либо включенный приборъ и достигаетъ зажима *e*. Изъ *e* токъ чрезъ обмотку электромагнита M идетъ въ *f*, а оттуда возвращается къ элементу. Когда токъ проходитъ вокругъ электромагнита, послѣдній намагничивается и притягиваетъ якорь *n*. Этотъ послѣдній соединенъ съ пружиной *o* и *p*, такъ что одновременно съ опусканіемъ якоря *n* пружина *p* отойдетъ отъ платиноваго острія *c*. Вслѣдствіе этого прервется токъ и электромагнитъ потеряетъ свой магнитизмъ. Благодаря упругости пружины, якорь *n* снова отскочитъ вверхъ, снова возстановится соединеніе съ винтомъ *c*, и весь процессъ начнется сызнова.

Черт. 171.



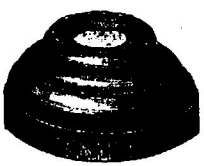
Такимъ образомъ, приборъ этотъ вызываетъ колебательное движеніе пружины *op* и этимъ самымъ производитъ непрерывныя размыканія и замыканія тока. Скорость, съ которой колеблется пружина, а слѣдовательно и скорость замыканія и размыканія тока зависитъ отъ длины и упругости пружины. Непосредственное примѣненіе молоточекъ Нэфа находитъ въ электрическихъ звонкахъ. Очевидно, что достаточно къ колеблющемуся якорю прикрѣпить молоточекъ, могущій ударять по колокольчику, чтобы получить электрическій звонокъ. Такой простой звонокъ изображенъ на черт. 172 (звонокъ «Викторія» производства Микса и Генеста въ Берлинѣ). Мы видимъ на чертежѣ электромагнитъ EE съ его якоремъ A, изготовляемымъ вмѣстѣ съ молоточкомъ K изъ одного

Черт. 172.

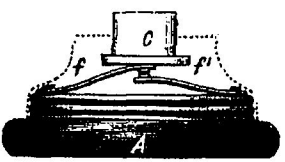


куска. Къ якорю прикрѣплена прерывающая пружина, которая можетъ прикасаться къ контактному острію S или отходить отъ него. Токъ отъ элемента входитъ въ звонокъ черезъ два зажима m и n; отъ m онъ идетъ въ электромагнитъ, отъ котораго проходитъ къ контактному острію и черезъ прерывающую пружину къ n. Вслѣдствіе этого якорь придетъ, какъ мы видѣли, въ колебательное движеніе и молоточекъ начнетъ ударять по колокольчику. Когда соединеніе между элементомъ и зажимами звонка прервано, то, очевидно, звонокъ не дѣйствуетъ. Чтобы по желанію, напримѣръ, изъ другой комнаты замыкать и размыкать токъ, идущій отъ элемента къ звонку, примѣняются, какъ извѣстно, кнопки, внѣшній видъ которыхъ изображенъ на черт. 173, а внутреннее устройство на черт. 174. Одна изъ проволокъ, идущихъ отъ элемента въ комнату, соединяется съ пружиной f; отъ другой пружины f_1 цѣпь идетъ дальше къ звонку. Въ обычномъ положеніи пружины f и f_1 не касаются одна другой; цѣпь отъ

Черт. 173.



Черт. 174.

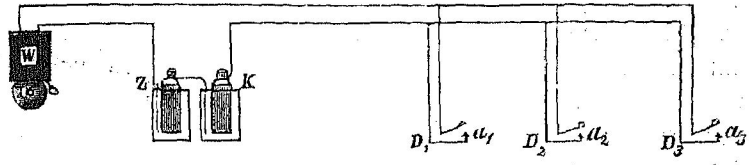


элемента ко звонку, слѣдовательно, прервана. Нажимая на пуговку изъ слоновой кости c, мы прижимаемъ f къ f_1: токъ проходитъ чрезъ f и f_1 отъ элемента къ звонку, и послѣдній начинаетъ звонить.

Для того, чтобы изъ любого числа комнатъ можно было звонить при помощи одного и того же звонка, необходимо въ каждой комнатѣ установить по кнопкѣ и соединить всѣ кнопки параллельно. Дѣйствительно, какъ показываетъ черт. 175, отъ одного полюса Z батареи ZK идетъ проводъ къ звонку W, отъ другого же зажима звонка и отъ полюса K батареи идутъ два провода вдоль всѣхъ комнатъ, изъ которыхъ надо звонить. Въ каждой комнатѣ, напримѣръ, въ D_1, отъ этихъ главныхъ проводовъ отвѣтвляются двѣ проволоки, по одной отъ каждаго, присоединяемыя къ подвижнымъ пружинамъ кнопки a_1. То же самое дѣлается и въ комнатахъ D_2,

D_3 и т. д. Если, напримѣръ, нажата кнопка въ комнатѣ D_3, то токъ идетъ отъ Z черезъ W, a_3 и D_3 въ K. Элементъ и звонокъ, такимъ образомъ, соединены между собою и раздается звонъ.

Черт. 175.



Въ высшей степени важное практическое примѣненіе электромагнитныхъ дѣйствій представляютъ собою электрическіе двигатели (электромоторы), въ которыхъ происходитъ вращеніе токовъ подъ вліяніемъ магнитовъ или магнитовъ подъ вліяніемъ токовъ; это вращеніе можетъ быть передаваемо другимъ машинамъ и вслѣдствіе этого совершать работу. Эти технически важныя примѣненія мы разсмотримъ во второй части этого сочиненія.

Въ научномъ отношеніи наиболѣе широкое примѣненіе нашли электромагнитныя дѣйствія въ конструкціи гальванометровъ. Такъ какъ электромагнитныя силы тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе токъ, то можно непосредственно по дѣйствію этихъ силъ судить о силѣ тока. При этомъ конструкція такихъ гальванометровъ различна въ зависимости отъ того, для измѣренія какихъ токовъ—сильныхъ, среднихъ или очень слабыхъ—предназначаются эти приборы. Подъ сильными токами слѣдуетъ подразумѣвать такіе, которые измѣряются амперами, т. е. по крайней мѣрѣ имѣютъ силу въ 1 амперъ, вообще же могутъ быть сколь угодно велики. Токами средней силы мы будемъ считать такіе, которые въ своемъ низшемъ предѣлѣ опускаются до одной десятитысячной ампера ($^1/_{10}$ миллиампера). Очень слабые токи лежатъ, слѣдовательно, ниже этой границы и величину ихъ можно еще измѣрять даже, если она достигаетъ лишь одной сто тысячъ милліонной части ампера (10^{-11} ампера).

Въ настоящее время измѣренія сильныхъ и среднихъ токовъ очень удобны и легки. Это—токи, встрѣчающіеся въ большинствѣ способовъ измѣренія и въ техническихъ примѣненіяхъ, а потому техника измѣрительныхъ приборовъ выработала для нихъ наиболѣе удобную и практичную форму. Вмѣстѣ съ тѣмъ эти приборы конструируются такими точными, что ихъ теперь всегда употребляютъ и для научныхъ цѣлей.

Для всѣхъ гальванометровъ преимущественно пользуются двумя магнитными дѣйствіями электрическаго тока. Одна конструкція заключается въ томъ, что токъ пропускается по неподвижно установлен-

ной проволочной обмоткѣ и выводитъ магнитную стрѣлку изъ ея естественнаго положенія сѣверъ-югъ. Величина этого отклоненія является мѣрой для искомой силы тока. Такіе гальванометры называются гальванометрами съ подвижной стрѣлкой. Второй методъ состоитъ въ томъ, что самъ изслѣдуемый токъ пропускается черезъ вращающуюся, сдѣланную изъ тонкой проволоки, катушку, находящуюся подъ дѣйствіемъ сильнаго, неподвижно установленнаго магнита; вращеніе катушки происходитъ внутри поля, образуемаго этимъ послѣднимъ. Гальванометры этого рода называются гальванометрами съ подвижной катушкой или гальванометрами Депрэ, такъ какъ Депрэ первый построилъ гальванометръ этого рода.

Сейчасъ же видна существенная разница между обоими типами гальванометровъ. Магнитная стрѣлка гальванометра съ подвижной стрѣлкой находится подъ вліяніемъ двухъ силъ: дѣйствія изслѣдуемаго тока и дѣйствія земного магнитизма. Однако, уже прежде всего величина этой послѣдней подвержена нѣкоторымъ колебаніямъ. Кромѣ того, на положеніе стрѣлки вліяютъ всѣ находящіяся вблизи магнитныя тѣла, а слѣдовательно и всѣ неподвижныя или находящіяся въ движеніи желѣзныя массы, такъ какъ онѣ всегда магнитны. Наконецъ, на нее оказываютъ свое магнитное дѣйствіе проходящіе вблизи сильные токи. Такіе токи находятся теперь почти повсюду въ большихъ городахъ, такъ какъ они проходятъ по проводамъ для электрическаго освѣщенія и электрическихъ трамваевъ. Отъ электрическихъ трамваевъ происходитъ еще одно осложненіе. Токъ для нихъ идетъ по протянутымъ надъ рельсами воздушнымъ проводамъ, т. е. по неподвижному проводнику; обратно же онъ идетъ по рельсамъ и уходитъ съ нихъ по различнымъ направленіямъ въ зависимости отъ большей или меньшей влажности грунта. Эти токи, идущіе по землѣ, также вліяютъ на положеніе стрѣлки гальванометра.

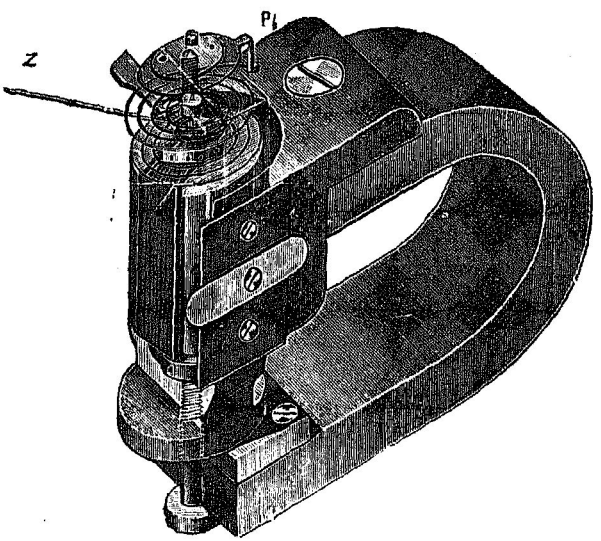
Наоборотъ, въ гальванометрахъ съ подвижной катушкой имѣется сильный магнитъ, образующій магнитное поле такой силы, что вліяніе земли, желѣзныхъ массъ или находящихся вблизи сильныхъ токовъ можно совершенно не принимать во вниманіе.

Слѣдовательно, если бы можно было сдѣлать эти гальванометры столь же чувствительными, какъ и гальванометры съ подвижной стрѣлкой, и если бы они не имѣли по сравненію съ послѣдними никакихъ другихъ недостатковъ, то имъ безусловно надо было бы отдать предпочтеніе. Однако, этого не всегда можно достичь, и потому употребляются оба рода гальванометровъ, хотя во многихъ уже случаяхъ гальванометры съ подвижной катушкой заняли мѣсто гальванометровъ съ подвижной стрѣлкой. Для измѣренія сильныхъ и среднихъ токовъ дѣлаются преимущественно гальванометры съ подвижной катушкой въ виду того, что ихъ можно устроить такъ, чтобы безъ длинныхъ

вычисленій сразу отсчитывать силу тока. Такъ какъ показанія этихъ гальванометровъ не зависятъ отъ внѣшнихъ вліяній и углы поворота подвижной катушки почти пропорціональны силамъ токовъ, то такой гальванометръ можно снабдить шкалой и ее непосредственно раздѣлить на амперы. Такіе приборы, которые даютъ возможность безъ всякихъ разсчетовъ непосредственно отсчитывать силу тока въ амперахъ, называются амперметрами (амметрами). Кромѣ того, каждый гальванометръ можно употреблять для измѣренія напряженія на его концахъ, вводя его въ отвѣтвленіе — въ шунтъ, (стр. 112). У такихъ приборовъ, включаемыхъ въ шунтѣ, шкала раздѣлена на вольты и потому ихъ называютъ вольтметрами.

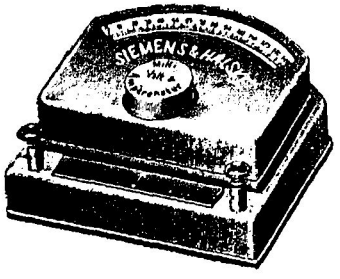
Такіе точные вольтметры и амперметры конструируются Сименсомъ и Гальске по принципу Депрэ въ слѣдующемъ видѣ. Плоскій сильный магнитный стержень изогнутъ такъ, что полюсы его находятся другъ противъ друга. На черт. 176 изображена одна (правая) половина такого стержня; лѣвая сторона, имѣющая такую же форму, на чертежѣ не изображена. Оба полюса магнита снабжены массивными полюсными наконечниками P (изъ которыхъ опять виденъ только правый), въ которыхъ сдѣланы полуцилиндрическіе вырѣзы, такъ что между ними образуется цилиндрическое пространство для подвижной катушки. Въ это пространство вставляется однако прежде всего желѣзный полый цилиндръ, такъ что между нимъ и поверхностью полюсныхъ наконечниковъ образуется просвѣтъ всего лишь въ 2 мм. ширины. Полый цилиндръ намагничивается вслѣдствіе индукціи, и потому въ кольцеобразномъ промежуткѣ вокругъ него образуется сильное магнитное поле. Въ послѣднемъ можетъ вращаться подвижная катушка. Катушка состоитъ изъ тонкой проволоки, намотанной на легкую мѣдную рамку; рамка снабжена осью, посаженной сверху и снизу на драгоцѣнные камни. Къ оси прикрѣпленъ длинный указатель Z, двигающійся надъ шкалой. Ось скрѣплена сверху съ корпусомъ

Черт. 176.



прибора посредствомъ двухъ плоскихъ спиральныхъ пружинъ; когда ось поворачивается, то пружины закручиваются до тѣхъ поръ, пока сила крученія ихъ не уравновѣшиваетъ силы, поворачивающей катушку. Пружины служатъ въ то же время для проведенія тока къ катушкѣ. Когда сквозь катушку проходитъ токъ, то она стремится стать такъ, чтобы плоскость витковъ ея стала перпендикулярна къ линіямъ силъ (см. стр. 203). Крученіе пружинъ противодѣйствуетъ этому движенію, и потому катушка наконецъ устанавливается въ томъ или другомъ положеніи въ зависимости отъ силы тока. Расположеніе магнитнаго поля и катушки таково, что отклоненія указателя пропорціональны силѣ тока. Эти приборы, общій видъ которыхъ представленъ на черт. 177, дѣлаются такъ, что каждое дѣленіе шкалы соотвѣтствуетъ одному миллиамперу (въ приборахъ съ большимъ сопротивленіемъ—одной десятой миллиампера). Приборъ, такимъ образомъ, непосредственно измѣряетъ токи силой отъ 0,001 до 0,15 ампера. При помощи шунтовъ съ незначительнымъ сопротивленіемъ—приблизительно въ $\frac{1}{19999}$ ома—можно расширить предѣлы измѣреній (см. стр. 115) до 3000 амперъ. Иногда шунты эти уже заранѣе закрѣпляются между зажимами прибора и тогда его прямо градуируютъ на амперы.

Черт. 177.



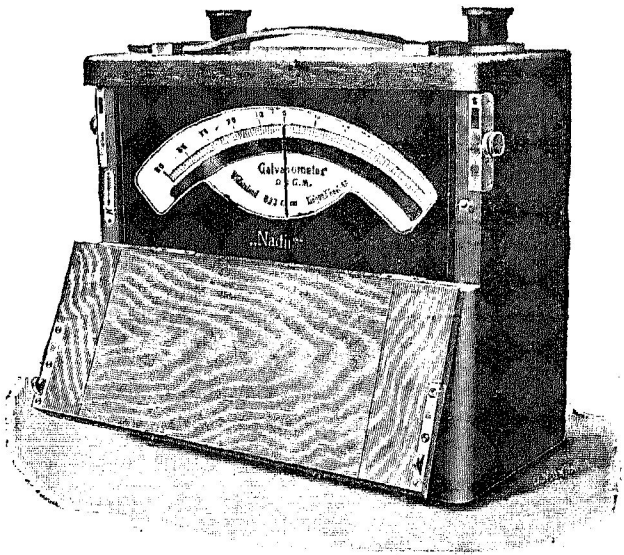
Для того, чтобы правильно нанести шкалу на такомъ приборѣ или чтобы впослѣдствіи ее проконтролировать, надо черезъ него пропустить токъ, силу котораго въ то же время опредѣляютъ вольтаметромъ (стр. 155) или, какъ чаще поступаютъ на практикѣ, компенсаціоннымъ способомъ (стр. 118).

Тѣ же самые приборы, введенные въ шунтъ какого-нибудь тока, измѣряютъ въ вольтахъ разность напряженій въ двухъ точкахъ; для расширенія границъ измѣреній передъ такимъ приборомъ включаютъ добавочное сопротивленіе (стр. 113). Если при этомъ шкала раздѣлена на вольты, то такіе приборы, какъ было сказано, называются вольтметрами.

Измѣренія сильныхъ и среднихъ токовъ при помощи этихъ приборовъ очень удобны. Наиболѣе слабые токи, которые удалось до настоящаго времени измѣрить такимъ способомъ, были силою въ $^1/_{10}$ миллиампера. Однако, нынѣ нѣкоторыя фабрики сдѣлали въ этомъ отношеніи большой шагъ впередъ,—въ особенности компанія для производства приборовъ Вестона въ Берлинѣ и заводъ измѣрительныхъ

приборовъ «Надиръ» въ Риксдорфѣ около Берлина. Эти фирмы изготовляютъ гальванометры съ указателями даже для очень слабыхъ токовъ. На черт. 178 изображенъ внѣшній видъ очень чувствительнаго Надиръ-гальванометра типа переносныхъ приборовъ. Каждое дѣленіе шкалы соотвѣтствуетъ силѣ тока въ $^{3}/_{1000}$ миллиампера (3.10^{-7} ампера), при чемъ самъ гальванометръ съ подвижной катушкой имѣетъ сопротивленіе въ 333 ома. Это является высшимъ предѣломъ того, что до настоящаго времени достигнуто съ приборами, снабженными указателями, у которыхъ подвижныя части устанавливаются на остріяхъ.

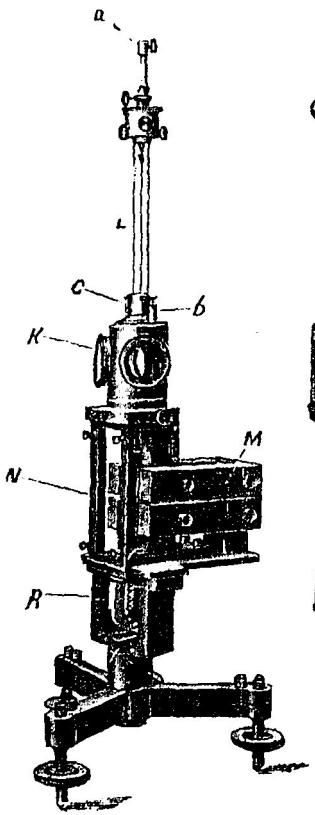
Черт. 178.



Для достиженія еще большей чувствительности, т. е. для измѣренія еще болѣе слабыхъ токовъ, подвижныя части подвѣшиваются на нити, и къ нимъ прикрѣпляется зеркальце. Такого рода приборы называются зеркальными гальванометрами. Къ подвижной стрѣлкѣ гальванометровъ со стрѣлкой или къ вращающейся катушкѣ гальванометровъ съ подвижной рамой прикрѣпляютъ зеркальце; вращеніе стрѣлки или катушки измѣряютъ особой шкалой, расположенной вдали отъ зеркальца и отражающейся въ немъ. Каждый небольшой поворотъ зеркала соотвѣтствуетъ значительному перемѣщенію зеркальнаго изображенія шкалы, которое наблюдаютъ при помощи подзорной трубы. Шкала находится непосредственно подъ подзорной трубой, приблизительно на той же высотѣ, какъ и зеркало, обыкновенно на разстояніи отъ 1 до 3 метровъ отъ него. Малѣйшія отклоненія подвижной системы производятъ уже значительныя перемѣщенія черточекъ шкалы въ полѣ зрѣнія трубы.

Подвижная часть зеркальныхъ гальванометровъ состоитъ также изъ проволочной катушки, подвѣшенной на металлической нити въ магнитномъ полѣ сильнаго стальнаго магнита; черезъ эту нить проводится измѣряемый токъ. Въ гальванометрѣ Депрэ работы Эдельмана (черт. 179) мы видимъ два свинченныхъ вмѣстѣ сильныхъ магнита M, образующихъ вмѣстѣ подковообразный магнитъ. Между полюсами его находится подвижная катушка, подвѣшенная на тонкой металлической проволокѣ (внутри трубки L) и кончающаяся снизу металлической спиральной пружиной R. Чрезъ проволоку и спиральную пружину вводится и выводится токъ (въ b и c). У K находится зеркало. Катушка S (какъ видно на черт. 180, представляющемъ отдѣльно одну лишь подвижную часть прибора) намотана на прямоугольную раму. Она состоитъ изъ мѣдной проволоки безъ всякой примѣси желѣза; внутри ея расположенъ еще неподвижный желѣзный цилиндрикъ E, служащій для возможно большаго сконцентрированія на катушку *магнитныхъ силовыхъ линій*. Чувствительность такихъ гальванометровъ очень значительна; ими можно измѣрять токи силой до одной десятимилліонной части миллиампера. Вся средняя часть прибора защищена стекляннымъ колпакомъ. При постройкѣ этихъ приборовъ особенное вниманіе обращается на то, чтобы сталь магнитовъ была наилучшаго качества, и чтобы мѣдь проволоки была вполнѣ свободна отъ желѣза.

Черт. 179.



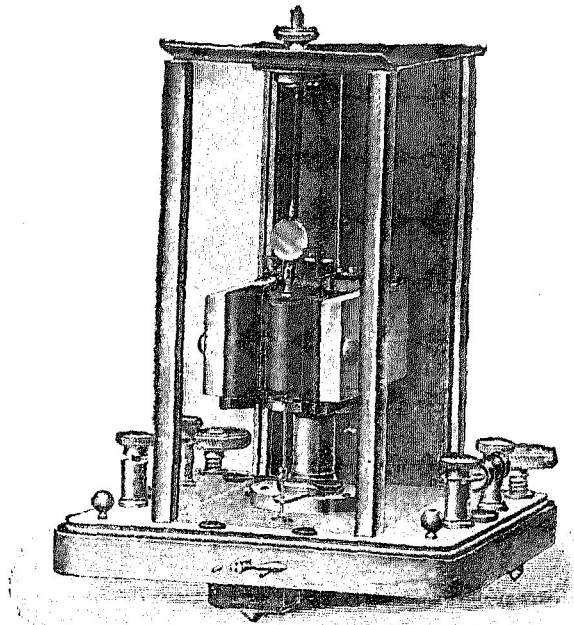
Черт. 180.



Подобные гальванометры изготовляются различными фабриками по одному и тому же принципу, при чемъ имъ придаются, однако, самыя разнообразныя формы. Они удобны еще тѣмъ, что ихъ можно переносить, соблюдая лишь самыя простыя правила предосторожности. Поэтому они особенно пригодны, какъ лекціонные приборы. На черт. 181 изображенъ очень удобный именно для этой цѣли зеркальный гальванометръ, построенный Гартманомъ и Брауномъ во Франкфуртѣ на Майнѣ. Въ колпакѣ, имѣющемъ спереди и съ боковъ стеклянныя

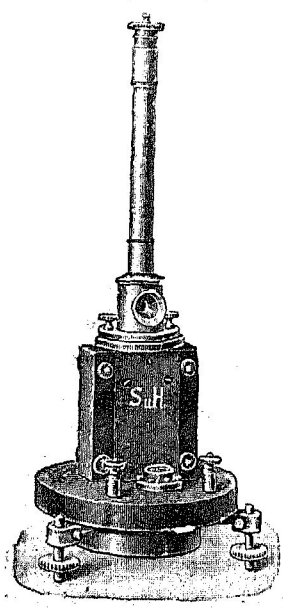
стѣнки, виситъ на тонкой металлической проволокѣ, между полюсами подковообразнаго магнита, укрѣпленнаго въ лежачемъ положеніи, подвижная катушка съ зеркальцемъ. Внутри нея находится неподвижный желѣзный сердечникъ. Сама вращающаяся катушка снабжена двумя отдѣльными обмотками; одна обмотка сдѣлана изъ толстой проволоки съ сопротивленіемъ приблизительно въ 100 омовъ, другая — изъ болѣе толстой проволоки съ сопротивленіемъ въ 5 омовъ—вслѣдствіе чего приборъ обладаетъ различною чувствительностью. Въ катушку токъ входитъ по проволокѣ, на которой она виситъ, а уходитъ по серебрянымъ ленточкамъ, которыя соединяютъ катушку съ неподвижными зажимами. Такой приборъ даетъ возможность измѣрять токи въ одну четырехмилліонную долю миллиампера (4.10^{-9} ампера).

Черт. 181.



1:3 78_2

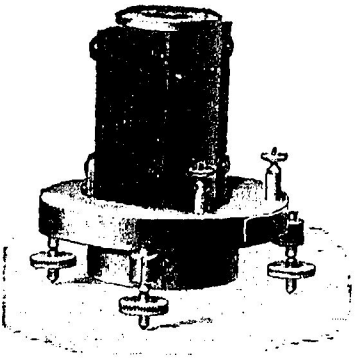
Черт. 182.



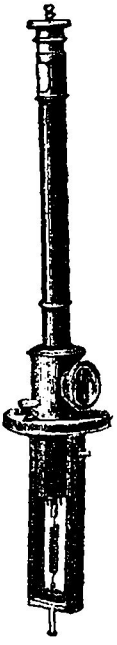
Сименсъ и Гальске при дальнѣйшихъ усовершенствованіяхъ въ конструкціи зеркальныхъ гальванометровъ съ подвижной катушкой пришли къ такому устройству ихъ, какое изображено на черт. 182; здѣсь подвижная катушка вмѣстѣ съ нитью, на которой она подвѣшена, и т. д. представляетъ собою совершенно обособленную часть, которая просто вставляется въ подставку, содержащую подковообразный магнитъ. На черт. 183 изображена нижняя часть прибора со стальнымъ магнитомъ, расположеннымъ вертикально, а на черт. 184 вставляемая часть, состоящая изъ катушки

съ находящимся внутри сердечникомъ, трубки, окружающей проволоку, на которой виситъ катушка, и зеркальца.

Черт. 183.



Черт. 184.



Въ гальванометрахъ съ подвижной катушкой обмотка, по которой проходитъ токъ, движется въ узкомъ пустомъ пространствѣ между полюсами магнита и желѣзнымъ сердечникомъ. Вслѣдствіе этого, движеніе ея, какъ мы узнаемъ въ IX главѣ, сильно задерживается возникающими индукціонными токами. Это значитъ, что подвижная система, выведенная токомъ изъ своего обычнаго положенія, не производитъ болѣе или менѣе быстрыхъ колебаній, а очень медленно подходитъ къ своему новому положенію равновѣсія. Такое медленное движеніе при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ представляетъ собой большой недостатокъ этихъ приборовъ. Чѣмъ сильнѣе магнитное поле, тѣмъ больше задержка (успокоеніе или демпфировка) въ движеніи и тѣмъ медленнѣе, иногда спустя много минутъ, подвижная катушка приходитъ въ свое положеніе равновѣсія. Такимъ образомъ, достигая помощью возможно болѣе сильнаго поля большей чувствительности гальванометра, мы вмѣстѣ съ тѣмъ встрѣчаемся съ очень неудобной медленностью его показаній. По этой причинѣ съ такими приборами невозможно достичь наивысшей чувствительности.

Непрерывно идетъ впередъ въ дѣлѣ повышенія чувствительности также и техника гальванометровъ съ подвижной стрѣлкой, т. е. такихъ, у которыхъ токъ отклоняетъ подвѣшенную на нить магнитную стрѣлку.

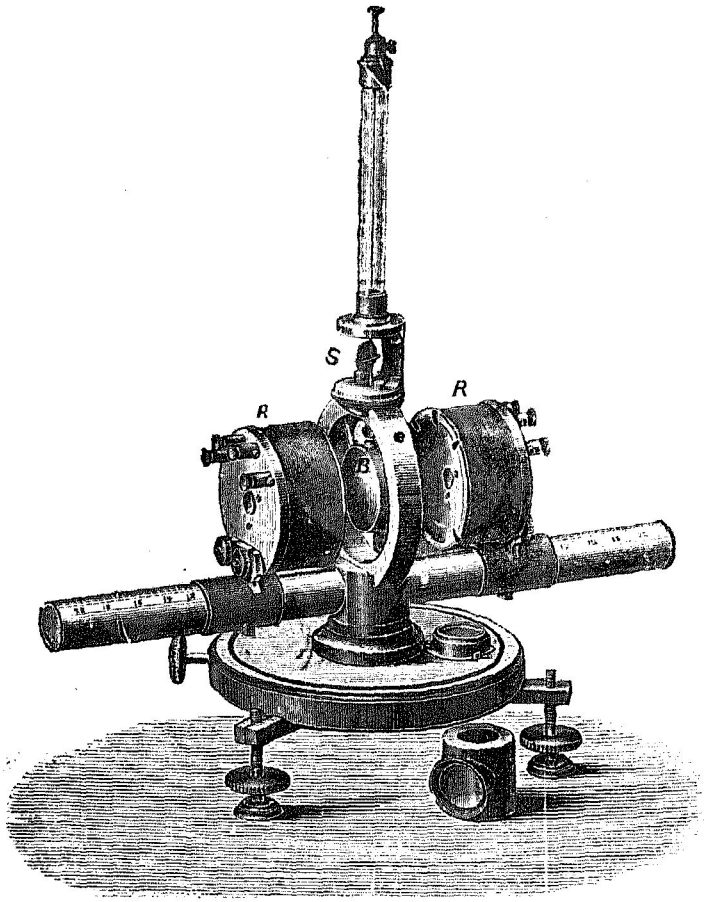
Прежде исключительно употреблялись эти приборы, но теперь, во многихъ случаяхъ, въ большихъ городахъ, по причинамъ, указаннымъ нами раньше, они вытѣснены гальванометрами съ подвижной катушкой. Однакоже въ мѣстностяхъ, гдѣ нѣтъ электрическихъ трамваевъ или въ мѣстахъ, удаленныхъ отъ нихъ, эти приборы употребляются съ большой пользой, и именно гальванометры со стрѣлкой, но нѣсколько особой конструкціи, даютъ возможность достичь наивысшей чувствительности.

Для того, чтобы гальванометрами съ подвижной стрѣлкой измѣрять слабые токи, надо обвести токъ вокругъ стрѣлки по боль-

шому числу тѣсно расположенныхъ витковъ. Такъ какъ каждый витокъ оказываетъ вращательную силу на стрѣлку, то общее дѣйствіе будетъ увеличено. Такіе приборы называютъ мультипликаторами.

Обыкновенно для каждаго гальванометра имѣется нѣсколько различныхъ катушекъ, чтобы въ случаѣ надобности имѣть большія или меньшія сопротивленія, и различное число витковъ; часто устраиваютъ такъ, что катушки могутъ быть помѣщены на разныхъ разстояніяхъ отъ магнитной стрѣлки. Магнитная стрѣлка обыкновенно не имѣетъ однако формы стрѣлки, а дѣлается въ видѣ кольца или надрѣзаннаго колокола и называется кольцеобразнымъ или колоколообразнымъ магнитомъ.

Черт. 185.



На черт. 185 изображенъ подобный гальванометръ съ подвижными катушками, именно зеркальный гальванометръ Видемана новѣйшей конструкціи Гартмана и Брауна. Въ стеклянной трубкѣ подвѣшена шелковинка; сверху она закрѣплена, а внизу къ ней подвѣ-

шено зеркальце *S*, которое видно на чертежѣ. Къ зеркалу подвѣшенъ снизу кольцеобразный магнитъ, не видный на чертежѣ и расположенный внутри мѣдной коробки *B*. По обѣ стороны мѣдной коробки помѣщены на металлической, снабженной дѣленіями, трубкѣ двѣ катушки *RR*, которыя можно плотно придвинуть къ коробкѣ, или же отодвинуть отъ нея. Небольшой футляръ со стекляннымъ окошечкомъ, изображенный отдѣльно направо внизу, покрываетъ зеркало для того, чтобы теченія воздуха не мѣшали наблюденіямъ. Вращеніе зеркала наблюдаютъ черезъ окошечко съ помощью подзорной трубы и шкалы.

При такихъ измѣреніяхъ очень утомляютъ наблюдателя медленныя качанія магнита около каждаго своего положенія равновѣсія. Чтобы избѣжать этого, т. е. для того, чтобы магнитъ безъ продолжительныхъ колебаній устанавливался непосредственно въ своемъ новомъ положеніи, устраиваютъ различные успокоители. Успокоенія можно достигнуть тѣмъ (это какъ разъ и имѣется въ описываемомъ приборѣ), что магнитъ заставляютъ колебаться въ тѣсно прилегающей къ нему оболочкѣ изъ мѣди, въ такъ называемомъ мѣдномъ успокоителѣ.

Въ этомъ случаѣ образуются, какъ мы увидимъ въ главѣ IX, индукціонные токи, которые очень быстро останавливаютъ колебанія магнита. При подходящей формѣ магнита, успокоеніе наступаетъ такъ быстро, что магнитъ почти не дѣлаетъ колебаній, а непосредственно устанавливается на своемъ положеніи равновѣсія. Гальванометры этого рода называютъ аперіодическими гальванометрами.

Чрезвычайно важно для повышенія чувствительности гальванометра какъ можно больше ослабить вліяніе на стрѣлку земного магнитизма. Дѣйствительно, если бы земного магнитизма вовсе не было, то уже самый слабый токъ поставилъ бы магнитную стрѣлку перпендикулярно къ плоскости, по которой онъ проходитъ, т. е. вызвалъ бы отклоненіе въ 90°. Чѣмъ больше, слѣдовательно, ослабляется дѣйствіе земного магнитизма, тѣмъ большія отклоненія получаются при незначительныхъ силахъ тока, и тѣмъ меньшіе токи могутъ быть измѣрены. Вліяніе земного магнитизма можно ослабить или уничтожить двумя способами. Первый способъ состоитъ въ томъ, что надъ стрѣлкой помѣщаютъ передвижной магнитный стержень. Если этому стержню придать такое направленіе, чтобы сѣверный полюсъ его показывалъ на сѣверъ, то онъ будетъ ослаблять дѣйствіе земного магнитизма. Дѣйствительно, землю можно вѣдь разсматривать какъ магнитъ, южный полюсъ котораго расположенъ на сѣверѣ (почему магнитныя стрѣлки и обращаются сѣвернымъ полюсомъ на сѣверъ). Этотъ магнитный стержень, называемый астазирующимъ магнитомъ, можно приближать къ магниту гальванометра и тѣмъ въ же-

лаемой степени ослаблять дѣйствіе земного магнитизма; такимъ путемъ достигается астазія почти какой угодно степени.

Чѣмъ сильнѣе степень астазіи гальванометра, тѣмъ меньше сила, съ которой земной магнитизмъ стремится вернуть стрѣлку гальванометра въ ея положеніе равновѣсія. Поэтому, когда стрѣлка отклонится подъ вліяніемъ тока, то колебанія, которыя она будетъ совершать около своего положенія равновѣсія, будутъ тѣмъ медленнѣе, чѣмъ сильнѣе астазированъ гальванометръ, такъ какъ и силы, которыя дѣйствуютъ на стрѣлку, будутъ меньше. Съ повышеніемъ астазіи у каждаго гальванометра, такимъ образомъ, связано увеличеніе времени колебанія, такъ что, наоборотъ, по времени колебанія магнита можно судить о степени астазіи одного и того же гальванометра. Такъ говорятъ, напр., что гальванометръ астазированъ до времени колебанія въ 6 или въ 20 секундъ.

Другой способъ для уменьшенія вліянія земного магнитизма состоитъ въ томъ, что въ гальванометрѣ подвѣшиваютъ свободно не одинъ магнитъ (стрѣлку, кольцевой или колоколообразный магнитъ), а два противоположно направленныхъ магнита, скрѣпленныхъ другъ съ другомъ. Такая магнитная пара называется астатической парой, а гальванометръ, содержащій таковую—астатическимъ гальванометромъ. Такіе гальванометры были впервые построены сэромъ В. Томсономъ (лордомъ Кельвиномъ) и поэтому называются гальванометрами Томсона.

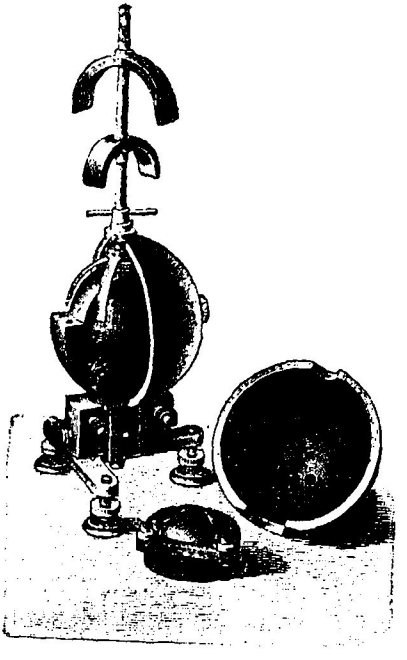
Такъ какъ, однако, два магнита нельзя приготовить совершенно одинаковой силы, то въ приборѣ примѣняется еще астазирующій магнитъ. Если въ такомъ приборѣ магнитную систему подвѣсить не на шелковинкѣ, а на кварцевой нити, то тогда достигается чрезвычайная чувствительность. Дѣйствительно, Томсоновскіе гальванометры представляютъ собою наиболѣе чувствительные приборы этого рода, построенные до сихъ поръ. Съ помощью нихъ можно измѣрять токи, сила которыхъ равна всего лишь одной сто тысячъ милліонной доли ампера (10^{-11} амп.).

Однако, эти точные приборы, по мѣрѣ развитія въ городахъ всевозможныхъ примѣненій электричества, стали непригодными, или, по крайней мѣрѣ, вполнѣ использовать ихъ высокую чувствительность оказалось невозможнымъ. Дѣло въ томъ, что астазія, благодаря которой стрѣлки не находятся подъ вліяніемъ земного магнитизма, имѣетъ съ другой стороны слѣдствіемъ отсутствіе у стрѣлокъ постояннаго положенія равновѣсія. Всякія внѣшнія вліянія, напр., движеніе желѣзныхъ массъ, затѣмъ токи, проходящіе по землѣ или по расположеннымъ въ сосѣдствѣ проводамъ, будутъ вліять на положеніе магнитной стрѣлки, вслѣдствіе чего стрѣлки подобныхъ гальванометровъ вмѣстѣ съ ихъ зеркальцами будутъ находиться въ непрерывномъ неправильномъ ко-

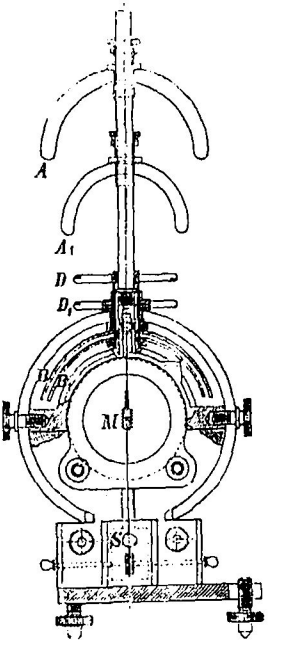
лебаніи, такъ что измѣренія окажутся возможными лишь въ немногіе рѣдкіе моменты. Понятно, и теперь еще есть достаточно мѣстъ, гдѣ можно пользоваться этими приборами, но именно въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ ихъ главнымъ образомъ нужно было бы примѣнять, въ настоящее время ими почти нельзя пользоваться.

Въ нашемъ распоряженіи все же есть еще одно средство для того, чтобы имѣть возможность пользоваться этими удобными и въ высшей степени чувствительными приборами; оно заключается въ томъ, чтобы, насколько возможно, ослабить дѣйствіе на приборъ не только магнитнаго поля земли, но и всѣхъ другихъ полей, мѣшающихъ наблюденіямъ, происходящихъ по причинамъ, изложеннымъ выше. Съ этою цѣлью приборъ помѣщаютъ внутри желѣзнаго тѣла. Одной такой желѣзной оболочки недостаточно и обыкновенно употребляютъ ихъ 2 или 3, отдѣленныхъ другъ отъ друга слоями воздуха. Способъ этотъ носитъ названіе панцырнаго гальванометра. Такіе шарообразные панцырные гальванометры Рубенса и Дюбуа изготовляются Сименсомъ и Гальске; они принадлежатъ къ типу гальванометровъ со стрѣлкой, являются очень чувствительными и почти вполнѣ защищены отъ обыкновенныхъ внѣшнихъ вліяній.

Черт. 186.



Черт. 187.



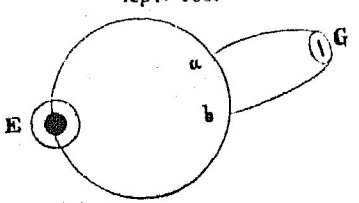
Общій видъ такого прибора изображенъ на черт. 186. Внутри шара изъ литой стали находится собственно гальванометръ. Послѣдній состоитъ, какъ показываетъ продольный разрѣзъ (черт. 187), изъ

весьма небольшой магнитной системы M, находящейся въ свободномъ пространствѣ между двумя, близко другъ къ другу расположенными катушками. Сами катушки также заключены въ оболочки изъ литой стали (послѣднія могутъ быть и сняты); эти защищенныя сталью катушки образуютъ собой внутреннюю оболочку прибора. Зеркальце S расположено очень низко и его наблюдаютъ черезъ отверстіе. Внутренніе астазирующіе магниты BB_1 можно вращать рукоятками DD_1. Весь гальванометръ заключенъ еще въ одну стальную оболочку, такъ что въ общемъ онъ имѣетъ тройную броню. Кромѣ астазирующихъ магнитовъ BB_1, находящихся внутри, существуютъ еще, внѣ шарового панцыря и третьей оболочки, изогнутые магнитные стержни AA_1, которые можно вращать и которые служатъ для полнаго астазированія системы.

Если пользоваться во всѣхъ этихъ гальванометрахъ только небольшими отклоненіями подвижной части, наблюдаемыми при помощи подзорной трубы и шкалы, то можно съ помощью ихъ измѣрять силы токовъ въ произвольной мѣрѣ, а именно — числомъ дѣленій шкалы, прошедшихъ въ трубѣ вслѣдствіе вращенія зеркальца. Но если къ тому же извѣстенъ еще и переводный множитель, то измѣряемыя силы тока можно сейчасъ же выразить въ амперахъ. Для опредѣленія переводнаго множителя гальванометра черезъ него пропускаютъ токъ, сила котораго въ амперахъ извѣстна (напр. при помощи вольтаметра), и наблюдаютъ уголъ отклоненія.

Если приходится измѣрять зеркальнымъ гальванометромъ сильные токи, то ихъ нельзя пропустить непосредственно черезъ гальванометръ, такъ какъ проволоки подобныхъ гальванометровъ предназначены только для очень слабыхъ токовъ и сильнымъ токомъ были бы сожжены. Въ такомъ случаѣ черезъ гальванометръ пропускаютъ только небольшую, точно опредѣленную часть всего тока. Для этого гальванометръ помѣщаютъ въ развѣтвленную цѣпь, какъ показано на черт. 188. Тогда говорятъ, что гальванометръ находится въ отвѣтвленіи или шунтированъ. Токъ, силу котораго мы хотимъ измѣрить, идетъ изъ E. Къ точкамъ a и b присоединенъ въ отвѣтвленіи гальванометръ; онъ непосредственно даетъ лишь силу тока въ своей вѣтви aGb. Если намъ теперь еще извѣстно сопротивленіе гальванометра и сопротивленіе ab, то, на основаніи нашихъ законовъ (см. стр. 78), сила тока въ ab во столько разъ больше силы тока въ G, во сколько разъ сопротивленіе ab меньше сопротивленія G. Сила же главнаго тока равна суммѣ силъ тока въ G и ab. Въ настоящее время обыкновенно галь-

Черт. 188.



ванометры снабжаются катушками съ декаднымъ сопротивленіемъ въ 1 омъ, въ 10, въ 100 или въ 1000 омовъ и точно также въ качествѣ сопротивленія ab, къ которому параллельно присоединяютъ гальванометръ, берутъ декадное сопротивленіе, въ 1 омъ, въ 0,1 или въ 0,01 ома и т. д.

Каждый гальванометръ можетъ быть примѣненъ еще для другой весьма важной цѣли. Въ случаѣ постояннаго тока, проходящаго чрезъ гальванометръ, въ каждый промежутокъ времени по проволокѣ гальванометра проходитъ опредѣленное количество электричества. Сила тока равна количеству электричества, протекающаго въ 1 секунду черезъ любое поперечное сѣченіе проводника, и подобный непрерывно идущій токъ вызываетъ постоянное отклоненіе стрѣлки или катушки гальванометра. Но когда чрезъ проволоку гальванометра проходитъ только нѣкоторое опредѣленное количество электричества, напримѣръ такое, которое собрано на одной поверхности заряженной Лейденской банки, то мы будемъ имѣть не постоянный, а мгновенный токъ. Подъ вліяніемъ этого мгновеннаго тока стрѣлка гальванометра получаетъ нѣкоторый толчокъ, такъ что она выйдетъ изъ своего положенія равновѣсія. Но такъ какъ токъ сразу же и прекращается, то стрѣлка не остается отклоненною, а послѣ нѣсколькихъ колебаній возвращается обратно въ свое положеніе равновѣсія.

Итакъ, дѣйствіе мгновеннаго тока на гальванометръ заключается въ томъ, что стрѣлка его откидывается отъ положенія равновѣсія, но въ такомъ положеніи не удерживается. Чѣмъ большее количество электричества прошло мгновенно по проволокѣ прибора, тѣмъ больше уголъ перваго отклоненія стрѣлки. Такимъ образомъ, если наблюдать величину этого перваго отклоненія, то мы будемъ имѣть мѣру всего количества электричества, которое прошло черезъ проволоку.

Гальванометръ, примѣняемый для такихъ измѣреній, называютъ баллистическимъ гальванометромъ. Для этого годится всякій обычный гальванометръ.

Чтобы первое отклоненіе было, при данномъ количествѣ электричества, возможно большимъ, необходимо, чтобы приборъ обладалъ большимъ періодомъ собственныхъ колебаній, т. е. чтобы его подвижная часть двигалась медленно, ибо она должна еще находиться въ положеніи равновѣсія все время, пока электричество проходитъ по проволокѣ. Кромѣ того, успокоитель гальванометра долженъ быть по возможности малъ, чтобы отбросъ былъ достаточно великъ. Поэтому, когда хотятъ пользоваться гальванометромъ со стрѣлкой, какъ баллистическимъ, удаляютъ мѣдный успокоитель. Если для баллистическихъ измѣреній хотятъ пользоваться гальванометромъ съ вращающейся катушкой, то продолжительность ея колебанія увеличиваютъ тѣмъ, что къ ней подвѣшиваютъ добавочный грузъ. Напримѣръ, въ

гальванометрѣ Гартмана и Брауна, изображенномъ на черт. 181, у нижняго стержня, прикрѣпленнаго къ катушкѣ, имѣются двѣ небольшія тарелочки, на которыя кладутся шарики, видимыя (см. чертежъ) на подставкѣ прибора. Благодаря этой нагрузкѣ, продолжительность колебанія прибора увеличивается.

Для того, чтобы выразить въ кулонахъ количество электричества, измѣряемое первымъ отклоненіемъ стрѣлки, необходимо снова опредѣлить переводный множитель для этого перваго отклоненія, т. е. необходимо опредѣлить, какъ велико первое отклоненіе, вызванное прохожденіемъ чрезъ гальванометръ опредѣленнаго количества кулоновъ. Изъ послѣдующаго видно, какъ это дѣлается.

Съ помощью такого проградуированнаго баллистическаго гальванометра возможно тогда опредѣлить число кулоновъ, прошедшихъ чрезъ гальванометръ при мгновенномъ токѣ. Этотъ методъ имѣетъ большое примѣненіе для многихъ цѣлей. Сейчасъ же мы познакомимся съ тѣмъ, какъ измѣрить, пользуясь этимъ методомъ, емкость конденсатора.

Если мы имѣемъ конденсаторъ и соединимъ одну изъ его обкладокъ съ положительнымъ полюсомъ батареи, а другую съ землей, съ которой мы соединимъ также и другой полюсъ батареи, то отъ нея должно перейти на пластинку столько электричества, чтобы разность напряженій обкладокъ была равна разности напряженій соединенныхъ съ ними полюсовъ батареи; количество же находящагося на этой пластинкѣ электричества (стр. 14) равно:

Количество электричества = Емкость × Разность напряженій.

Разность напряженій намъ извѣстна; она равна электродвижущей силѣ примѣняемой нами батареи. Количество электричества можетъ быть нами измѣрено въ кулонахъ по баллистическому методу и слѣдовательно отсюда можно вычислить емкость. Для измѣренія количества электричества, собраннаго уже въ конденсаторѣ, послѣ заряженія соединяютъ его заряженную пластинку съ однимъ полюсомъ гальванометра, другой полюсъ котораго также соединенъ съ землей. Электричество проходитъ по проволокѣ гальванометра къ землѣ и первое отклоненіе его стрѣлки или катушки даетъ количество кулоновъ, прошедшихъ отъ положительно заряженной обкладки къ землѣ. Разность напряженій у полюсовъ батареи измѣряется вольтметромъ и, такимъ образомъ, изъ этихъ двухъ наблюденій получаемъ:

$$\text{Емкость въ фарадахъ} = \frac{\text{Число кулоновъ}}{\text{Разность напряженій въ вольтахъ}}.$$

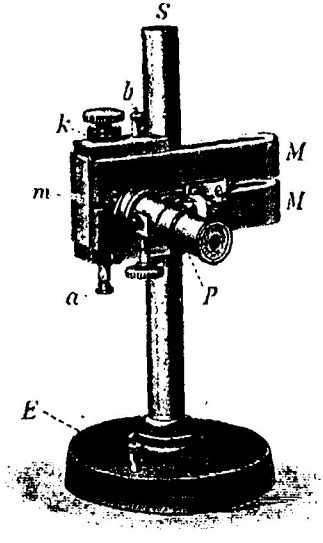
Итакъ, гальванометръ можетъ служить и для измѣренія емкостей.

Когда, наоборотъ, имѣется конденсаторъ, емкость котораго извѣстна (напр. 1 микрофарада, см. выше стр. 20) и мы его зарядимъ отъ городской центральной электрической сѣти, имѣющей напряженіе

въ 110 вольтъ, то на немъ будетъ находиться опредѣленное количество электричества въ 110 микрокулоновъ. Если это опредѣленное количество электричества мы заставимъ перейти въ землю черезъ гальванометръ, то при этомъ получится опредѣленное отклоненіе; баллистическій гальванометръ будетъ такимъ образомъ проградуированъ, и его переводный множитель опредѣлится, такъ какъ при этомъ будетъ извѣстно, какъ велико его первое отклоненіе для 1 микрокулона или 1 кулона.

Легко понять, что баллистическимъ гальванометромъ можно опредѣлить также и діэлектрическую постоянную нѣкотораго вещества (стр. 29). Если между двумя пластинками конденсатора въ качествѣ промежуточной среды въ одномъ случаѣ будетъ воздухъ, а въ другомъ—испытуемое вещество, напримѣръ стекло, то емкость конденсатора во второмъ случаѣ будетъ больше, чѣмъ въ первомъ, и отношеніе обѣихъ емкостей какъ разъ равно искомой діэлектрической постоянной. Итакъ, если этотъ конденсаторъ въ обоихъ случаяхъ зарядить отъ одной и той же батареи и затѣмъ разрядить черезъ одинъ и тотъ же гальванометръ, то отношеніе первыхъ отклоненій на гальванометрѣ будетъ равно отношенію емкостей конденсатора въ первомъ и во второмъ случаяхъ. Но отношеніе емкостей мы назвали діэлектрической постоянной разсматриваемаго вещества. Такимъ образомъ, отношеніе обоихъ первыхъ отклоненій гальванометра равно діэлектрической постоянной промежуточной среды (стекла), отнесенной къ воздуху, діэлектрическая постоянная котораго принимается равной 1.

Черт. 189.



Каждый гальванометръ со стрѣлкой или катушкой можно, какъ сказано выше, употреблять въ видѣ баллистическаго гальванометра. Особенно, однако, большой чувствительностью для баллистическихъ цѣлей, т. е. для измѣреній количествъ электричества, обладаютъ гальванометры совершенно новой, появившейся лишь нѣсколько лѣтъ тому назадъ, системы, называемые струнными гальванометрами. У нихъ между полюсами магнита находится болѣе или менѣе сильно натянутая платиновая, серебряная или посеребренная кварцевая нить, черезъ которую и проходитъ постоянный или мгновенный токъ. Тогда эта нить, по правилу лѣвой руки, нѣсколько выгибается по направленію, перпендикулярному къ силовымъ линіямъ магнита, и къ своему соб-

ственному, т. е. къ направленію тока. Отклоненіе это измѣряется обыкновенно при помощи микроскопа. Черт. 189 изображаетъ такой струнный гальванометръ, изготовляемый Эдельманомъ въ Мюнхенѣ. Онъ состоитъ изъ двухъ подковообразныхъ магнитовъ MM, между полюсами которыхъ натянута при помощи a и b нить, изгибъ которой наблюдается микроскопомъ P. Чувствительность такого прибора тѣмъ больше, чѣмъ тоньше натянутая нить.

ГЛАВА VIII.

Дѣйствіе электрическихъ токовъ другъ на друга. (Электродинамика).

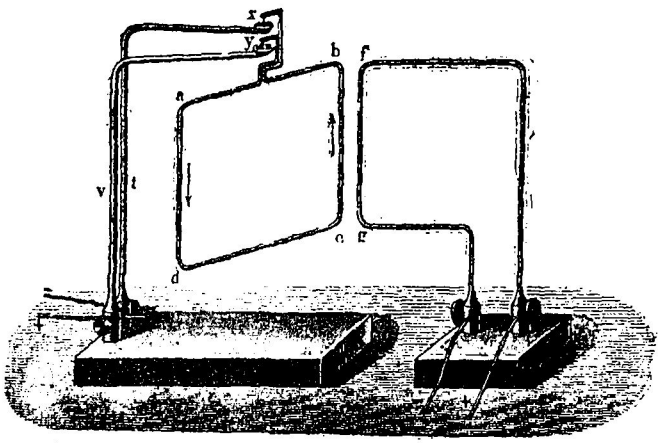
Электромагнитныя явленія, о которыхъ мы говорили въ предыдущей главѣ, можно вкратцѣ формулировать такъ: электрическіе токи—проводники, по которымъ проходитъ токъ—дѣйствовали совершенно такъ же, какъ магниты. Соленоидъ (проволочная спираль, по которой проходитъ токъ), свободно подвѣшенный, устанавливался въ магнитномъ меридіанѣ, какъ магнитъ, онъ притягивался къ магниту и отталкивался отъ него подобно магниту, имѣлъ, какъ и магнитъ, свой сѣверный и южный полюсъ, дѣйствовалъ подобно магниту притягивающимъ и отталкивающимъ образомъ на магнитъ и, наконецъ, онъ намагничивалъ, опять-таки какъ и магнитъ, мягкое желѣзо. Это наводитъ на мысль, что и два соленоида, два проводника, должны производить другъ на друга подобно двумъ магнитамъ притягивающія и отталкивающія дѣйствія. Въ этомъ случаѣ можно было бы между двумя токами наблюдать притягивающія и отталкивающія дѣйствія и безъ всякихъ магнитовъ. Эта мысль подтвердилась на опытѣ. Амперъ впервые изслѣдовалъ эти взаимодѣйствія электрическихъ токовъ и совершенно разъяснилъ ихъ рядомъ остроумныхъ опытовъ и разсужденій. Ученіе о дѣйствіяхъ электрическихъ токовъ другъ на друга называютъ электродинамикой.

Для изученія механическаго взаимодѣйствія электрическихъ токовъ Амперъ долженъ былъ ихъ сдѣлать, по крайней мѣрѣ частью, подвижными. Для этихъ изслѣдованій лучше всего поэтому воспользоваться станкомъ Ампера, который былъ уже описанъ въ предыдущей главѣ. Къ подвижному проводнику надо приближать теперь неподвижный проводникъ, для того, чтобы имѣть возможность наблюдать притяженія и отталкиванія между ними. Пропустивъ черезъ станокъ Ампера (налѣво на черт. 190) токъ по направленію, обозначенному стрѣл-

ками, и приблизивъ къ этому подвижному проводнику неподвижный проводникъ *gf* (направо), мы замѣтимъ слѣдующее.

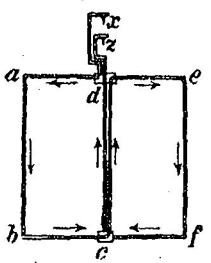
Если положительный токъ въ *gf* идетъ снизу вверхъ, т. е. въ такомъ же направленіи, какъ и въ *cb*, то *cb* притягивается къ *gf*. Но если токъ идетъ въ *fg* сверху внизъ, слѣдовательно въ обратномъ *cb* направленіи, то *cb* отталкивается. Точно такъ же относится къ *fg* и сторона *ad* подвижнаго проводника. Если токи въ *fg* и въ *ad* идутъ въ одномъ и томъ же направленіи, то *ad* притягивается, а *cb* отталкивается; если же токъ въ *fg* идетъ по направленію, обратному направленію въ *ad*, то *ad* отталкивается, а *cb* притягивается. Изъ этого слѣдуетъ законъ: Два параллельныхъ, одинаково направленныхъ тока притягиваются; два параллельныхъ, противоположно направленныхъ тока отталкиваются.

Черт. 190.



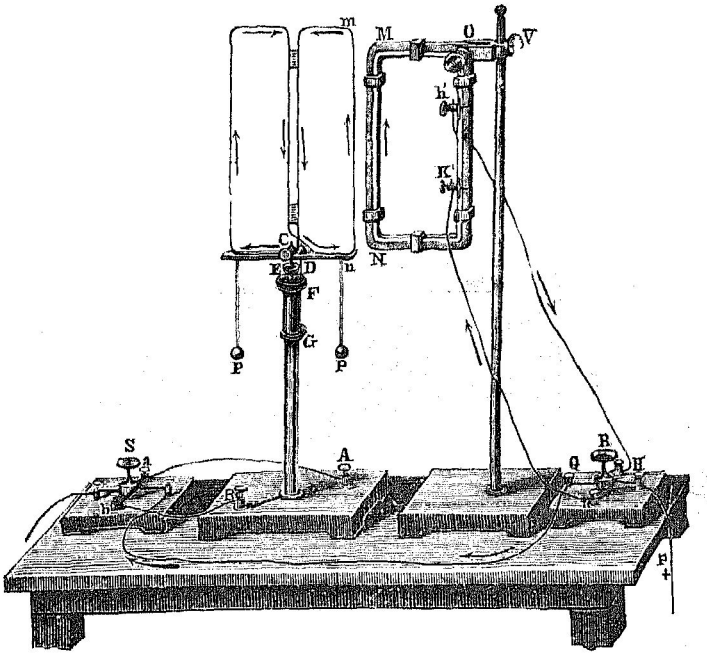
Такъ какъ подвижный проводникъ, подобный тому, который изображаетъ черт. 190, подъ вліяніемъ земного магнитизма уже самъ по себѣ принимаетъ нѣкоторое опредѣленное положеніе (какъ мы это видѣли на стр. 204), т. е. устанавливается своею плоскостью перпендикулярно къ магнитному меридіану, то такое притяженіе и отталкиваніе двухъ параллельныхъ токовъ вслѣдствіе этого происходитъ не такъ рѣзко. Для того, чтобы устранить это вліяніе земного магнитизма, которое только мѣшаетъ при этихъ наблюденіяхъ, Амперъ построилъ, такъ называемый, астатическій проводникъ, изображенный на черт. 191. Въ немъ по обѣимъ внѣшнимъ проволокамъ токъ идетъ въ одномъ и томъ же направленіи, точно такъ же, какъ и по обѣимъ внутреннимъ проволокамъ. Если мы представимъ себѣ каждую

Черт. 191.



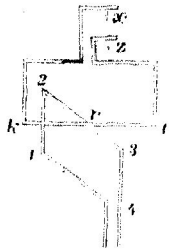
половину рамки замѣненной маленькимъ магнитомъ, пропущеннымъ сквозь нее перпендикулярно къ плоскости рамки, то обращенный къ наблюдателю полюсъ магнита для цѣпи *bcda* будетъ сѣвернымъ, для цѣпи *cdef*—южнымъ. Обѣ половины вмѣстѣ являются какъ бы астатической магнитной парой, а потому земной магнитизмъ и не производитъ никакого дѣйствія на всю цѣпь, и она не устанавливается перпендикулярно плоскости магнитнаго меридіана. Если теперь къ этому астатическому проводнику приблизить неподвижный проводникъ, то можно ясно замѣтить, какъ параллельные, одинаково направленные, токи притягиваются, а противоположно направленные отталкиваются.

Черт. 192.



Въ качествѣ неподвижнаго проводника лучше взять не простую проволоку, какъ на черт. 190, а цѣлую рамку со множествомъ оборотовъ проволоки, расположенныхъ рядомъ и другъ на другѣ, по которымъ токъ проходитъ въ одномъ и томъ же направленіи. Черт. 192 изображаетъ подобное устройство. На штативѣ *G* помѣщается подвижный астатическій проводникъ, *MN* рамка, обмотанная проволокой. Токъ силою въ 3—4 ампера пропускаютъ черезъ зажимы по проволокамъ; направленіе тока можно мѣнять съ помощью коммутаторовъ *R* и *S*. На чертежѣ токи въ *mn* и *MN* направлены одинаково; они, слѣдовательно, притягиваются и устанавливаются параллельно другъ къ другу.

Черт. 193.

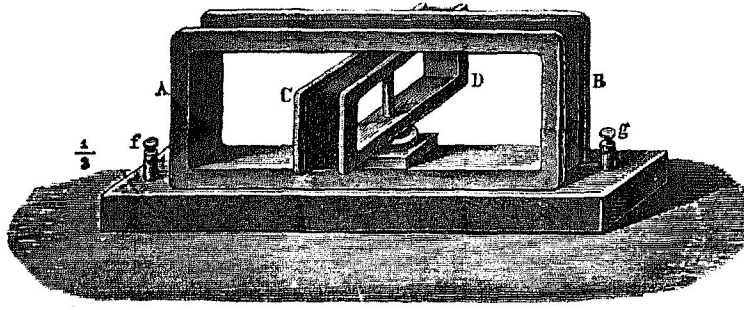


Послѣ изслѣдованія параллельныхъ токовъ Амперъ перешелъ къ изслѣдованію скрещенныхъ токовъ, причемъ неподвижный проводникъ 1234 (черт. 193) онъ расположилъ нѣсколько косо по отношенію къ подвижному проводнику *xktz*. Законъ, найденный Ампером для случая скрещенныхъ токовъ, гласитъ слѣдующее:

Два скрещенныхъ тока стремятся всегда такъ установиться, чтобы быть параллельными другъ относительно друга, и чтобы токъ проходилъ въ нихъ въ одномъ и томъ же направленіи.

Это дѣйствіе двухъ скрещенныхъ токовъ можно удобно наблюдать на приборѣ, изображенномъ на черт. 194. Онъ состоитъ изъ неподвижной рамы *AB*, обмотанной рядомъ проволочныхъ оборотовъ, по которымъ пропускаютъ токъ, вводя его черезъ зажимные винты *f* и *g*. Внутри неподвижной рамы помѣщается подвижная легкая рамка *CD*, также снабженная однимъ слоемъ оборотовъ проволоки. По этой проволокѣ также можно пропустить токъ, вводя его чрезъ чашечки,

Черт. 194.

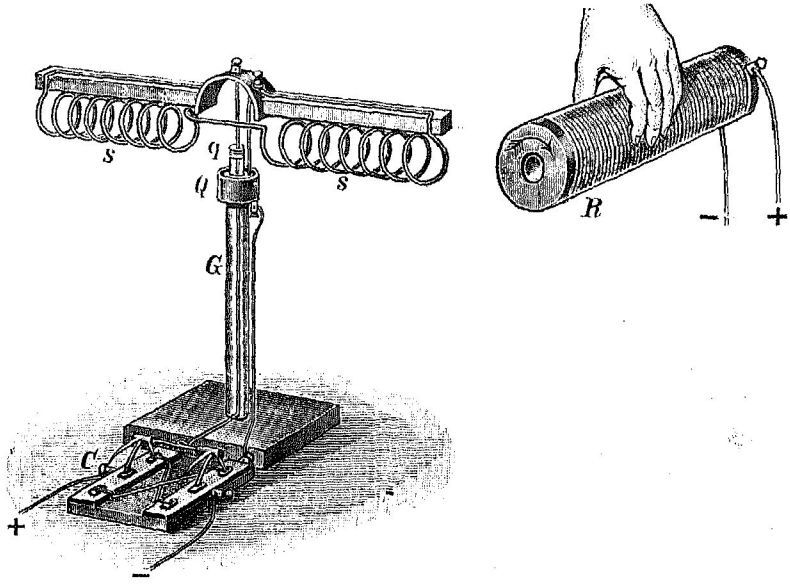


наполненныя ртутью; это приспособленіе на чертежѣ не показано. Рамы показаны на чертежѣ скрещенными; онѣ стремятся, слѣдовательно, къ тому, чтобы стать параллельными и одинаково направленными. И дѣйствительно, подъ вліяніемъ токовъ внутренняя рамка начинаетъ вращаться и поворачивается до тѣхъ поръ, пока проволочныя обмотки не установятся параллельно другъ къ другу и токи не будутъ одинаково направлены.

Эти оба качественныхъ закона взаимодѣйствія параллельныхъ и скрещенныхъ токовъ можно объединить въ одномъ законѣ: два тока, каково бы ни было ихъ положеніе другъ относительно друга, всегда стремятся стать параллельно и въ одномъ и томъ же направленіи. Если представить себѣ силовыя линіи въ каждой плоскости тока, то можно также сказать, что силовыя линіи двухъ цѣпей тока стремятся стать параллельно другъ другу и въ одномъ и томъ же направленіи.

Особенно ясно можно обнаружить эти взаимодѣйствія даже при сравнительно слабыхъ токахъ, если вмѣсто обыкновенныхъ проволочныхъ проводниковъ взять (черт. 195) двѣ проволочныя катушки—два соленоида, изъ коихъ одинъ *ss*, установленный на Амперовомъ станкѣ *G* (при помощи ртутныхъ чашечекъ *Q* и *q*), подвиженъ. Токъ въ оба соленоида вводится при помощи коммутаторовъ, какъ это показано на чертежѣ для одного изъ нихъ (коммутаторъ *C*). Неподвижный со-

Черт. 195.

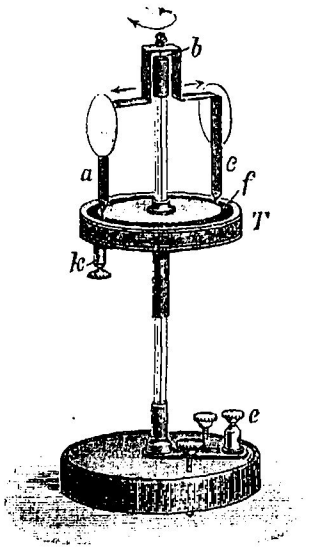


леноидъ *R*, если его близко поднести къ подвижному соленоиду, притягиваетъ одинъ конецъ его и отталкиваетъ другой и притомъ такъ, что притягивается тотъ конецъ подвижнаго соленоида, въ которомъ токъ идетъ въ направленіи, параллельномъ току приближаемаго конца другого соленоида. При измѣненіи направленія тока, въ томъ или другомъ соленоидѣ, притяженіе ихъ другъ къ другу переходитъ въ отталкиваніе. Такимъ образомъ два соленоида проявляютъ тѣ же самыя дѣйствія, какъ и два магнитныхъ стержня.

Аналогично тому, какъ Фарадей устроилъ такое приспособленіе, въ которомъ подвижный токъ приходитъ въ непрерывное вращательное движеніе подъ вліяніемъ магнита (выше стр. 206, черт. 170), аналогично этому можно построить другой приборъ, въ которомъ подвижный токъ придетъ во вращательное движеніе подъ вліяніемъ другого тока. Такой электродинамическій вращающійся приборъ изображенъ на черт. 196. Здѣсь такая же легкая алюминіевая дуга, могущая вращаться, такъ какъ она установлена на остріѣ *b*, погруженномъ въ чашечку со ртутью; концы дуги опущены въ жолобокъ *f*,

тоже наполненный ртутью. Вмѣсто магнита здѣсь имѣется токъ, проходящій по проволокѣ T, намотанной въ видѣ спирали на жолобокъ со ртутью. Токъ входитъ въ зажимъ e, идетъ по проволокѣ, находящейся внутри стекляннаго столбика прибора, и попадаетъ въ жолобокъ со ртутью f; оттуда черезъ спираль T проходитъ къ зажиму k, черезъ который и выходитъ изъ прибора. Какъ только токъ начинаетъ идти, проводникъ abc приходитъ во вращательное движеніе; при направленіи тока, изображенномъ на чертежѣ, вращеніе происходитъ въ направленіи, противоположномъ движенію положительнаго тока въ спирали. Если верхняя часть спирали соотвѣтствуетъ сѣверному полюсу магнита, то токъ въ ней, если смотрѣть на нее сверху, будетъ идти въ направленіи, противоположномъ движенію часовой стрѣлки. Тогда, по правилу лѣвой руки, указательный палецъ надо направить вверхъ, средній палецъ на отрѣзкѣ bc — надо направить налѣво и слѣдовательно большой палецъ будетъ направленъ впередъ; такимъ образомъ стремя получитъ движеніе по направленію движенія часовой стрѣлки.

Черт. 196.



Что касается величины силы, съ которой два замкнутыхъ проводника дѣйствуютъ другъ на друга, то она зависитъ, во-первыхъ, отъ положенія обоихъ токовъ другъ относительно друга, затѣмъ отъ ихъ взаимнаго разстоянія и, наконецъ, отъ силы токовъ, проходящихъ по обоимъ проводникамъ. Чѣмъ сильнѣе каждый изъ этихъ токовъ, тѣмъ съ большей силой дѣйствуютъ они другъ на друга. Сила (электродинамическая), дѣйствующая между двумя замкнутыми проводниками, зависитъ всегда отъ произведенія силъ токовъ въ нихъ и, при прочихъ равныхъ условіяхъ, тѣмъ больше, чѣмъ больше это произведеніе. Если по обоимъ проводникамъ проходитъ одинъ и тотъ же токъ, то возникающая при этомъ электродинамическая сила зависитъ отъ квадрата силы тока, т. е. она не измѣняется ни по величинѣ, ни по направленію, когда измѣняютъ направленіе тока на обратное. Поэтому дуга прибора, изображеннаго на черт. 196, продолжаетъ вращаться въ прежнемъ направленіи, когда при помощи коммутатора мы измѣняемъ направленіе тока въ приборѣ.

Вильгельмъ Веберъ въ цѣломъ рядѣ очень тонкихъ и остроумныхъ опытовъ точно изслѣдовалъ электродинамическую силу въ количественномъ отношеніи. Онъ пользовался для этой цѣли подвижной и неподвижной проволочными катушками, которыя онъ могъ распола-

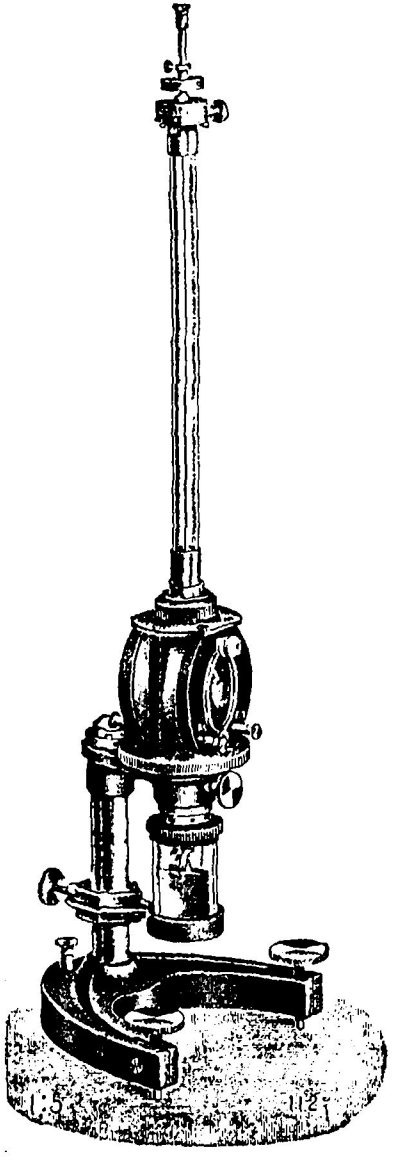
гать въ различныхъ положеніяхъ и на различныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга, и по которымъ онъ могъ пропускать токи различной силы. При этомъ опыты показали, что сила, съ которой дѣйствуетъ неподвижная катушка на подвижную, при прочихъ равныхъ условіяхъ (одинаковомъ положеніи и одинаковой формѣ), непосредственно и исключительно зависитъ отъ произведенія силъ токовъ, проходящихъ по обѣимъ катушкамъ. Веберъ построилъ на основаніи этого приборъ—электродинамометръ, состоящій изъ неподвижнаго и подвижнаго проводниковъ; по отклоненію подвижнаго проводника можно непосредственно опредѣлить величину произведенія силъ токовъ, проходящихъ по обоимъ проводникамъ. Простой образецъ подобнаго прибора уже былъ данъ на черт. 194. Если пропустить одинъ и тотъ же токъ послѣдовательно по обѣимъ проволочнымъ катушкамъ, то сила, которая приводитъ во вращеніе подвижную катушку, будетъ пропорціональна квадрату силы тока. Но если этой силѣ противодѣйствуетъ другая сила, напр. сила кручения подвѣсной проволоки, то подвижная катушка придетъ въ нѣкоторое опредѣленное положеніе равновѣсія и окажется отклоненной на опредѣленный уголъ отъ своего первоначальнаго положенія. Такимъ образомъ уголъ, на который повернется внутренняя катушка CD, служитъ мѣрой квадрата силы тока, проходящаго по обѣимъ катушкамъ. Если, слѣдовательно, измѣнить одновременно направленіе тока въ обѣихъ катушкахъ, то отъ этого не измѣнится ни направленіе, ни величина отклоненія.

Подобный электродинамометръ можетъ такимъ образомъ служить для измѣренія силы токовъ. Величина силы, стремящейся повернуть подвижную катушку, зависитъ, какъ мы уже сказали, прямо отъ квадрата силы тока. Силу же эту можно легко измѣрить по углу, на который повернется подъ ея вліяніемъ подвижная катушка. При помощи электродинамометра можно также — чего нельзя сдѣлать съ вольтаметрами и гальванометрами — измѣрять силу токовъ, направленіе которыхъ быстро мѣняется, именно перемѣнныхъ токовъ, какіе производятся, напр., индукціонными приборами и машинами перемѣннаго тока. Дѣйствительно, вѣдь, отклоненіе подвижной катушки не измѣняется, если пропустить токъ по электродинамометру въ обратномъ направленіи, лишь бы только одновременно измѣнить направленіе тока въ обѣихъ катушкахъ. На этомъ и основывается то значеніе, какое пріобрѣли электродинамометры въ качествѣ измѣрительныхъ приборовъ. Они даютъ возможность измѣрять силу не только постоянныхъ токовъ (имѣющихъ постоянное направленіе), но и перемѣнныхъ токовъ (направленіе которыхъ мѣняется).

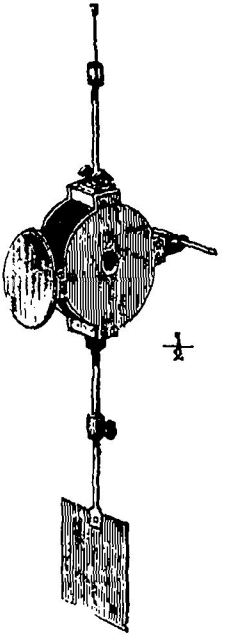
Во всѣхъ электродинамометрахъ различныхъ конструкцій подвижная катушка находится внутри неподвижной. Формы катушекъ могутъ быть различны. Мы здѣсь опишемъ только электродинамо-

метръ для слабыхъ токовъ Ф. Кольрауша (изготовляемый Гартманомъ и Брауномъ во Франкфуртѣ-на-Майнѣ), общій видъ котораго изображенъ на черт. 197. Этотъ приборъ, подобно всѣмъ болѣе точ-

Черт. 197.



Черт. 198.

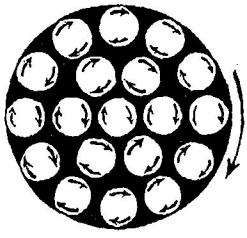


нымъ приборамъ, служащимъ для измѣренія слабыхъ токовъ, приспособленъ для зеркальнаго отсчета. Подвижная катушка, изображенная отдѣльно на черт. 198, состоитъ изъ проволоки, намотанной вокругъ рамки изъ слоновой кости. Къ рамкѣ прикрѣплено зеркало, которое наблюдаютъ посредствомъ подзорной трубы чрезъ окошечко прибора. Подвижная катушка подвѣшена на металлической нити, прикрѣпленной къ вращающейся головкѣ стеклянной трубки. Ось подвижной катушки несетъ на своемъ нижнемъ концѣ платинированную платиновую пластинку, опущенную въ стаканчикъ съ сѣрной кислотой, и висящую тамъ внутри другой тоже платинированной платиновой пластинки, имѣющей U-образную форму. Это приспособленіе служитъ, съ одной стороны, для того, чтобы проводить токъ къ вращающейся ка-

тушкѣ, а съ другой стороны,—для успокоенія колебаній катушки. Неподвижная катушка имѣетъ овальную форму и тѣсно обхватываетъ вращающуюся катушку. Можно пропускать черезъ обѣ катушки или одинъ и тотъ же токъ, или же различные токи. Въ положеніи начальнаго равновѣсія витки подвижной катушки должны быть установлены перпендикулярно къ виткамъ неподвижной катушки. Когда по катушкамъ проходитъ токъ, то подвижная катушка стремится стать параллельно неподвижной, поворачивается и закручиваетъ при этомъ подвѣсную проволоку. Катушка устанавливается, наконецъ, въ такомъ положеніи, когда электродинамическая сила взаимодѣйствія токовъ, пропорціональная квадрату силъ токовъ, какъ разъ равна силѣ кручения подвѣсной проволоки. Этотъ приборъ очень чувствителенъ, особенно для весьма слабыхъ перемѣнныхъ токовъ. Другіе электродинамометры и иныя ихъ примѣненія мы разсмотримъ въ главѣ X «Перемѣнные токи».

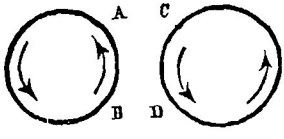
Полнѣйшая аналогія, существующая между проводниками, особенно соленоидами, и магнитами, навела Ампера на ту мысль, что дѣйствіе магнита можно себѣ представить, разсматривая его какъ систему электрическихъ круговыхъ токовъ. Если допустить, что вокругъ каждой молекулы желѣза, независимо отъ того, будетъ ли оно намагничено или нѣтъ, проходитъ по кругу токъ, то всѣ дѣйствія магнита можно себѣ объяснить электродинамическими дѣйствіями этихъ токовъ, которые Амперъ назвалъ молекулярными токами. Въ обыкновенномъ ненамагниченномъ мягкомъ желѣзѣ всѣ молекулы съ ихъ молекулярными токами расположены другъ относительно друга совершенно произвольно въ полномъ безпорядкѣ. Если нѣкоторый опредѣленный молекулярный токъ дѣйствуетъ на внѣшнюю среду, напримѣръ, притягательно, то всегда найдется другой токъ, дѣйствующій съ такой же силой отталкивающимъ образомъ. Поэтому кусокъ желѣза, въ которомъ молекулярные токи расположены въ полномъ безпорядкѣ, не можетъ производить электродинамическаго дѣйствія. Но если вокругъ этого куска желѣза помѣстить проволочную спираль и пропустить по ней токъ, то послѣдній будетъ производить электродинамическое дѣйствіе на каждый отдѣльный молекулярный токъ. Мы уже видѣли, что скрещенные токи стремятся всегда установиться параллельно другъ къ другу. Слѣдовательно, если молекулы съ ихъ молекулярными токами могутъ свободно двигаться, то всѣ отдѣльные молекулярные токи должны установиться такъ, чтобы быть параллельными и одинаково направленными съ токомъ въ намагничивающей спирали. Такимъ образомъ, если на черт. 199 направленіе стрѣлки обозначаетъ направленіе намагничивающаго тока, то всѣ молекулярные токи должны установиться такъ, какъ показываютъ на чертежѣ стрѣлки въ небольшихъ кружкахъ. Но когда два рядомъ лежащихъ

Черт. 199.

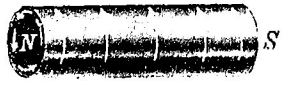


молекулярныхъ тока идутъ по одному направленію, то, какъ показываетъ черт. 200, въ мѣстахъ, гдѣ они встрѣчаются — AB и CD — токи проходятъ въ противоположныхъ направленіяхъ. Вслѣдствіе этого, дѣйствія ихъ взаимно уничтожаются, и можно допустить, что вокругъ каждаго магнита проходитъ лишь одинъ токъ, представляющій собой сумму внѣшнихъ молекулярныхъ токовъ. Слѣдовательно, магнитный стержень (черт. 201) можно разсматривать, какъ стержень, вокругъ котораго проходитъ множество параллельныхъ электрическихъ токовъ. Стрѣлки на чертежѣ изображаютъ отдѣльные молекулярные токи; всѣ они имѣютъ одинаковое направленіе. Если смотрѣть на магнитный стержень со стороны S, то стрѣлки обходятъ вокругъ этого конца по направленію движенія часовой стрѣлки. Но если, наоборотъ, смотрѣть на токи на конецъ N, то они будутъ проходить въ направленіи, обратномъ движенію часовой стрѣлки. Такимъ образомъ,

Черт. 200.



Черт. 201.



хотя всѣ молекулярные токи и проходятъ по одному и тому же направленію, тѣмъ не менѣе для внѣшняго пространства направленіе тока въ одномъ концѣ оказывается инымъ, чѣмъ въ другомъ. Одинъ конецъ сѣверный полюсъ, а другой — южный. При разсмотрѣніи явленія намагничиванія токомъ, мы уже видѣли (стр. 183), что намагничивающій токъ проходитъ вокругъ южнаго полюса по направленію движенія часовой стрѣлки; отсюда мы тотчасъ можемъ заключить, что и молекулярные токи около южнаго полюса должны имѣть также направленіе движенія часовой стрѣлки.

Этотъ взглядъ на магнитъ (какъ на систему параллельныхъ круговыхъ токовъ) сводитъ магнитизмъ къ особому электрическому явленію, хотя съ перваго взгляда онъ и представляется явленіемъ совершенно отличнымъ отъ электрическихъ явленій. Молекулярные токи, идущіе вокругъ каждой магнитной молекулы, можно представить себѣ довольно просто на основаніи электронной теоріи. Для этого надо только допустить, что вокругъ каждой молекулы движется электронъ, подобно тому, какъ луна движется вокругъ земли. Тогда каждый вращающійся электронъ будетъ соотвѣтствовать круговому току и тѣмъ самымъ магнитизмъ тѣла будетъ сведенъ къ движущимся электронамъ.

Во всѣхъ вышеописанныхъ нами дѣйствіяхъ электрическаго тока, во всѣхъ тепловыхъ и химическихъ его дѣйствіяхъ, мы находили замѣчательное свойство обратимости. Каждое дѣйствіе, возбуждаемое электрическимъ токомъ и зависящее отъ направленія тока, могло въ свою очередь дать электрическій токъ. Это заставляетъ насъ предполагать, что и всѣ тѣ дѣйствія, о которыхъ мы говорили въ двухъ послѣднихъ главахъ, дѣйствія, существенно зависящія отъ направленія тока, могутъ сами возбуждать электрическіе токи. Мы видѣли, что электрическій токъ намагничиваетъ желѣзо; но, спрашивается, не возбуждаетъ ли, наоборотъ, намагничиваніе желѣза электрическаго тока? Мы видѣли, что магниты двигались подъ вліяніемъ электрическаго тока. Мы можемъ спросить, нельзя ли получить электрическаго тока посредствомъ движенія магнитовъ. На оба эти вопроса мы отвѣтимъ утвердительно. Мы видѣли, что подвижный электрическій токъ движется подъ вліяніемъ неподвижнаго электрическаго тока и даже приходитъ въ непрерывное вращеніе. Мы увидимъ, что и наоборотъ, достаточно одного движенія электрическаго тока, чтобы возбудить другой. Словомъ, всѣ явленія, разсмотрѣнныя нами, обратимы, и эти обратныя явленія называются явленіями индукціи.

ГЛАВА IX.

Индукція.

Михаилу Фарадею, имя котораго въ исторіи развитія нашихъ познаній объ электричествѣ должно стоять въ первомъ ряду, мы обязаны не только открытіемъ чрезвычайно важныхъ и интересныхъ явленій электрической индукціи, но и весьма подробнымъ ихъ изслѣдованіемъ. Фарадей исходилъ изъ давно извѣстныхъ явленій электризаціи отъ вліянія. Всякое наэлектризованное тѣло вызываетъ возникновеніе электризаціи на другомъ находящемся вблизи отъ него тѣлѣ. Такимъ образомъ, одно присутствіе наэлектризованнаго тѣла способно наэлектризовать тѣло, бывшее раньше ненаэлектризованнымъ. Не происходитъ ли что-либо подобное и при электрическомъ токѣ? Не возбуждается ли токомъ, проходящимъ по проводнику, въ находящемся вблизи отъ него замкнутомъ проводникѣ тоже электрическій токъ? Такой вопросъ задалъ себѣ Фарадей и старался рядомъ искусно придуманныхъ и выполненныхъ опытовъ дать отвѣтъ на него. То, что онъ нашелъ, не вполнѣ отвѣчало его первоначальнымъ предположеніямъ; открытыя имъ явленія были столь необыкновенны и

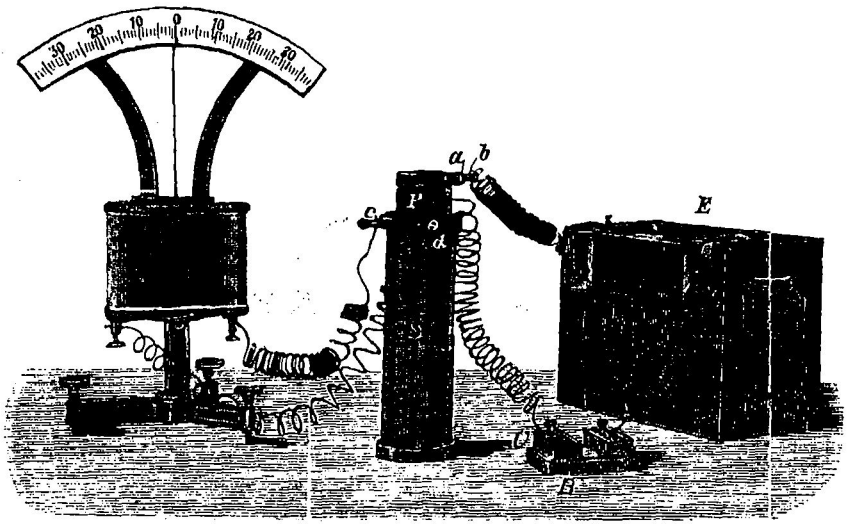
удивительны, что онъ подъ вліяніемъ ихъ часто принужденъ былъ мѣнять свои воззрѣнія. Съ величайшимъ экспериментаторскимъ остроуміемъ и ловкостью онъ изслѣдовалъ эти явленія и изслѣдовалъ ихъ такъ полно, что почти все, что мы о нихъ знаемъ, было найдено имъ. Лишь прочтя оригинальныя статьи Фарадея, мы увидимъ сколько сложныхъ и трудныхъ опытовъ не удавалось у него, какъ, наконецъ, послѣ цѣлаго ряда разнообразно видоизмѣняемыхъ опытовъ появлялся слабый слѣдъ искомаго явленія, какъ Фарадей изслѣдовалъ этотъ слабый слѣдъ и находилъ новые пути, — и тогда лишь мы получимъ вѣрное представленіе о геніи Фарадея. Теперь, когда эти явленія точно извѣстны, намъ незачѣмъ идти тѣмъ тяжелымъ извилистымъ путемъ, которымъ долженъ былъ идти Фарадей; теперь мы можемъ прямо проникнуть въ глубь явленія и заранѣе уже выбрать тѣ условія, которыя оказались наиболѣе выгодными.

Когда въ какой-либо цѣпи замыкается или размыкается электрическій токъ, всегда въ находящемся вблизи замкнутомъ проводникѣ возникаетъ мгновенный электрическій токъ.

Обѣ цѣпи совершенно не соединены другъ съ другомъ, между ними вовсе нѣтъ проводящаго сообщенія, и все же при размыканіи и замыканіи того изъ проводниковъ, по которому проходитъ токъ, въ другой замкнутой цѣпи, по которой только что не шло никакого тока, возникаетъ мгновенный электрическій токъ. Чтобы легко вызвать эти явленія, необходимо, чтобы обѣ цѣпи были расположены весьма близко другъ къ другу. Для этого удобнѣе всего взять два полыхъ деревянныхъ цилиндра и намотать на нихъ проволоку въ видѣ спирали. Болѣе тонкій цилиндръ вставляется въ полость болѣе широкаго. Такимъ образомъ, мы получаемъ двѣ отдѣльныхъ цѣпи проволоки, весьма близко расположенныя другъ къ другу. На черт. 202 эти два цилиндра обозначены буквами P и S. Концы проволочной обмотки широкаго цилиндра S оканчиваются зажимами c и d, а концы обмотки узкаго цилиндра P—зажимами a и b. Внѣшнюю проволочную обмотку соединяютъ съ гальваноскопомъ G, а внутреннюю проволоку—черезъ прерыватель U (детально изображенный на черт. 61) съ элементомъ E (въ данномъ случаѣ съ аккумуляторомъ). Мы получимъ такимъ образомъ двѣ замкнутыя цѣпи: по внутренней непрерывно проходитъ токъ, во внѣшней же тока нѣтъ. Какъ только мы разомкнемъ токъ во внутренней цѣпи, вынувъ скобку B изъ ртутныхъ чашекъ прерывателя, какъ показано на чертежѣ, то стрѣлка гальваноскопа мгновенно отклонится, но тотчасъ же снова вернется въ свое положеніе. Какъ только мы, вставивъ скобку B, замкнемъ токъ во внутренней спирали, стрѣлка снова отклонится, но опять лишь на мгновеніе, и тотчасъ возвратится обратно. Такимъ обра-

зомъ, при размыканіи и замыканіи тока въ P, въ проводникѣ S, несоединенномъ съ P, но находящемся лишь вблизи него, дѣйствительно возникаетъ мгновенный токъ. Эти мгновенные токи называютъ индукціонными токами, и мы можемъ, слѣдовательно, сказать, что при замыканіи и размыканіи тока въ P, въ S индуктируется мгновенный токъ. Катушку P называютъ индуктирующей (пер-

Черт. 202.



вичной) катушкой, катушку S—индукціонной катушкой (вторичной). Индукціонная катушка S изготовляется обыкновенно изъ очень тонкой мѣдной проволоки, оплетенной шелкомъ для того, чтобы можно было намотать множество витковъ такой проволоки, расположенныхъ другъ около друга и другъ надъ другомъ, но изолированныхъ одинъ отъ другого. Катушка P сдѣлана изъ толстой проволоки для того, чтобы токъ въ ней былъ достаточно сильный.

Если мы станемъ наблюдать за отклоненіями стрѣлки гальваноскопа, вызванными индукціонными токами, то замѣтимъ разницу въ направленіи отклоненія въ зависимости отъ того, размыкаемъ ли мы индуктирующій токъ, или замыкаемъ его. Когда индуктирующій токъ размыкается, то стрѣлка отклоняется въ одну сторону, когда онъ замыкается — стрѣлка отклоняется въ другую сторону. Но по направленію отклоненія стрѣлки можно вѣдь судить, въ какомъ направленіи идетъ токъ по индукціонной катушкѣ; изслѣдуя это, мы найдемъ, что индуктированный токъ, возбужденный замыканіемъ цѣпи, идетъ по индукціонной катушкѣ въ направленіи, обратномъ тому, по которому проходитъ индуктирующій токъ по индуктирующей катушкѣ; наоборотъ, индукціонный токъ, возникающій при размы-

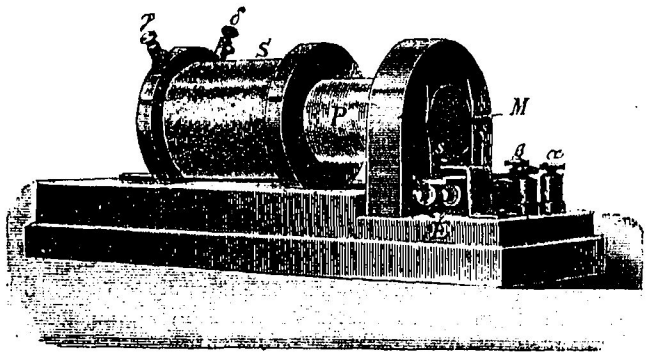
каніи цѣпи, имѣетъ то же направленіе, что и токъ индуктирующей катушки.

Индуктирующій токъ въ катушкѣ *P* называютъ также часто первичнымъ токомъ, а индуктированный — вторичнымъ токомъ, такъ что мы можемъ сказать:

Индукціонный (вторичный) токъ имѣетъ при замыканіи обратное, а при размыканіи то же направленіе, что и первичный токъ.

Если скобку *B* быстро опускать въ ртутныя чашечки и тотчасъ ее оттуда вытягивать, то мы получимъ рядъ слѣдующихъ другъ за другомъ мгновенныхъ индукціонныхъ токовъ, то одного, то другого направленія. Если эти токи слѣдуютъ очень быстро другъ за другомъ, такъ что всякій токъ одного направленія непосредственно примыкаетъ къ предыдущему току другого направленія, то совокупность этихъ токовъ называютъ перемѣннымъ токомъ. Такимъ образомъ, по цѣпи можетъ проходить перемѣнный токъ точно такъ же, какъ по ней проходитъ токъ постояннаго направленія. При перемѣномъ токѣ направленіе тока въ цѣпи непрерывно мѣняется и притомъ въ весьма короткіе промежутки времени. Опуская отъ руки скобку *B*

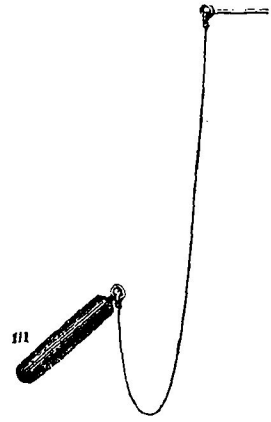
Черт. 203.



въ ртуть и вынимая ее оттуда, понятно, невозможно получить въ индукціонной катушкѣ очень быстро мѣняющіеся токи. Но если первичный токъ, раньше чѣмъ онъ войдетъ въ свою катушку, пропустить черезъ прерыватель Нэфа (стр. 207), то этотъ послѣдній автоматически вызоветъ быстро слѣдующіе другъ за другомъ замыканія и размыканія первичнаго тока; въ такомъ случаѣ въ индукціонной катушкѣ мы получимъ непрерывные индукціонные токи то въ одномъ, то въ другомъ направленіи. Подобное устройство показано на черт. 203. Отъ элемента токъ идетъ къ зажимамъ α и β; отъ нихъ, черезъ электромагнитъ *E* Нэфовскаго прерывателя, расположенный въ данномъ случаѣ горизонтально, токъ проходитъ по первичной

катушкѣ P индукціоннаго прибора и затѣмъ черезъ остріе s и пружину молоточка возвращается обратно въ элементъ. Какъ только токъ пойдетъ по первичной катушкѣ, якорь притянется и токъ прервется. Тогда якорь снова подымается къ острію и токъ замыкается. При каждомъ такомъ размыканіи и замыканіи во вторичной катушкѣ S индуктируется токъ. Такіе перемѣнные токи часто примѣняются съ медицинскими цѣлями; въ медицинѣ они называются токами Фарадея. Въ этомъ случаѣ зажимы вторичной катушки γ и δ обыкновенно сообщаются съ двумя латунными цилиндрами (черт. 204), которые даются въ руки человѣку, подвергающемуся электризаціи. Тогда перемѣнные токи проходятъ черезъ человѣческое тѣло и во многихъ случаяхъ производятъ цѣлебныя дѣйствія.

Черт. 204.



Въ описываемомъ приборѣ, построенномъ Дюбуа-Реймономъ, вторичная катушка S поставлена на салазки, и можетъ быть болѣе или менѣе надвигаема на первичную P. Въ виду этого приборъ носитъ названіе саннаго аппарата Дюбуа-Реймона.

При каждомъ замыканіи и при каждомъ размыканіи первичнаго тока въ индукціонной спирали возникаютъ, такимъ образомъ, мгновенные токи. Но оказывается, что вовсе не необходимо совершенно разомкнуть токъ, чтобы получить индукціонный токъ. Даже всякое ослабленіе и усиленіе первичнаго тока вызываетъ во вторичной катушкѣ индукціонный токъ; направленіе индукціоннаго тока при ослабленіи первичнаго то же, что и при размыканіи его, а при усиленіи первичнаго тока то же, что при замыканіи его.

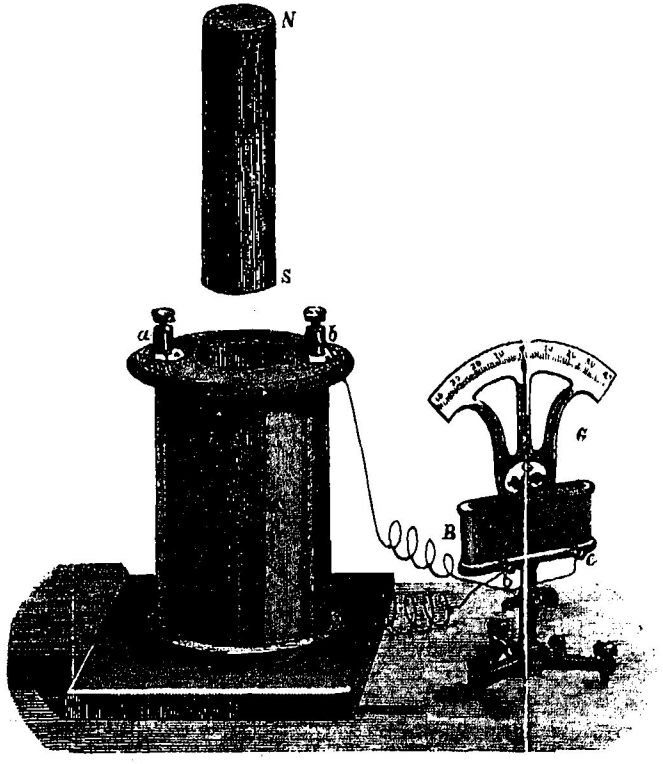
Даже больше. Достаточно одну изъ спиралей какъ-нибудь перемѣстить относительно другой, чтобы получить мгновенный индукціонный токъ. Если по первичной катушкѣ P, изображенной на черт. 203, пропустить постоянный токъ, не включая прерывателя (прижавъ, напр., остріе къ якорю такъ крѣпко, чтобы они не могли отдѣлиться другъ отъ друга), а вторичную катушку S двигать лишь вдоль нея, то въ S получается индукціонный токъ. Если двигать S раньше въ одну, затѣмъ въ другую сторону, то въ обоихъ случаяхъ получаются индукціонные токи, но обратныхъ направленій. При этихъ приближеніяхъ и удаленіяхъ катушекъ безразлично, первичная ли катушка движется, а вторичная (индукціонная) неподвижна, или, наоборотъ, первичная неподвижна, а вторичная движется. Если приблизить другъ къ другу первичную и вторичную катушки, то индукціонный токъ въ S пойдетъ въ направленіи, обратномъ на-

правленію тока въ P, т. е. такъ же, какъ при замыканіи тока. Если, наоборотъ, удалять S отъ P, то индукціонный токъ въ S будетъ имѣть то же направленіе, что и токъ въ P. При удаленіи катушекъ индукціонный токъ имѣетъ, слѣдовательно, то же направленіе, что и при размыканіи.

Множество соотношеній, найденныхъ нами между электрическими токами и магнитами, даютъ намъ возможность предвидѣть, что и магниты такъ же, какъ и токи, могутъ вызывать явленія индукціи. Мы подходимъ теперь къ ряду явленій, при помощи которыхъ электричество достигло громадной мощности и которыя легли въ основу всего современнаго развитія электротехники. Явленія эти называются магнито-индукціей, и въ противоположность имъ описанные выше въ этой главѣ случаи носятъ названіе электро-индукціи.

Въ виду того, что магнитъ, какъ извѣстно, проявляетъ такія дѣйствія, какъ если бы онъ состоялъ изъ совокупности множества

Черт. 205.



молекулярныхъ токовъ одного и того же направленія, то приближеніе магнита къ замкнутой проволочной катушкѣ должно вызвать въ немъ мгновенный индукціонный токъ; точно также въ катушкѣ долженъ

возникнуть мгновенный индукціонный токъ и при удаленіи магнита. Опытъ подтверждаетъ вполнѣ это слѣдствіе, выведенное нами теоретически на основаніи того, что мы уже знаемъ. Когда мы приближаемъ магнитный стержень NS къ проволочной спирали A (черт. 205), концы которой соединены съ гальваноскопомъ G, то въ спирали возникаетъ мгновенный индукціонный токъ, отклоняющій стрѣлку гальваноскопа. Когда мы вытягиваемъ магнитъ изъ проволочной катушки, то мы снова получаемъ мгновенный индукціонный токъ, но проходящій въ обратномъ направленіи.

Однако не только полное вдвиганіе и выдвиганіе магнита изъ катушки, но даже каждое измѣненіе положенія магнита по отношенію къ катушкѣ вызываетъ появленіе индукціоннаго тока. Можно тотчасъ же опредѣлить направленіе этихъ индукціонныхъ токовъ, если мысленно представить себѣ молекулярные токи начерченными на магнитѣ.

Всѣ эти вопросы о направленіи индуктированныхъ токовъ въ цѣпи при приближеніи къ ней или удаленіи отъ нея токовъ или магнитовъ весьма просто выражаются въ одномъ законѣ, основанномъ на соображеніяхъ о притяженіи и отталкиваніи, съ которыми одинъ токъ дѣйствуетъ на другой токъ или на магнитъ.

Законъ этотъ можно формулировать слѣдующимъ образомъ: при каждомъ перемѣщеніи тока или магнита вблизи проводящей цѣпи, въ послѣдней возникаетъ токъ. При этомъ совершенно безразлично, движется ли токъ или магнитъ по отношенію къ проводнику, или проводникъ по отношенію къ току либо магниту. Направленіе индуктированнаго тока всегда такое, что онъ своимъ электродинамическимъ (или электромагнитнымъ) дѣйствіемъ на индуктирующій токъ или магнитъ стремится придать послѣднему движеніе, по направленію противоположное ихъ дѣйствительному движенію.

Если, напримѣръ, мы будемъ удалять южный полюсъ S (черт. 205) отъ катушки A, то образующійся въ ней токъ долженъ имѣть такое направленіе, чтобы южный полюсъ испытывалъ притяженіе. Изъ нашихъ соображеній, высказанныхъ на стр. 201, и въ особенности изъ черт. 163 II, слѣдуетъ, что южный полюсъ притягивается тогда, когда токъ въ катушкѣ имѣетъ направленіе, изображенное на упомянутомъ чертежѣ, т. е. когда онъ идетъ въ направленіи, обратномъ движенію часовой стрѣлки, если на него смотрѣть со стороны разсматриваемаго полюса магнита. Это и есть направленіе возникающаго индукціоннаго тока.

Этотъ общій законъ высказанъ былъ Ленцемъ, а потому и называется закономъ Ленца.

Законъ Ленца имѣетъ, кромѣ того, и болѣе глубокій смыслъ. Онъ выражаетъ, что и въ явленіяхъ индукціи токовъ дѣйствителенъ законъ сохраненія энергіи. Представимъ себѣ, что у насъ есть двѣ катушки A и B, по которымъ проходитъ токъ по одному и тому же направленію. Пусть A будетъ неподвижна, B—подвижная. Согласно электродинамическому закону Ампера, два одинаково направленныхъ тока должны стремиться притянуться другъ къ другу. Цѣпь B будетъ поэтому двигаться по направленію къ A, она будетъ притягиваться A. Но при этомъ притяженіи электрическія силы, исходящія изъ A, совершаютъ нѣкоторую работу. На счетъ чего явилась эта работа? Что является ея эквивалентомъ? Вѣдь даровой работы въ природѣ получить нельзя. Она могла получиться только на счетъ энергіи тока, идущаго въ A. Энергія эта, равная въ каждую секунду произведенію электродвижущей силы элемента на силу тока, проходящаго въ A, превращается токомъ, если не совершается никакой другой внѣшней работы, въ Джоулеву теплоту. Если же токъ совершаетъ еще какую-либо положительную работу, какъ въ данномъ случаѣ, когда онъ притягиваетъ токъ B, то количество Джоулевой теплоты въ A должно быть меньше того, которое выдѣляется, когда цѣпь не совершаетъ работы, какъ разъ на величину, эквивалентную этой совершенной работѣ. Но такъ какъ количество Джоулевой теплоты зависитъ отъ сопротивленія цѣпи и силы тока, сопротивленіе же остается постояннымъ, то отсюда слѣдуетъ, что сила тока въ цѣпи A, когда онъ притягиваетъ цѣпь B, должна быть меньше, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда онъ ея не притягиваетъ. Итакъ, слѣдствіемъ движенія B по направленію къ A является уменьшеніе силы тока въ A, т. е. появленіе новаго (индукціоннаго) тока, идущаго по направленію, обратному первоначальному току, и ослабляющаго его. Въ этомъ и заключается законъ Ленца. Такъ какъ первоначальный токъ, согласно нашему предположенію, долженъ былъ притягивать токъ B, то, вслѣдствіе приближенія B къ A, въ послѣднемъ возникаетъ токъ, стремящійся оттолкнуть токъ B.

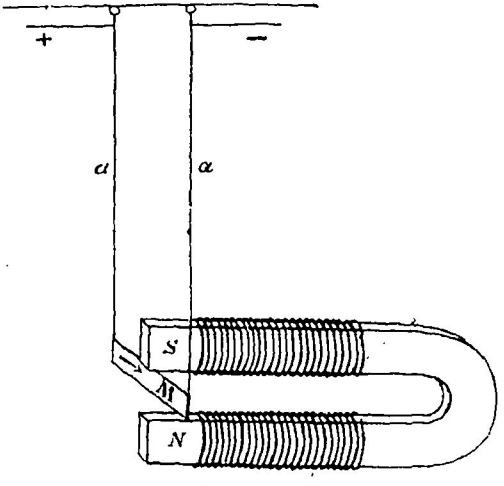
То, что мы здѣсь подробно разсмотрѣли для одного частнаго случая, приложимо и ко всѣмъ другимъ случаямъ индукціи, такъ что мы можемъ сказать, что законъ Ленца есть необходимое слѣдствіе закона сохраненія энергіи.

Однако, изъ закона Ленца не всегда можно просто опредѣлить направленіе индукціоннаго тока. Примѣненіе этого закона просто и легко только тогда, когда дѣло идетъ о магнито-индукціи, вызываемой лишь однимъ полюсомъ, причемъ другой полюсъ настолько удаленъ, что его вліяніемъ можно пренебречь. Въ дѣйствительности же часто встрѣчаются такіе случаи, когда проводникъ, по которому проходитъ токъ, движется въ магнитномъ полѣ, образующемся между двумя разноименными полюсами. Въ такомъ случаѣ направленіе индукціоннаго тока,

возникающаго вслѣдствіе движенія, удобнѣе всего опредѣлять при помощи правила пальцевъ, подобно тому, какъ мы это дѣлали выше (стр. 205) при опредѣленіи направленія электромагнитнаго движенія. Тогда, однако, мы должны были употреблять пальцы лѣвой руки, теперь же, для закона Ленца, мы будемъ пользоваться пальцами правой руки.

Итакъ, указательный палецъ правой руки надо направить вдоль магнитныхъ силовыхъ линій, большой палецъ—въ направленіи движенія индуктирующаго проводника; тогда средній палецъ даетъ направленіе индуктируемаго въ проводникѣ тока. Это правило называютъ правиломъ правой руки. Мы можемъ легко примѣнить наше правило къ простѣйшему примѣру, которымъ уже пользовались выше на стр. 205, при опредѣленіи движенія тока въ магнитномъ полѣ. Положимъ, что часть проволоки M (черт. 206) мы будемъ двигать въ магнитномъ полѣ направо; тогда большой палецъ правой руки мы должны будемъ направить направо, указательный палецъ той же руки — снизу вверхъ и, слѣдовательно, средній палецъ правой руки направится изъ плоскости чертежа по направленію къ намъ и тѣмъ самымъ укажетъ направленіе возникающаго при этомъ индукціоннаго тока.

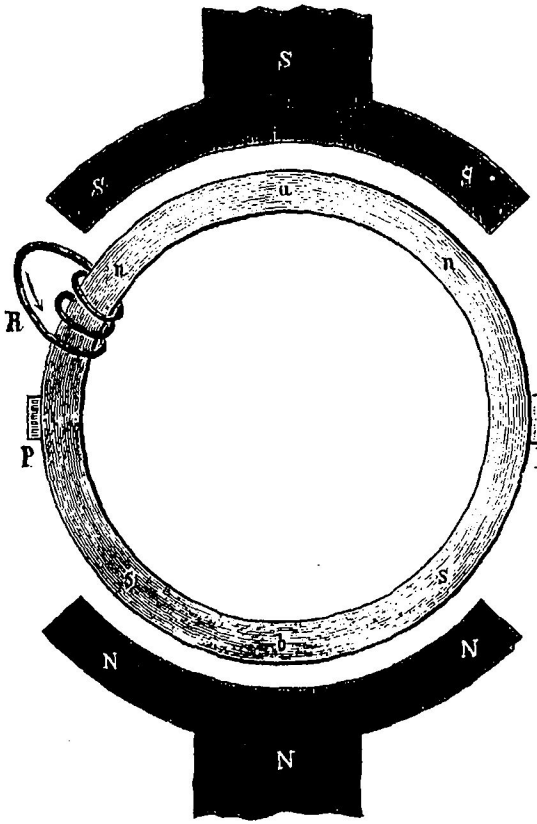
Черт. 206.



Другой примѣръ приложенія этого правила дается на черт. 207, представляющемъ собой схему динамомашины. Здѣсь изображено желѣзное кольцо, находящееся между полюсными наконечниками (башмаками) южнаго полюса магнита S и его сѣвернаго полюса N. Желѣзное кольцо вслѣдствіе магнитной индукціи становится само намагниченнымъ, пріобрѣтая наверху nn сѣверный магнитизмъ, а внизу ss— южный. Если вдоль кольца слѣва направо двигать проволочную катушку R, то возникающій въ ней индукціонный токъ будетъ имѣть направленіе, указанное стрѣлкой. Это происходитъ потому, что мы должны направить указательный палецъ правой руки отъ n къ S, большой палецъ—направо и тогда средній палецъ будетъ направленъ изъ плоскости чертежа къ намъ, такъ же, какъ и поставленная на чертежѣ стрѣлка.

Однако, это правило пальцевъ и законъ Ленца и, наконецъ, еще одно правило, съ которымъ мы скоро познакомимся, даютъ намъ лишь

Черт. 207.



направленіе возникающаго индуктированнаго тока. Теперь намъ необходимо еще разсмотрѣть подробнѣе вопросъ о силѣ тока и вообще количественные законы этого явленія.

Всегда для того, чтобы электричество проходило по цѣпи, необходимо существованіе электродвижущей силы, которая приводила бы электричество въ движеніе. Поэтому и въ данномъ случаѣ, въ случаѣ индукціонныхъ токовъ, мы должны прежде всего разсмотрѣть электродвижущую силу этихъ токовъ.

Здѣсь на первый взглядъ возникаетъ нѣкоторое затрудненіе, состоящее въ томъ, что мы имѣли дѣло до сихъ поръ съ двумя, повидимому, различными видами индукціи, именно съ индукціей токами и съ индукціей магнитами. Между тѣмъ, уже законъ Ленца, позволяющій въ обоихъ случаяхъ одинаковымъ способомъ опредѣлить направленіе индуктируемаго тока, показываетъ намъ, что въ основѣ обоихъ этихъ видовъ индукціи лежитъ одно и то же явленіе и что ихъ, слѣдовательно, можно изучать однимъ и тѣмъ же способомъ. Дѣйствительно мы уже знаемъ, что магнитъ и электрическій токъ совершенно сходны между собою въ томъ отношеніи, что они оба обнаруживаютъ магнитныя силы.

Магнитныя силы тока, подобно магнитнымъ силамъ магнита, являются причиной возникновенія индукціоннаго тока въ находящемся вблизи подвижномъ проводникѣ. Такимъ образомъ оба вида индукціи сводятся къ одному и тому же явленію; индукція токомъ есть то же, что и индукція магнитомъ, ибо индукцію вызываютъ именно магнитныя силы первичнаго тока.

Изъ вышеизложеннаго слѣдуетъ, что легче и проще всего можно выяснить количественные законы индукціоннаго тока, если мы во

всѣхъ случаяхъ будемъ пользоваться магнитными силовыми линіями, которыя существуютъ какъ вокругъ магнита, такъ и вокругъ электрическаго тока. Когда нѣкоторый проводникъ движется близь магнита, то онъ вообще всегда пересѣкаетъ его силовыя линіи; то же происходитъ и въ случаѣ движенія проводника вблизи цѣпи, по которой проходитъ токъ. Это пересѣченіе силовыхъ линій и есть основная причина индукціи. Далѣе, когда въ первичной цѣпи возникаетъ токъ, то отъ нея расходятся во внѣшнее пространство замкнутыя силовыя линіи, пересѣкающія на своемъ пути другой гдѣнибудь вблизи находящійся проводникъ. Обратно, при размыканіи тока въ первичной цѣпи силовыя линіи исчезаютъ; можно представить себѣ, что онѣ постепенно стягиваются изъ внѣшняго пространства къ проводнику и тамъ перестаютъ существовать; при этомъ, слѣдовательно, опять силовыя линіи пересѣкаютъ всякій другой гдѣ-либо вблизи находящійся проводникъ. Короче говоря, во всѣхъ случаяхъ индукціи мы замѣчаемъ, что силовыя линіи пересѣкаютъ гдѣ-либо путь, по которому идетъ индукціонный токъ, такъ какъ онѣ всегда проходятъ черезъ индуктируемый проводникъ либо въ одномъ, либо въ другомъ направленіи.

Если мы имѣемъ нѣкоторый проводникъ, концы котораго присоединены къ гальванометру, то мы можемъ различными способами возбудить въ этомъ проводникѣ индукціонный токъ и наблюдать его съ помощью гальванометра. При этомъ, каждая часть проводника пересѣкается силовыми линіями въ томъ или иномъ направленіи. Вообще говоря, силовыя линіи либо входятъ въ пространство, ограниченное проводникомъ, либо выходятъ изъ него, т. е. число силовыхъ линій, пронизывающихъ поверхность, ограниченную нашимъ проводникомъ, увеличивается, уменьшается или остается неизмѣннымъ. Вызываемая этимъ электродвижущая сила опредѣляется исключительно скоростью, съ которою измѣняется число силовыхъ линій. Итакъ, чѣмъ больше число силовыхъ линій, входящихъ каждую секунду въ пространство, ограниченное проводникомъ, или выходящихъ изъ этого пространства, чѣмъ, слѣдовательно, больше, какъ мы это назовемъ, скорость, съ которою увеличивается или уменьшается число силовыхъ линій, пронизывающихъ ограниченную проводникомъ поверхность,—тѣмъ больше индуктируемая въ этомъ проводникѣ электродвижущая сила. При этомъ выходящія силовыя линіи всегда возбуждаютъ токъ по направленію часовой стрѣлки, если смотрѣть на цѣпь проводника въ направленіи силовыхъ линій; входящія же силовыя линіи возбуждаютъ токъ обратнаго направленія. Если при движеніи число охваченныхъ проводникомъ силовыхъ линій остается неизмѣннымъ, то никакой электродвижущей силы не индуктируется.

Изъ этого общаго закона слѣдуетъ, во-первыхъ: чѣмъ сильнѣе индуктирующій магнитъ или индуктирующій токъ, тѣмъ больше, при прочихъ равныхъ условіяхъ, индуктируемая въ катушкѣ электродвижущая сила. Дѣло въ томъ, что вблизи болѣе сильнаго магнита или тока на квадратный сантиметръ приходится больше силовыхъ линій, чѣмъ въ случаѣ болѣе слабаго магнита или тока.

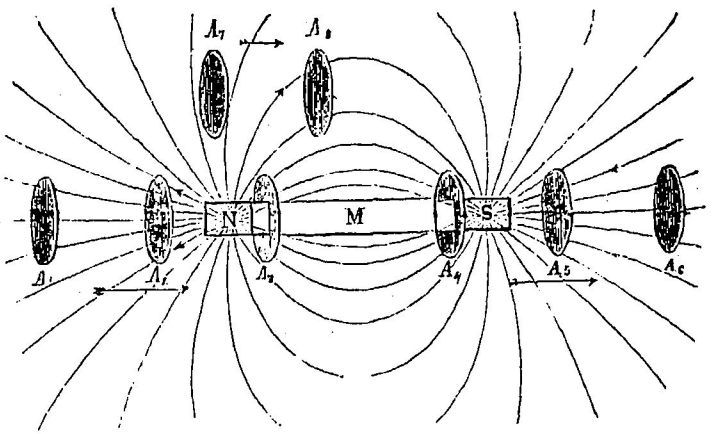
Во-вторыхъ, изъ этого слѣдуетъ: чѣмъ быстрѣе измѣняется индуктирующій токъ или магнитъ въ отношеніи своего положенія или своей силы, тѣмъ больше электродвижущая сила индуктированнаго тока. Чѣмъ, слѣдовательно, быстрѣе, чѣмъ рѣзче производятся прерыванія первичнаго тока, тѣмъ больше будетъ электродвижущая сила индуктированнаго тока.

Наконецъ, въ-третьихъ: электродвижущая сила индуктированнаго тока будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше число витковъ во вторичной катушкѣ. Дѣло въ томъ, что каждый витокъ охватываетъ извѣстное число силовыхъ линій и общее число силовыхъ линій, входящихъ или исходящихъ въ единицу времени изъ поверхности, охватываемой проводникомъ, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше витковъ въ катушкѣ. Возникающая электродвижущая сила совершенно не зависитъ отъ матеріала проводника, подвергающагося индукціи.

Величину индуктированной электродвижущей силы мы могли бы принять равною числу силовыхъ линій, входящихъ или исходящихъ въ каждую секунду изъ пространства, ограниченнаго проводникомъ. Однако такая единица для практическихъ цѣлей была бы слишкомъ мала. Поэтому условились принять за единицу ту электродвижущую силу, при которой въ площадь, ограниченную цѣпью, входитъ или выходитъ изъ нея въ 1 секунду не 1, а 100 милліоновъ силовыхъ линій (10^8). Эта единица какъ разъ и будетъ вольтъ, которымъ мы постоянно пользовались. Для примѣра на черт. 208 изображены силовыя линіи магнитнаго стержня. Представимъ себѣ теперь проволочную петлю, напримѣръ A_1, обнимающую нѣкоторую часть плоскости и приблизимъ ее къ сѣверному полюсу до A_2; ясно, что теперь она пересѣкаетъ большее число линій силъ, чѣмъ раньше. Въ положеніи A_1 чрезъ площадь цѣпи проходятъ 3 линіи силъ, въ положеніи же A_2—цѣлыхъ семь. Если бы, слѣдовательно, перемѣстить петлю въ теченіе одной секунды изъ A_1 въ A_2, то электродвижущая сила выразилась бы числомъ 4. Если же бы петля прошла путь $A_1 A_2$ въ $^1/_{1000}$ секунды, то электродвижущая сила выразилась бы числомъ 4000. Согласно нашему условію въ этомъ послѣднемъ случаѣ электродвижущая сила была бы равна 0,00004 вольта. Когда петля дойдетъ до сѣвернаго полюса N, то при этомъ въ нее войдетъ наибольшее

число линій силъ; при движеніи вдоль магнита дальше индукція уменьшится, а въ положеніи M при небольшомъ перемѣщеніи петли вовсе не происходитъ измѣненія въ числѣ линій силъ, пронизывающихъ ее. Въ этомъ мѣстѣ, слѣдовательно, индуктированный токъ равенъ нулю. При дальнѣйшемъ движеніи число линій силъ, выходящихъ изъ плоскости цѣпи, дѣлается все больше и больше; индукціонный токъ получаетъ вслѣдствіе этого обратное направленіе, какъ показано на чертежѣ для случая передвиженія петли изъ положенія A_4 въ A_5 и A_6. Такимъ же путемъ можно опредѣлить направленіе и величину электродвижущей силы, когда петля движется надъ или подъ магнитомъ, напримѣръ отъ положенія A_7 въ A_8.

Черт. 208.



Тотъ же пріемъ можно примѣнить и къ случаю индукціи токами. Такъ какъ каждая цѣпь тока окружена магнитными силовыми линіями, то, когда вторичный проводникъ приближается къ первичному, или удаляется отъ него, онъ пересѣкаетъ его силовыя линіи и, благодаря этому, появляется индуктированный токъ. Если мы разомкнемъ первичный проводникъ, то линіи силъ его исчезаютъ; онѣ, слѣдовательно, проходятъ сквозь поверхность, охватываемую вторичной цѣпью, и вызываютъ въ послѣдней индукцію.

Однимъ изъ непосредственныхъ и важныхъ примѣненій этого закона индукціи является опредѣленіе силы магнитнаго поля (или, что то же самое, (стр. 185) числа силовыхъ линій) въ случаѣ сильныхъ магнитныхъ полей. Если, напр., мы хотимъ опредѣлить силу поля между наконечниками *ff* кольцеобразнаго электромагнита Дюбуа (черт. 148, стр. 183), то мы беремъ небольшой проволочный кругъ или плоскую проволочную катушку, соединяемъ ее съ балли-

стическимъ гальванометромъ (стр. 222) и ставимъ перпендикулярно къ силовымъ линіямъ поля. Если теперь быстро выдвинуть катушку изъ поля, то въ ней возбудится индукціонный токъ; все количество электричества, которое при этомъ пришло въ движеніе, мы можемъ измѣрить по первому отклоненію баллистическаго гальванометра. Но это отклоненіе, когда извѣстно сопротивленіе проволочной катушки, является прямо мѣрой числа силовыхъ линій поля, которое мы и хотимъ опредѣлить. Такимъ пріемомъ можно измѣрить сильныя магнитныя поля и тѣмъ самымъ проградуировать напр. висмутовую спираль (стр. 184).

Для того, чтобы пользуясь представленіемъ о силовыхъ линіяхъ, всегда точно установить направленіе индуктированнаго тока, Максвелль далъ слѣдующее правило, называемое правиломъ Максвелля: Если смотрѣть на катушку всегда по направленію линій силъ (идущихъ отъ сѣвернаго полюса черезъ воздухъ къ южному), то выходящія изъ цѣпи линіи силъ вызываютъ всегда токъ въ направленіи движенія часовой стрѣлки, а входящія въ нее—въ обратномъ направленіи.

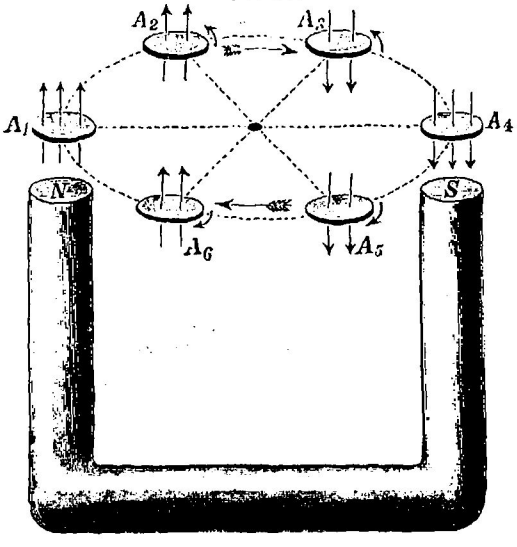
Разсматривая такимъ образомъ линіи силъ, мы въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ можемъ опредѣлить какъ направленіе, такъ и электродвижущую силу тока, возникающаго въ катушкѣ, вслѣдствіе ея движенія.

Измѣненіе числа силовыхъ линій, проходящихъ сквозь площадь, ограничиваемую контуромъ тока, во многихъ случаяхъ происходитъ отъ вращенія плоскости тока относительно силовыхъ линій. Примѣромъ этого можетъ служить движеніе, которое мы уже разсматривали на черт. 207. Если тамъ проволочная катушка R движется отъ p къ p_1, то при этомъ плоскость ея вращается. Въ p эта плоскость горизонтальна, въ a – вертикальна, въ p_1—снова горизонтальна, но только здѣсь ея нижняя и верхняя части перемѣнились мѣстами по сравненію съ тѣмъ, что было въ p. При описанномъ выше расположеніи приборовъ, силовыя линіи въ промежуткѣ между n и S идутъ въ общемъ вертикально—снизу вверхъ. Слѣдовательно, въ катушку R попадаетъ больше всего силовыхъ линій около p, такъ какъ тамъ она горизонтальна; при движеніи по направленію къ a все большее число силовыхъ линій выходитъ изъ катушки. Такимъ образомъ токъ, если смотрѣть на него снизу, идетъ по направленію движенія часовой стрѣлки. При движеніи отъ a до p_1 въ плоскость катушки попадаетъ снова большее число силовыхъ линій, однако стороны плоскости перемѣнились, такъ что токъ продолжаетъ циркулировать въ томъ же направленіи. Токъ имѣетъ противоположное направленіе въ нижней половинѣ чертежа.

Можетъ также представиться и обратный случай, а именно,—что плоскость тока при движеніи остается параллельной самой себѣ, си-

ловыя же линіи магнитнаго поля имѣютъ по отношенію къ плоскости все новый и новый наклонъ. Такой случай представленъ на черт. 209. Здѣсь изображенъ подковообразный магнитъ NS. Надъ полюсами этого магнита вращается одиночный проволочный кругъ или цѣлая катушка въ направленіи движенія часовой стрѣлки отъ A_1 къ A_4 и назадъ къ A_1; при этомъ плоскость витковъ всегда остается параллельной самой себѣ. Силовыя линіи расходятся по воздуху отъ сѣвернаго полюса N во всѣ стороны и входятъ въ южный полюсъ S. Когда катушка находится въ положеніи A_1 надъ полюсомъ N, то сквозь нее проходятъ всѣ линіи силъ этого полюса. По мѣрѣ того, какъ она удаляется отъ него, изъ нея выходитъ все большее и большее количество линій силъ, а слѣдовательно, по закону Максвелля (стр. 248), токъ въ ней, если смотрѣть по направленію силъ, идетъ согласно движенію часовой стрѣлки. Когда катушка достигнетъ положенія A_2, то, какъ показываетъ чертежъ, изъ нея выйдетъ одна силовая линія; такимъ образомъ, токъ, если на него смотрѣть снизу, будетъ идти по направленію движенія часовой стрѣлки, и въ обратномъ направленіи, если смотрѣть на него сверху, какъ то показываетъ стрѣлка A_2. При движеніи катушки дальше A_2 до A_3, т. е. черезъ середину своего пути, снова все большее и большее число силовыхъ линій входитъ въ нее; однако теперь онѣ входятъ сверху, такъ что, если смотрѣть сверху, токъ идетъ въ направленіи, противоположномъ движенію часовой стрѣлки. Изъ этого слѣдуетъ, что направленіе тока на всемъ пути отъ A_1 черезъ A_2 и A_3 къ A_4 не измѣняется, когда катушка идетъ отъ сѣвернаго полюса къ южному.

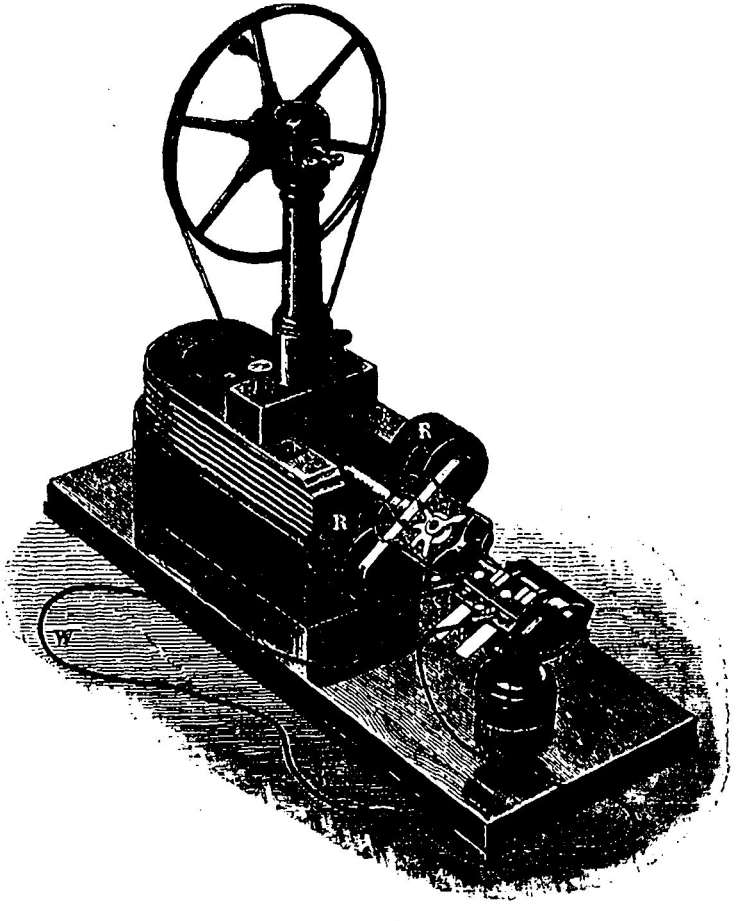
Черт. 209.



Когда же она начнетъ вращаться дальше, отъ A_4 черезъ A_5 къ A_6, то пронизывавшія ее сверху линіи силъ начнутъ выходить сбоку; въ то же время снизу проникаютъ въ нее все новыя линіи, такъ что на этомъ пути токъ будетъ идти по направленію часовой стрѣлки, пока катушка вращается отъ S къ N. Измѣненіе направленія тока происходитъ слѣдовательно тогда, когда катушка какъ разъ проходитъ надъ полюсами. Электродвижущая сила, а слѣдовательно и токъ

получаютъ наибольшую величину тогда, когда катушка удалена отъ полюсовъ какъ разъ на 90°. Дѣйствительно, тогда при движеніи ея линіи силъ выходятъ снизу и одновременно входятъ сверху, такъ что измѣненіе числа силовыхъ линій, пронизывающихъ площадь катушки въ одномъ и томъ же направленіи, имѣетъ здѣсь наибольшую величину. Такимъ образомъ, при каждомъ полуоборотѣ магнита, или катушки, въ послѣдней направленіе индукціоннаго тока мѣняется. По катушкѣ тогда проходятъ, такъ называемые, перемѣнные токи

Черт. 210.



Это устройство, изображенное здѣсь схематически, въ дѣйствительности примѣняется довольно часто. Напримѣръ, въ приборѣ, изображенномъ на черт. 210, на подставкѣ лежитъ сильный магнитъ; передъ полюсами его находятся двѣ катушки R и R' на желѣзныхъ сердечникахъ, которыя съ помощью колеса можно привести въ быстрое вращеніе. Для того, чтобы образующіяся въ обѣихъ катушкахъ

токи противоположныхъ направленій не уничтожали, а, наоборотъ, усиливали другъ друга, надо, чтобы одна обмотка переходила въ другую особеннымъ образомъ, а именно такъ, чтобы оба сердечника были обмотаны проволокой въ различныхъ направленіяхъ. Чтобы отвести при помощи проводника WW токъ отъ концовъ проволоки, составляющей обмотку этихъ катушекъ, куда-нибудь въ другое мѣсто, концы эти соединены съ двумя кольцами, другъ отъ друга изолированными, насаженными на металлическую ось и вращающимися вмѣстѣ съ осью и катушками. На эти кольца нажимаютъ двѣ пружины a и b, которыя такимъ образомъ находятся всегда въ соединеніи съ концами обмотки. Онѣ образуютъ тѣмъ самымъ неподвижныя оконечности вращающейся обмотки.

Если эти контактныя пружины соединить между собой чрезъ посредство какого-либо проводника WW, прибора или человѣческаго тѣла, то чрезъ этотъ проводникъ пройдутъ тѣ перемѣнные токи, которые возникли въ вращающихся катушкахъ.

Подобный приборъ называютъ магнитоэлектрической машиной.

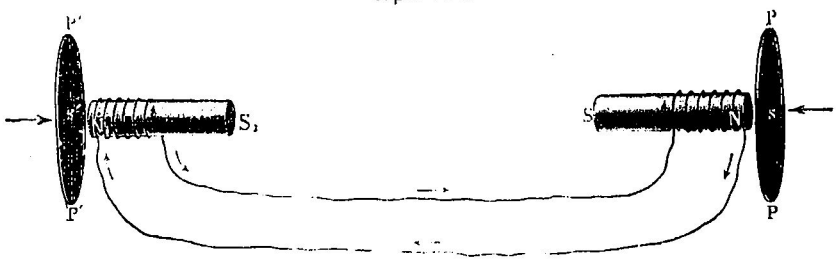
Послѣ каждаго полуоборота катушекъ направленіе тока перемѣняется; такъ что положительный токъ идетъ то по направленію къ a, то къ b. Если бы мы могли теперь приспособить еще коммутаторъ, чрезъ который проходилъ бы токъ отъ катушекъ такъ, чтобы онъ перекладывался каждый разъ, когда ось сдѣлаетъ полъ-оборота, то очевидно, что тогда по проволокѣ, соединяющей a и b, проходили бы токи всегда въ одномъ и томъ же направленіи. Такой коммутаторъ и устраивается въ дѣйствительности въ этомъ приборѣ. При помощи него мы получаемъ во внѣшней цѣпи рядъ слѣдующихъ другъ за другомъ токовъ одного и того же направленія, которые и не отличить отъ постояннаго тока, если только вращеніе катушекъ весьма быстрое.

Затрачивая нѣкоторую работу исключительно на вращеніе катушекъ передъ магнитными полюсами, мы имѣемъ, такимъ образомъ, возможность производить электрическіе токи. Въ гальваническихъ элементахъ, какъ мы видѣли выше, электрическій токъ возникаетъ на счетъ разъѣданія въ нихъ цинка. Освобождающаяся при этомъ разъѣданіи цинка химическая энергія превращается непосредственно въ электрическую энергію. Въ термобатареяхъ мы превращали тепловую энергію въ электрическую. Теперь намъ удалось энергію движенія—работу, которую мы затратили на вращеніе катушекъ, — непосредственно превратить въ электрическую энергію. Современная электротехника широко воспользовалась этимъ, достигнувъ такимъ путемъ своихъ наиболѣе блестящихъ результатовъ. Во второй части этого сочиненія мы разсмотримъ, какимъ образомъ усовершенствованіе этой первой весьма примитивной машины, превращающей работу въ элек-

трическую энергію, привело къ современнымъ огромнымъ динамомашинамъ.

Всякое измѣненіе въ силѣ и положеніи электрическаго тока, или въ положеніи и силѣ магнита, возбуждаетъ въ находящейся поблизости проволочной сѣти индукціонный токъ. До сихъ поръ мы имѣли дѣло съ довольно значительными измѣненіями положенія и силы токовъ. Но тѣ же явленія вызываются и при самыхъ ничтожныхъ измѣненіяхъ. Удивительнѣйшій и геніальнѣйшій по замыслу примѣръ такого индуктирующаго дѣйствія это — телефонъ Белля. Дѣйствіе его понятно изъ схематическаго чертежа 211. Здѣсь два стальныхъ магнита NS и N_1S_1 у сѣверныхъ концовъ своихъ N и N_1 обмотаны проволокой, соединяющей оба магнита другъ съ другомъ. Передъ каждымъ сѣвернымъ полюсомъ вблизи отъ него расположено по тонкой пластинкѣ изъ мягкаго желѣза. На каждой изъ нихъ подъ вліяніемъ магнитовъ, на сторонахъ, обращенныхъ къ послѣднимъ, индуктируются два южныхъ полюса s и s'. Если мы нажмемъ слегка рукой одну изъ

Черт. 211.



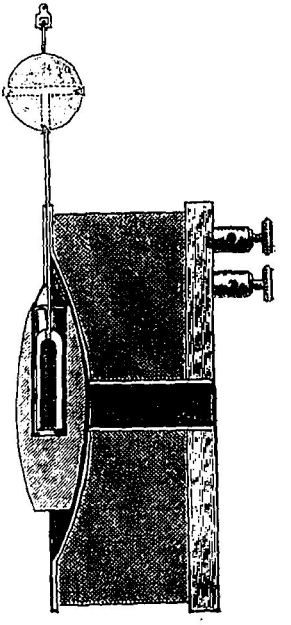
желѣзныхъ пластинокъ, напр. s, то этотъ южный полюсъ приблизится теперь къ магниту и къ окружающей его спирали. Благодаря этому, въ спирали возникнетъ индукціонный токъ, который по проволокѣ пройдетъ къ другому сѣверному полюсу N_1 и усилитъ послѣдній, такъ какъ обходитъ вокругъ него по направленію, обратному движенію часовой стрѣлки. Благодаря этому усиленію сѣвернаго полюса N_1, пластинка s' слегка къ нему притянется. Такимъ образомъ, въ тотъ моментъ, когда s слегка приблизится къ N, и s' слегка приблизится къ N_1. Если бы мы слегка удалили s отъ N, то и s' тотчасъ слегка удалилась бы отъ N_1. Такимъ образомъ, всякому перемѣщенію s отвѣчаетъ такое же перемѣщеніе s'. Если мы станемъ говорить передъ пластинкой s, то она получитъ весьма небольшія перемѣщенія, начнетъ весьма слабо колебаться. Каждое такое колебаніе вызываетъ индукціонный токъ, а слѣдовательно, и такое же колебаніе пластинки s'. Эти колебанія пластинки s' передаются воздуху, и въ результатѣ у пластинки s' слышно то, что говорятъ передъ пластинкой s. Во второй части сочиненія мы подробнѣе остановимся на устройствѣ теле-

фона и на тѣхъ усовершенствованіяхъ, какія введены были при практическомъ выполненіи этой схемы.

Подобно тому, какъ въ проволокахъ, такъ и во всякихъ значительныхъ металлическихъ массахъ возникаютъ, при движеніи токовъ или магнитовъ, индукціонные токи. Если, напримѣръ (какъ это сдѣлалъ Араго), быстро вращать мѣдный кружокъ вокругъ его оси, и надъ кружкомъ установить неподвижно магнитную стрѣлку, то при вращеніи мѣднаго диска передъ полюсами магнита въ дискѣ возникаютъ индукціонные токи. По закону Ленца, направленіе этихъ токовъ будетъ таково, что они, благодаря своему электромагнитному дѣйствію, будутъ стремиться вращать дискъ въ противоположномъ направленіи. Если, напримѣръ, въ данное мгновеніе какая-либо точка диска удаляется отъ сѣвернаго полюса магнитной стрѣлки, то электромагнитное дѣйствіе будетъ стремиться приблизить эту точку къ сѣверному полюсу. Отсюда слѣдуетъ, что магнитная стрѣлка, если мы ее не закрѣпимъ надъ дискомъ, а подвѣсимъ такъ, что она можетъ надъ нимъ вращаться, подъ вліяніемъ этихъ силъ будетъ слѣдовать за вращеніемъ диска. Дѣйствительно, сѣверный полюсъ стрѣлки долженъ вѣдь слѣдовать за той точкой диска, которая отъ него удаляется, но которая въ то же время стремится къ нему приблизиться. Араго первый наблюдалъ эти явленія, но лишь открытіе Фарадеемъ индукціонныхъ токовъ дало имъ полное объясненіе.

Эти явленія нашли другое весьма важное примѣненіе въ устройствѣ гальванометровъ. Когда магнитная стрѣлка колеблется внутри металлической оболочки, то въ этомъ металлѣ тоже возникаютъ индукціонные токи, которые своимъ электромагнитнымъ притяженіемъ противодѣйствуютъ движеніямъ магнитной стрѣлки. Благодаря этому, магнитная стрѣлка быстро перестаетъ колебаться, ея колебанія быстро затухаютъ. Поэтому, какъ мы уже видѣли выше на стр. 218, во многихъ гальванометрахъ магниты окружаютъ такимъ успокоителемъ — мѣдной оболочкой; этимъ достигается, что стрѣлка гальванометра быстро устанавливается въ своемъ положеніи, безъ продолжительныхъ колебаній въ ту и другую сторону. Чертежъ 212 представляетъ собой разрѣзъ такого мѣднаго успокоителя въ изображенномъ на стр. 217 гальванометрѣ Гартмана и Брауна. Здѣсь мы видимъ колоколообразный магнитъ, находящійся внутри полости мѣдной массы. Наверху

Черт. 212.



видно зеркальце, при помощи котораго наблюдаютъ за движеніями; направо изображенъ разрѣзъ обмотки мультипликатора.

Обыкновенно эти токи, которые возникаютъ, благодаря индукціи, въ значительныхъ металлическихъ массахъ, называютъ (неправильно) токами Фуко или, какъ теперь ихъ вѣрнѣе называютъ, вихревыми токами. Эти вихревые токи, особенно при конструкціи динамомашинъ, часто являются вредными, такъ какъ на полученіе ихъ затрачивается совершенно непроизводительно нѣкоторое количество работы, и, кромѣ того, они, превращаясь по закону Джоуля въ теплоту, вызываютъ часто опасное нагрѣваніе металлическихъ частей. Поэтому при конструкціи примѣняемыхъ въ техникѣ электрическихъ машинъ стремятся воспрепятствовать возникновенію вихревыхъ токовъ, или, по крайней мѣрѣ, ослабить ихъ. Эти токи возникаютъ именно въ тѣхъ намагничиваемыхъ желѣзныхъ массахъ, на которыхъ находятся подвергающіяся индукціи проволоки. Чтобы уничтожить эти токи, необходимо разрѣзать эти большія металлическія массы именно въ тѣхъ направленіяхъ, въ которыхъ могли бы пойти вихревые токи. Поэтому обыкновенно тѣ желѣзныя массы, въ которыхъ могли бы возникнуть вихревые токи, дѣлаютъ не изъ одного куска, но составляютъ изъ множества отдѣльныхъ кусковъ желѣза, такъ чтобы по пути вихревыхъ токовъ не могло вовсе образоваться замкнутой металлической цѣпи. Обыкновенно для устройства такихъ желѣзныхъ массъ берутъ окисленныя желѣзныя проволоки, или изолированные другъ отъ друга желѣзные кружки.

Индукціонные токи, возникающіе при размыканіи и замыканіи первичнаго тока, дѣлаются значительно болѣе сильными, если въ первичную проволочную катушку ввести желѣзный сердечникъ и уже затѣмъ поперемѣнно замыкать и размыкать токъ. Дѣйствительно, мы получаемъ тогда индукціонные токи не только отъ возникновенія и уничтоженія тока, но и индукціонные токи отъ возникающаго и уничтожающагося внутри катушки магнитизма; эти дѣйствія складываются, усиливаютъ другъ друга и вызываютъ болѣе сильныя индукціонныя явленія. Такимъ образомъ, если внутрь первичной катушки ввести сердечникъ изъ мягкаго желѣза, то индуктирующее дѣйствіе первичной катушки значительно усилится. Согласно тому, что мы только что говорили о вихревыхъ токахъ, обыкновенно пользуются не массивнымъ желѣзнымъ сердечникомъ, а пучкомъ желѣзныхъ проволокъ.

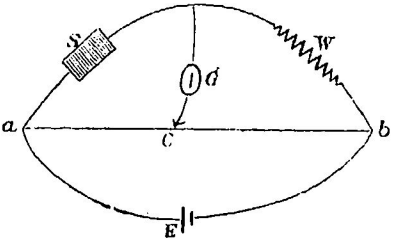
Двумя вышеописанными видами индукціи—индукціи магнитами и индукціи токами — не исчерпываются, однако, всѣ явленія индукціи. Существуетъ еще третій, весьма важный и интересный случай индукціи, тоже открытый Фарадеемъ, а именно самоиндукція.

Подобно тому, какъ электрическій токъ при его замыканіи и размыканіи возбуждаетъ въ находящейся вблизи отъ него цѣпи индук-

ціонные токи, точно такъ же этотъ токъ возбуждаетъ подобные токи и въ своей собственной цѣпи. Явленіе это проще всего можно наблюдать, если взять проволоку, изогнутую въ видѣ катушки, и пропустить чрезъ нее токъ отъ гальваническаго элемента; токъ проходитъ по цѣлому ряду параллельно другъ около друга расположенныхъ витковъ. Въ тотъ моментъ, когда мы разомкнемъ токъ, каждый отдѣльный витокъ вызоветъ индукцію во всѣхъ остальныхъ; точно такимъ же образомъ въ моментъ замыканія тока во всѣхъ виткахъ катушки вызывается индукція. Эти индукціонные токи, возникающіе въ собственной цѣпи первичнаго тока, называютъ экстратоками. Въ моментъ замыканія цѣпи, экстратокъ, возникающій въ катушкѣ, идетъ по ней въ направленіи, обратномъ вызывающему его первичному току; слѣдовательно экстратокъ, возникающій при замыканіи, ослабляетъ первоначальный токъ. По этой, именно, причинѣ, токъ, пропущенный по какой-либо цѣпи, не сразу достигаетъ полной своей силы, но достигаетъ ея лишь постепенно,— правда, въ весьма небольшой промежутокъ времени. Дѣйствительно, онъ лишь тогда достигнетъ полной своей силы, когда исчезнетъ экстратокъ замыканія, и сила его мало-по-малу наростаетъ отъ нуля до наибольшей своей величины. При размыканіи же, когда мы прерываемъ токъ въ цѣпи, возникающій при этомъ экстратокъ размыканія стремится пойти въ томъ же направленіи, что и первоначальный токъ. Но такъ какъ первоначальный токъ уже прерванъ, то экстратокъ размыканія не можетъ найти для себя пути въ этомъ простомъ случаѣ и, слѣдовательно, экстратокъ размыканія, въ сущности, даже не возникаетъ. Все же, однако, существуетъ тенденція къ току размыканіи, существуетъ электродвижущая сила, которая при надлежащихъ условіяхъ дѣйствительно можетъ вызвать токъ.

Вначалѣ довольно трудно дать себѣ ясное представленіе о существованіи этихъ экстратоковъ, вызываемыхъ самоиндукціей. Удобнѣе всего на опытѣ наблюдать эти токи, или по крайней мѣрѣ токъ размыканія, слѣдующимъ способомъ. Введемъ катушку съ большимъ числомъ оборотовъ (въ такой катушкѣ, какъ мы увидимъ, экстратоки особенно сильны) въ одну вѣтвь мостика Витстона, какъ показано на черт. 213. Пусть S будетъ катушка, E — гальваническій элементъ, ab—натянутая проволока, W—сопротивленіе, служащее для сравненія, и G—чувствительный баллистическій гальванометръ (стр. 222). помѣщенный въ мостикѣ. Тогда, какъ мы знаемъ, передвигая контактъ C мостика, мы можемъ найти такое его положеніе, при которомъ по

Черт. 213.



гальванометру вовсе не будетъ проходить токъ. По всей цѣпи мостика проходятъ тогда токи, только лишь въ одномъ мостикѣ тока не будетъ; положеніе C зависитъ исключительно только отъ отношенія между собой сопротивленій четырехъ вѣтвей S, W, aC, bC, и вовсе не зависитъ отъ электродвижущей силы элемента E. Поэтому въ E можно вводить большія или меньшія электродвижущія силы, гальванометръ отъ этого не дастъ никакого отклоненія, разъ мостикъ уже установленъ на отсутствіе тока. Если же (въ чемъ и заключается нашъ опытъ, убѣждающій насъ въ существованіи экстратока) разомкнуть главную цѣпь Eab, то стрѣлка гальванометра внезапно отклонится и затѣмъ снова придетъ въ положеніе равновѣсія. Это отклоненіе стрѣлки показываетъ намъ, что сквозь гальванометръ прошелъ мгновенный токъ; этотъ токъ вызванъ самоиндукціей катушки S. Благодаря прекращенію первичнаго тока, размыканію его, въ S возникла электродвижущая сила самоиндукціи, вызвавшая мгновенный токъ какъ въ S, такъ и во всѣхъ соединенныхъ съ ней проводникахъ, а слѣдовательно и въ G.

Производя этотъ опытъ, мы можемъ не только качественно убѣдиться въ существованіи экстратока размыканія, но мы можемъ также, замѣняя одну катушку S другими, различной величины и формы, количественно опредѣлить, какъ мѣняется величина возникающей электродвижущей силы съ измѣненіемъ катушки; если мы произведемъ такой опытъ, то мы прежде всего убѣдимся, что въ данномъ явленіи сопротивленіе катушки S не играетъ роли. Дѣйствительно, если одну и ту же проволоку одинъ разъ вытянуть въ прямую линію, а другой разъ свернуть въ катушку и каждый разъ помѣщать ее на мѣсто S, то при прочихъ равныхъ условіяхъ отклоненіе гальванометра во второй разъ будетъ значительно, въ сотни и даже въ тысячи разъ больше, чѣмъ въ первомъ случаѣ. Такъ какъ сопротивленіе проволоки въ обоихъ случаяхъ одно и то же, то мы видимъ, что на величину экстратока вліяетъ главнымъ образомъ форма, которую мы придали проволокѣ. Поэтому различныя катушки, въ зависимости отъ того, какова ихъ форма,—узки онѣ или широки, длинны или коротки, много на нихъ витковъ или мало,—даютъ при прочихъ равныхъ условіяхъ различной силы экстратоки.

Это не трудно понять. Вѣдь, электродвижущая сила экстратоковъ, какъ и всякихъ другихъ индукціонныхъ токовъ, зависитъ отъ скорости, съ которой измѣняется число силовыхъ линій, пересѣкающихъ разсматриваемую площадь. Чѣмъ быстрѣе, чѣмъ внезапнѣе мѣняется сила первичнаго тока, тѣмъ больше электродвижущая сила, напряженіе экстратока. При одинаковыхъ измѣненіяхъ силы тока, электродвижущая сила тѣмъ больше, чѣмъ больше число витковъ

имѣетъ подвергающаяся индукціи катушка, такъ какъ силовыя линіи проходятъ черезъ плоскость каждаго витка.

Отсюда слѣдуетъ, что отношеніе между возбужденной электродвижущей силой экстратока и скоростью, съ которой мѣняется сила тока въ катушкѣ, зависитъ исключительно отъ числа витковъ и величины катушки, т. е. отъ ея формы. Это отношеніе называютъ коэффиціентомъ самоиндукціи, или просто самоиндукціей (терминъ болѣе краткій, но менѣе правильный) катушки. Коэффиціентъ самоиндукціи есть величина, которая (подобно сопротивленію проволоки) зависитъ исключительно отъ формы, длины, сѣченія и числа витковъ катушки, т. е. исключительно отъ геометрическихъ ея размѣровъ, но вовсе не зависитъ отъ силы тока, проходящаго по катушкѣ. Однако, коэффиціентъ самоиндукціи, обратно тому, что наблюдается у сопротивленія, не зависитъ отъ матеріала проволоки. При прочихъ равныхъ условіяхъ онъ одинъ и тотъ же для мѣдныхъ, латунныхъ, алюминіевыхъ и т. д. проволокъ. Только желѣзныя проволоки составляютъ исключеніе, что объясняется сильною магнитностью матеріала, изъ котораго онѣ сдѣланы. Такимъ образомъ существуетъ слѣдующая зависимость:

Электродвижущая сила экстратока = Коэффиціентъ самоиндукціи × × Скорость измѣненія силы тока.

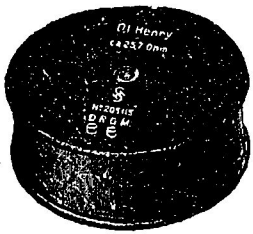
Самоиндукцію проволокъ измѣряютъ въ опредѣленныхъ единицахъ, называемыхъ генри. Если скорость, съ которой мѣняется сила тока въ катушкѣ, выбрана такъ, что сила тока въ каждую секунду мѣняется какъ разъ на 1 амперъ, то въ катушкахъ различной формы возникнутъ при этомъ экстратоки различной электродвижущей силы. Катушка, въ которой при такихъ условіяхъ возникаетъ электродвижущая сила какъ разъ въ 1 вольтъ, обладаетъ, какъ условились считать, коэффиціентомъ самоиндукціи равнымъ единицѣ — 1 генри. Отсюда слѣдуетъ такая зависимость между этими единицами:

$$1 \text{ вольтъ} = 1 \text{ генри} \times \frac{1 \text{ амперъ}}{1 \text{ секунда}}.$$

Впрочемъ, для практическихъ цѣлей эта единица обыкновенно слишкомъ велика, и поэтому тысячную часть ея принимаютъ за новую единицу и называютъ 1 миллигенри. Чтобы дать приблизительное понятіе о величинѣ коэффиціента самоиндукціи у различныхъ катушекъ, приведемъ слѣдующій примѣръ. Соленоидъ съ однимъ слоемъ проволоки, имѣющій сѣченіе въ 1 кв. см., длину въ 1 метръ и 1000 витковъ проволоки, обладаетъ самоиндукціей, равной приблизительно 0,12 миллигенри; если же онъ имѣетъ 10 слоевъ проволоки по 1000 витковъ въ каждомъ, то его самоиндукція приблизительно въ 10 разъ больше.

Итакъ, самоиндукція куска проволоки или проволочной катушки представляетъ собой величину, зависящую исключительно отъ размѣровъ и формы катушки. Поэтому можно приготовить катушки съ единицами коэффиціента самоиндукціи, вымѣривъ проволочныя катушки такимъ образомъ, чтобы ихъ коэффиціентъ самоиндукціи равнялся въ точности 1 генри, 1 миллигенри и т. д. При изготовленіи такихъ «эталоновъ самоиндукціи» обращаютъ вниманіе на то, чтобы форма катушки не измѣнялась, по возможности, и при колебаніяхъ температуры, такъ какъ именно форма существенно вліяетъ на величину самоиндукціи. Поэтому металлическую проволоку, или лучше металлическій шнуръ наматываютъ на изолирующую каменную катушку (изъ змѣевика) и заключаютъ ее также въ каменную оболочку. На чертежѣ 214 изображенъ такой эталонъ самоиндукціи въ 0,1 генри въ томъ видѣ, какъ онъ изготовляется Сименсомъ и Гальске. Обладая образцами самоиндукціи отъ 1 генри до 0,1 миллигенри, мы можемъ легко опредѣлить самоиндукцію всякой катушки. Съ однимъ простымъ, употребляющимся для этой цѣли, методомъ мы познакомимся въ X главѣ (Перемѣнные и многофазные токи).

Черт. 214.



Чѣмъ больше коэффиціентъ самоиндукціи проводника, тѣмъ больше электродвижущая сила экстратоковъ, возникающихъ въ немъ при измѣненіяхъ силы тока, и тѣмъ больше ихъ напряженіе; наоборотъ, эти величины тѣмъ меньше, чѣмъ меньше самоиндукція. Спирали имѣютъ большой коэффиціентъ самоиндукціи, вытянутыя же прямо линейныя проволоки—очень небольшой.

Чтобы по возможности ослабить экстратоки въ проводникѣ, даже если онъ очень длинный, нужно уменьшить, насколько возможно, его самоиндукцію. Этого можно достичь въ проволочной катушкѣ спирали, если намотать ее бифилярно, какъ показано на черт. 215. Для этого проволоку въ серединѣ ея длины перегибаютъ и наматываютъ ее такъ, чтобы обороты обѣихъ половинъ приходились всегда рядомъ. Тогда, очевидно, въ двухъ сосѣднихъ проводникахъ токи проходятъ всегда въ противоположныхъ направленіяхъ, и потому вызываемые ими въ каждомъ оборотѣ экстратоки уничтожаютъ другъ друга. Такую катушку называютъ безъиндукціонной, или бифилярной катушкой. Въ ящикахъ сопротивленія, описанныхъ нами въ главѣ IV, всѣ катушки наматываются бифилярно.

Черт. 215.



Если, наоборотъ, желательно по возможности усилить экстратокъ въ нѣкоторой проволокѣ, то слѣдуетъ, сколь возможно, увеличить ея

коэффиціентъ самоиндукціи, хотя бы сама проволока и должна была обладать лишь очень малымъ сопротивленіемъ. Этого можно достигнуть, намотавъ проволоку на сердечникъ изъ мягкаго желѣза. Дѣло въ томъ, что въ этомъ случаѣ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, экстратоки будутъ очень сильны, такъ какъ здѣсь одновременно будетъ измѣняться и магнитизмъ желѣза, что также будетъ производить индукцію. Катушка съ малымъ сопротивленіемъ, но снабженная сердечникомъ изъ мягкаго желѣза, вслѣдствіе чего она обладаетъ большимъ коэффиціентомъ самоиндукціи, часто называется **реактивной** (или дроссельной) **катушкой**. Такимъ образомъ, реактивная катушка есть ни что иное, какъ электромагнитъ съ малымъ сопротивленіемъ обмотки. Подобныя реактивныя катушки часто примѣняются въ практикѣ: объ этомъ мы скажемъ въ слѣдующей главѣ, гдѣ будетъ также объяснено и самое названіе этой катушки.

Экстратоки имѣютъ весьма важное значеніе во всѣхъ случаяхъ перемѣнныхъ токовъ, и въ двухъ слѣдующихъ главахъ намъ придется еще часто о нихъ говорить. Выше мы пришли къ выводу, что экстратокъ въ катушкѣ имѣетъ тѣмъ большую электродвижущую силу, тѣмъ большее напряженіе, чѣмъ быстрѣе мѣняется сила первичнаго тока. Отсюда непосредственно видно, что должна существовать разница между экстратоками замыканія и размыканія. При размыканіи тока, какъ мы уже упоминали выше, токъ мало-по-малу нарастаетъ отъ нуля до окончательной своей силы. Такимъ образомъ измѣненіе силы тока получается не мгновенное, а постепенное, и поэтому экстратокъ замыканія имѣетъ сравнительно небольшое напряженіе. Иначе обстоитъ дѣло при размыканіи тока. Въ моментъ, предшествующій размыканію, первичный токъ имѣетъ еще свою полную силу и тотчасъ же послѣ этого сила тока становится равной нулю. Такимъ образомъ измѣненіе силы тока при размыканіи весьма быстрое, мгновенное, а потому экстратокъ размыканія долженъ имѣть весьма высокое напряженіе, значительно болѣе высокое, чѣмъ экстратокъ замыканія. Въ дѣйствительности это такъ и происходитъ. Токъ размыканія имѣетъ столь высокое напряженіе, что онъ въ видѣ искры пробиваетъ слой воздуха между двумя проводниками, разъединеніемъ которыхъ вызвали размыканіе. Хотя этотъ токъ и не находитъ замкнутаго металлическаго пути по проволокѣ, онъ все же проходитъ сквозь воздухъ въ мѣстѣ размыканія тока. Если, напримѣръ, разомкнуть токъ, вынувъ проволоку изъ ртутной чашечки, то напряженіе тока размыканія будетъ столь значительнымъ, что между ртутью и проволокой проскочитъ яркая искра. Вообще всегда при размыканіи не слишкомъ слабыхъ токовъ получаются искры, которыя называютъ **искрами размыканія**.

Другимъ слѣдствіемъ этой разницы въ нарастаніи и ослабленіи тока является то обстоятельство, что и во вторичной катушкѣ, въ

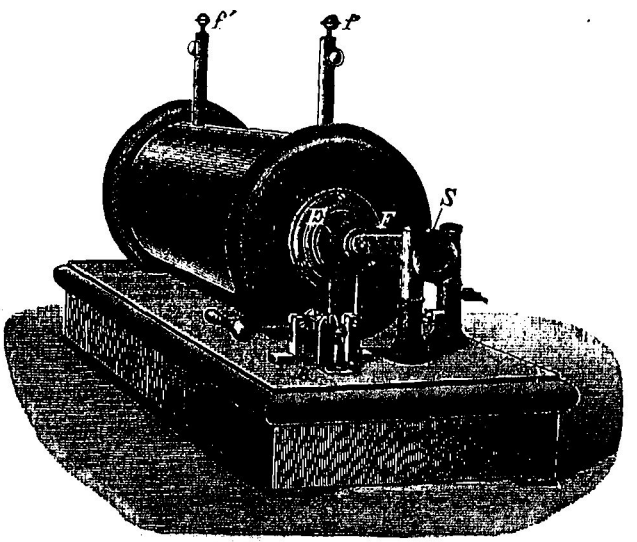
которой этотъ токъ вызываетъ индуктированные токи, токи размыканія будутъ имѣть большее напряженіе, большую электродвижущую силу, чѣмъ токи замыканія. Дѣйствительно, наростаніе первичнаго тока происходитъ лишь постепенно, потому что противъ него идетъ экстратокъ, тогда какъ размыканіе тока происходитъ быстро и внезапно. Поэтому, вообще, напряженіе токовъ размыканія значительно выше, чѣмъ напряженіе токовъ замыканія.

Теперь, когда мы познакомились со свойствами и законами индукціонныхъ токовъ, происшедшихъ отъ индукціи магнитами, токами или отъ самоиндукціи, намъ уже не трудно будетъ ближе ознакомиться съ нѣкоторыми приборами, получившими большое значеніе въ наукѣ и техникѣ именно съ индукціонными катушками (иначе: индукторій. *Ред.*) или трансформаторами.

Небольшой приборъ, служащій для медицинскихъ цѣлей (черт. 203) и описанный нами на стр. 238, представляетъ уже собой индукціонную катушку. Если мы на первичную катушку намотаемъ вторичную, то при каждомъ размыканіи или замыканіи первичнаго тока въ каждомъ виткѣ вторичной катушки возникнетъ электродвижущая сила. Чѣмъ больше число витковъ у вторичной катушки, тѣмъ больше получающееся при этомъ напряженіе индукціоннаго тока.

Увеличеніемъ числа витковъ во вторичной катушкѣ можно, слѣдовательно, чрезвычайно повысить электродвижущую силу индуктированныхъ токовъ и довести ее до многихъ тысячъ вольтъ, такъ какъ каждый витокъ въ отдѣльности перерѣзываетъ силовыя линіи, чѣмъ и вызывается въ немъ индукція. Такимъ путемъ можно, примѣняя первичный токъ съ небольшой электродвижущей силой, напр., въ 10—20 вольтъ, легко вызвать вторичный токъ съ громадной электродвижущей силой, напримѣръ, въ 100000 и болѣе вольтъ. Приборы, которые служатъ для этой цѣли, называются индукціонными катушками.

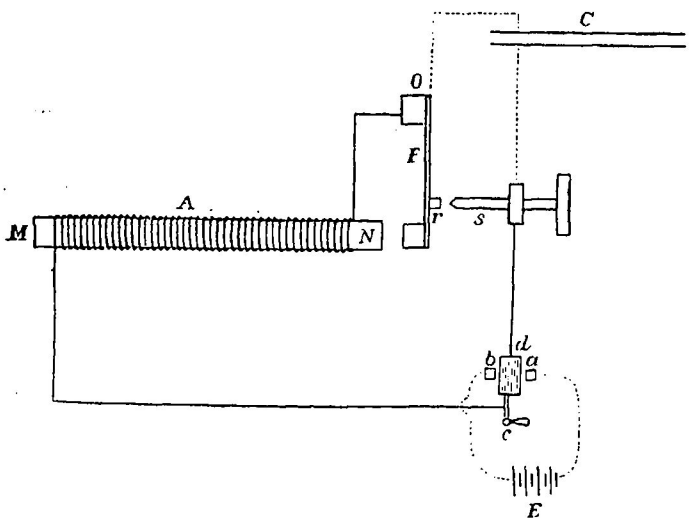
Черт. 216.



Подобная индукціонная катушка

(работы Эрнеке, въ Берлинѣ) изображена на черт. 216; схема же ея соединеній—на черт. 217. На этой схемѣ видна катушка A изъ толстой проволоки, намотанная на желѣзный сердечникъ MN, состоящій изъ пучка желѣзныхъ проволокъ. Это — первичная катушка. Вокругъ нея наматываются изолированные витки внѣшней катушки, не показанной на схемѣ. Эта обмотка, состоящая изъ большого числа витковъ тонкой проволоки, и является катушкой, подвергающейся индукціи. На черт. 216 виденъ только желѣзный сердечникъ E, а обѣ катушки закрыты эбонитомъ. Первичный токъ идетъ (черт. 217) отъ батареи E прямо къ среднимъ зажимамъ a и b коммутатора, изображеннаго отдѣльно на черт. 63, и отъ зажимовъ c и d — въ первичную катушку черезъ прерыватель (Нэфа).

Черт. 217.



Прерыватель этотъ въ настоящемъ случаѣ состоитъ просто изъ пружины F, которая однимъ концомъ прикрѣплена къ столбику O, а на другомъ—снабжена желѣзнымъ придаткомъ, приходящимся какъ разъ противъ сердечника N. Къ пружинѣ, съ другой ея стороны, прикрѣпленъ кусочекъ платины r, который можетъ или прикоснуться, или отойти отъ острія s, положеніе котораго можно регулировать. Когда r и s соприкасаются, то токъ замкнутъ. Въ такомъ случаѣ пружина притянется къ желѣзному сердечнику; токъ прервется и т. д. На черт. 216 показанъ коммутаторъ k и пружина F прерывателя, а также винтъ s, при помощи котораго остріе приближается къ контактному платиновому придатку. Вторичная катушка оканчивается зажимами f f', и индуктированный токъ идетъ отъ этихъ зажимовъ въ любую присоединенную къ нимъ цѣпь. При каждомъ замыканіи

и размыканіи прерывателемъ первичнаго тока во вторичной катушкѣ возникаетъ индуктированный токъ; между зажимами f и f' вторичной обмотки образуется разность напряженій, или такая, что f имѣетъ положительное, а f' отрицательное напряженіе, или, наоборотъ, такого направленія, что f имѣетъ отрицательное напряженіе, а f' положительное. Чѣмъ больше число оборотовъ во вторичной обмоткѣ, тѣмъ больше напряженіе индуктированныхъ токовъ; оно такъ же тѣмъ больше, чѣмъ быстрѣе, чѣмъ внезапнѣе мѣняется сила тока въ первичной обмоткѣ. Мы уже видѣли выше, что по этой послѣдней причинѣ токи размыканія во вторичной катушкѣ имѣютъ значительно болѣе высокое напряженіе, чѣмъ токи замыканія. Поэтому, если мы посредствомъ, напримѣръ, электрометра будемъ измѣрять разность напряженій между f и f', то мы всегда найдемъ, что одинъ конецъ, напримѣръ f, будетъ имѣть постоянно большее напряженіе, чѣмъ другой, хотя въ сущности вѣдь напряженіе должно было бы дѣйствовать поперемѣнно, то въ одномъ, то въ другомъ направленіи. Такъ какъ токи размыканія имѣютъ значительно большее напряженіе, чѣмъ токи замыканія, то всегда измѣряютъ при этомъ почти лишь только напряженіе первыхъ.

Однако, для хорошей работы индукціонной катушки съ подобнымъ прерывателемъ необходимо приспособленіе Физо; съ этимъ приспособленіемъ впервые удалось значительно повысить напряженіе индукціонныхъ токовъ. Наиболѣе дѣйствительны во вторичной катушкѣ, какъ мы уже сказали, токи размыканія, возникающіе въ тотъ моментъ, когда r отдѣляется отъ s (черт. 217). Но при этомъ размыканіи первичнаго тока въ первичной катушкѣ возникаетъ экстратокъ размыканія, вызывающій между r и s значительную разность напряженій, такъ что между r и s появляется искра размыканія. Искра эта вредно вліяетъ на дѣйствіе индукціоннаго прибора, такъ какъ она вызываетъ большую продолжительность времени размыканія первичнаго тока. Первичный токъ *не мгновенно падаетъ до нуля, а по*степенно, пока не исчезнетъ искра. Если бы можно было уничтожить искру или уменьшить ее, то дѣйствіе прибора стало бы лучше. Этого и достигъ Физо, соединивъ проводники r и s, между которыми происходитъ размыканіе съ обкладками конденсатора. Этотъ конденсаторъ C изображенъ вверху чертежа 217. Онъ состоитъ обыкновенно изъ парафинированной бумаги, обложенной станіолемъ. Цѣлый слой такихъ отдѣльныхъ конденсаторовъ сложенъ стопкой, причемъ всѣ станіолевыя обкладки, обращенныя въ одну сторону, соединены между собой. Электричество, возникающее вслѣдствіе экстратока въ мѣстѣ разрыва, уходитъ въ конденсаторъ, обладающій большой емкостью, вслѣдствіе чего разность напряженій въ мѣстѣ разрыва, а, слѣдовательно, и длина искры становятся меньше. Конденсаторъ помѣщается

обыкновенно въ ящикѣ, на которомъ расположена индукціонная катушка.

Такъ какъ индукціонныя катушки употребляются и для полученія электрическихъ искръ, то въ Германіи ихъ часто называютъ индукторами для искръ.

Напряженіе, получающееся во вторичной обмоткѣ такой индукціонной катушки, тѣмъ больше, чѣмъ значительнѣе, при прочихъ равныхъ условіяхъ, число витковъ въ этой обмоткѣ. Употребляя очень большое число витковъ, можно при помощи индукціонной катушки достичь очень высокаго напряженія. Мы, однако, въ первой главѣ видѣли, что электричество высокаго напряженія для того, чтобы оно не истекало, должно быть тщательно изолировано. Поэтому въ приборахъ этого рода проволоки должны быть тщательно изолированы. Этого достигаютъ тѣмъ, что проволоки погружаются въ парафинъ, предварительно хорошо прогрѣтый и освобожденный отъ воздуха; каждый слой обмотки отдѣляется отъ сосѣдняго хорошо пропитанной парафиномъ бумагой или слюдой.

Всѣ явленія, въ которыхъ участвуетъ электричество, имѣющее большое напряженіе, особенно хорошо производятся при помощи индукціонныхъ катушекъ. Въ частности, мы уже неоднократно отмѣчали, что электричество высокаго напряженія легко превозмогаетъ сопротивленіе слоя воздуха, находящагося между концами проводника и препятствующаго прохожденію тока; тогда образуется электрическая искра. Какъ только прерыватель индукціонной катушки приходитъ въ дѣйствіе, на обоихъ концахъ вторичной катушки скопляется индуктированное электричество очень высокаго напряженія. Если соединить эти концы съ проволоками, которыя можно приближать другъ къ другу, то, при нѣкоторомъ опредѣленномъ разстояніи, между концами проволокъ съ трескомъ проскочитъ блестящая искра. Чѣмъ больше напряженіе, тѣмъ на большее разстояніе могутъ быть отдалены другъ отъ друга оба проводника, и все еще искры будутъ продолжать проскакивать. Наоборотъ, величина наибольшаго разстоянія, на которомъ еще проскакиваютъ искры, или, какъ говорятъ, наибольшая длина искры, можетъ служить мѣрой и указаніемъ величины получаемаго напряженія. Поэтому индукціонныя катушки и различаютъ по длинѣ ихъ искры, и говорятъ о приборахъ съ длиной искры въ 5, 10, 15 см. и т. д. Искры длиной до 30 см. можно получать еще при помощи сравнительно простыхъ и небольшихъ катушекъ. При еще большей длинѣ искры (теперь дошли до искры въ 1,20 м. длиной) значительныя трудности представляетъ устройство изоляціи, достаточной при столь высокомъ напряженіи; но, несмотря на это, въ настоящее время нѣкоторыя фабрики въ совершенствѣ изготовляютъ катушки столь большихъ

размѣровъ. Слѣдующая таблица можетъ служить примѣромъ зависимости, существующей между числомъ витковъ вторичной обмотки и наибольшей длиной образующейся искры; эта таблица относится къ вышеописаннымъ приборамъ и, конечно, измѣняется въ зависимости отъ взятыхъ для опыта первичной катушки, прерывателя и конденсатора. Итакъ, искры длиной въ

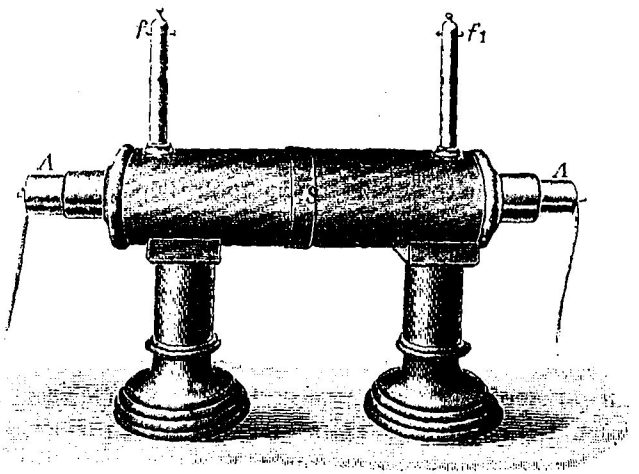
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 см.

вызываются вторичной обмоткой съ числомъ витковъ въ

9 18 26 35 42 50 59 68 76 86 тысячъ.

Въ прежнее время обыкновенно всѣ составныя части индукціонной катушки, — первичную и вторичную обмотки, прерыватель и конденсаторъ,—соединяли вмѣстѣ, теперь же это уже выводится изъ употребленія. Считается, что двѣ катушки вмѣстѣ съ желѣзнымъ сердечникомъ представляютъ собой ту часть прибора, которая главнымъ образомъ производитъ трансформацію токовъ. Прерыватели можно сдѣлать различныхъ типовъ, и каждая индукціонная катушка можетъ работать съ тѣмъ или другимъ прерывателемъ. Теперь иногда и конденсаторы отдѣляютъ отъ индукціонной катушки, такъ какъ нѣкоторые прерыватели, какъ мы дальше увидимъ, не требуютъ никакого конденсатора. На чертежѣ 218 изображена индукціонная катушка безъ прерывателя и конденсатора въ томъ видѣ, какъ она часто теперь устраивается.

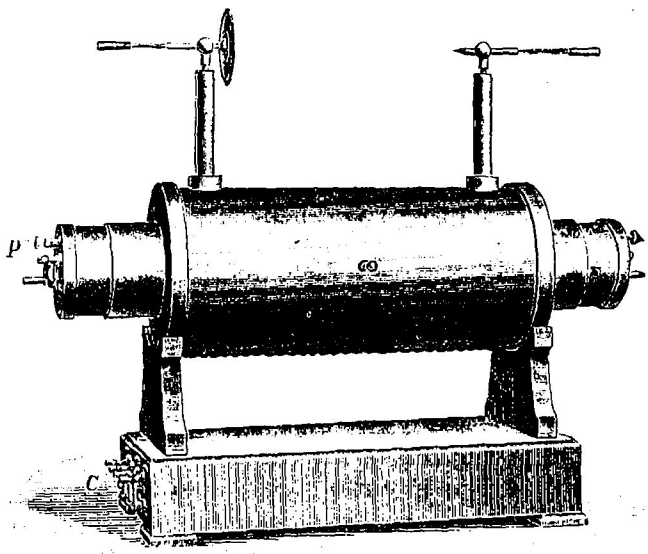
Черт. 218.



На этомъ чертежѣ видны только далеко выступающая первичная обмотка A вмѣстѣ со своимъ желѣзнымъ сердечникомъ и вторичная катушка S съ зажимами f и f'. Провода, подводящіе первичный токъ, присоединяются непосредственно къ A. Эти зажимы должны быть настолько отдалены, чтобы никакая искра съ f или f', не могла пере-

скочить на нихъ. Теперь часто съ большой пользой для дѣла индукціонныя катушки устраиваютъ такъ, чтобы, какъ первичныя обмотки, такъ и конденсаторъ были бы перемѣнные. Для этого первичную обмотку дѣлятъ на три или больше части (секціи) и при помощи переключателя пропускаютъ токъ по $^1/_3$ обмотки, по $^2/_3$ ея или же по всей обмоткѣ. Аналогично и конденсаторъ тоже дѣлятъ на нѣсколько частей и переключателемъ вводятъ большую или меньшую емкость. Благодаря этому представляется возможность въ каждомъ случаѣ найти наиболѣе выгодную комбинацію. Измѣненіе первичной обмотки, которое влечетъ за собою измѣненіе ея самоиндукція, имѣетъ большое значеніе при электролитическихъ прерывателяхъ, о которыхъ мы

Черт. 219.



сейчасъ будемъ говорить. На черт. 219 изображена такая индукціонная катушка съ секціонированною первичной обмоткой и перемѣннымъ конденсаторомъ, работы Клингельфуса въ Базелѣ; катушки этого механика отличаются вообще прекраснымъ дѣйствіемъ. Справа и слѣва на первичной обмоткѣ мы видимъ зажимы и вращающуюся рукоятку, которая представляетъ собой переключатель для первичной обмотки; внизу же на ящикѣ виденъ еще другой переключатель,—онъ служитъ переключателемъ для конденсатора. Полюсы вторичной обмотки снабжены передвигающимися стержнями, изъ которыхъ одинъ оканчивается остріемъ, а другой дискомъ. Они служатъ для измѣренія длины вторичныхъ искръ, т. е. для измѣренія наибольшей длины искры.

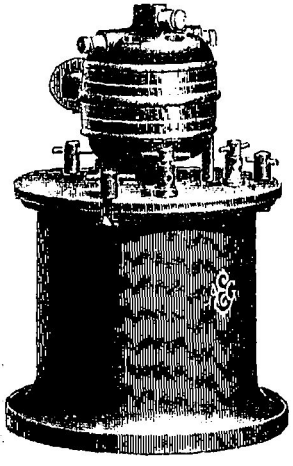
На конструкцію прерывателей обращено было особенно большое вниманіе; они приготовляются самыхъ разнообразныхъ типовъ.

Прерыватель съ молоточкомъ, изображенный на черт. 217, является наиболѣе простымъ изъ этого типа прерывателей и употребляется всегда у маленькихъ индукціонныхъ катушекъ. Число прерываній у такихъ приборовъ зависитъ отъ длины пружины, а именно, - чѣмъ пружина короче, тѣмъ это число больше. Съ такими прерывателями можно достичь отъ 15 до 20 прерываній въ секунду. Молоточекъ изображеннаго на чертежѣ типа можетъ употребляться при сравнительно слабыхъ первичныхъ токахъ, не сильнѣе 4 или 5 амперъ, такъ какъ иначе платина, находящаяся въ мѣстѣ прерыванія, слишкомъ скоро перегораетъ и тѣмъ даетъ возможность происходить явленіямъ, нарушающимъ правильность прерыванія тока.

Постепенно, однако, явилась потребность пользоваться большими индукціонными катушками, питающимися болѣе сильными токами, въ 10, 20 и болѣе амперъ, а потому понадобилось построить прерыватели для такихъ сильныхъ токовъ, дающихъ кромѣ того большее число прерываній.

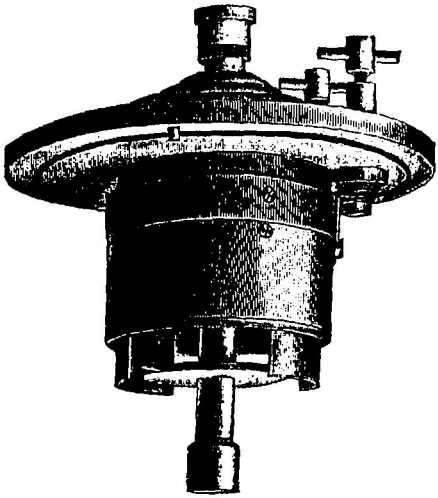
Устройство такого прерывателя, вполнѣ удовлетворяющаго поставленной задачѣ, впервые выполнилъ Боасъ (Всеобщая компанія электричества). Такой приборъ, общій видъ котораго изображенъ на черт. 220, называютъ турбиннымъ прерывателемъ. Особенность этого прерывателя состоитъ въ томъ, во-первыхъ, что въ немъ нѣтъ никакихъ движеній взадъ и впередъ, а есть только движеніе вращательное; во-вторыхъ, вращаются не твердыя части, а струя ртути. На днѣ нижняго сосуда (черт. 220), находится ртуть, покрытая слоемъ алкоголя. На черт. 221 показана внутренняя часть сосуда. Въ ртуть погружена металлическая трубка, имѣющая боковое отверстіе (видимо на чертежѣ у круглаго диска) для выхода ртутной струи. Этотъ дискъ также покрытъ алкоголемъ. Трубка приводится электромоторомъ (наверху на черт. 220) въ быстрое вращеніе и вслѣдствіе центробѣжной силы всасываетъ ртуть, такъ что она выливается изъ горизонтальнаго бокового отверстія въ видѣ сильной струи. Струя эта попадаетъ на металлическое кольцо, снабженное прорѣзами, такъ что она попадаетъ поперемѣнно то въ металлическій выступъ, то въ прорѣзъ. Ртуть эта соединена съ однимъ полюсомъ батареи, а металлическое кольцо съ первичной обмоткой индукціонной катушки, и та-

Черт. 220.

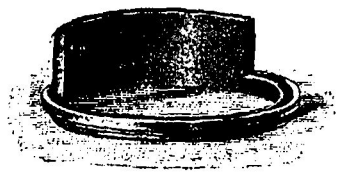


кимъ образомъ, очевидно, что при вращеніи прибора происходитъ попеременно то замыканіе, то размыканіе цѣпи.

Черт. 221.



Черт. 222.



Въ зависимости отъ скорости вращенія и отъ числа выступовъ на кольцѣ число перерывовъ тока въ секунду можетъ измѣняться отъ 10 до 1000. Такихъ частотъ нельзя было достигнуть съ прежними прерывателями. Обыкновенно пользуются прерывателемъ, снабженнымъ такимъ металлическимъ кольцомъ, какъ на черт. 222, съ помощью котораго можно получить до 100 прерываній въ секунду. Турбинный прерыватель и соединенная съ нимъ первичная обмотка включаются подъ напряженіе прибл. въ 110 вольтъ. Благодаря этому въ первичной катушкѣ получаются очень сильные токи, вслѣдствіе чего во вторичной обмоткѣ развивается очень большое количество энергіи.

Въ самое послѣднее время тотъ же самый принципъ, только въ обратномъ видѣ, примѣняется въ разнообразныхъ видоизмѣненіяхъ въ ротаціонномъ прерывателѣ. Въ такихъ прерывателяхъ компактная масса ртути вращается внутри грушеобразнаго сосуда и, вслѣдствіе центробѣжной силы, въ выступающей его части образуется кольцо. Въ ртути находится эксцентрично установленное колесо, могущее вращаться на вертикальной оси, которое приводится во вращеніе самой ртутью; оно сдѣлано изъ изолирующаго вещества, но въ одной части своей окружности имѣетъ мѣдный контактъ. Какъ только этотъ мѣдный контактъ погрузится въ ртуть, начинаетъ идти токъ; когда же контактъ выходитъ изъ ртути,—токъ прерывается. Приборъ этотъ приводится въ дѣйствіе небольшимъ электромоторомъ и можетъ давать до 150 прерываній въ секунду.

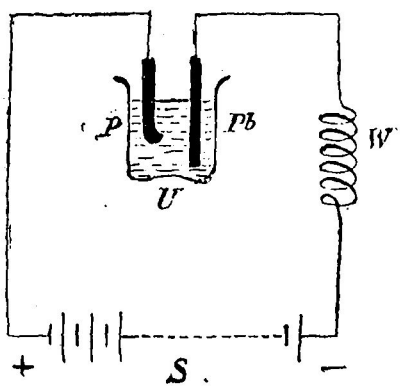
То, чего можно достигнуть, пользуясь этими тщательно сконструированными приборами, достигается и при помощи прерывателя совершенно иного типа, изобрѣтеннаго Венельтомъ и называемаго „электролитическимъ прерывателемъ“ [1]) или просто Венель-

[1]) Подобный же приборъ еще въ 80-хъ годахъ былъ устроенъ русскимъ физикомъ Н. П. Слугиновымъ. *В. М.*

томъ»; прерыватель этотъ во многихъ отношеніяхъ превосходитъ по простотѣ и удобству все, что было до сихъ поръ изобрѣтено въ этой области.

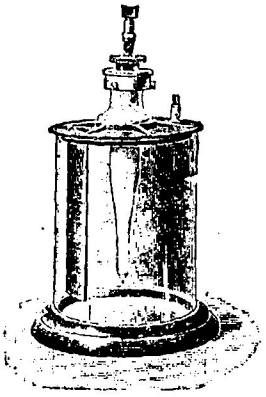
Введемъ въ сосудъ U съ растворомъ сѣрной кислоты (черт. 223) два электрода, одинъ изъ которыхъ представляетъ собою большую пластинку Pb, напр. изъ свинца, а другой состоитъ изъ платиноваго острія p, которое входитъ въ жидкость, выступая изнутри фарфоровой трубочки. Если соединить эти электроды съ полюсами большой батареи S (дающей, напримѣръ, напряженіе въ 100 вольтъ) такимъ образомъ, что остріе будетъ анодомъ, и кромѣ того ввести въ эту цѣпь проволочную катушку W, напримѣръ, первичную обмотку индукціонной катушки, то въ такомъ случаѣ мы, во-первыхъ, замѣтимъ на остріѣ яркое свѣтовое явленіе и, во-вторыхъ, услышимъ нѣкоторый непрерывный звукъ. Этотъ звукъ показываетъ намъ, что здѣсь происходитъ какое то періодическое явленіе. Яркое свѣтовое явленіе происходитъ отъ накаливанія газа, выдѣляющагося у платиноваго электрода въ большомъ количествѣ, а именно: на электродѣ p образуется кислородъ. Въ этомъ сосудѣ происходятъ быстрыя размыканія и замыканія тока, такъ что приборъ этотъ работаетъ, какъ настоящій прерыватель. Причина прерываній тока не сразу становится понятной; она довольно сложна. Прежде всего токъ, возрастающій постепенно вслѣдствіе самоиндукціи катушки W, выдѣляетъ у p кислородъ, но затѣмъ, вслѣдствіе очень малой поверхности конца острія, чрезъ которую проходитъ токъ, около острія выдѣляется большое количество джоулевой теплоты и поэтому прилегающая къ нему жидкость обращается въ паръ. Кислородъ и паръ накаляются, и токъ проходитъ чрезъ эту газообразную оболочку отъ платины къ жидкости. Вслѣдствіе высокой температуры, пары воды скоро распадаются на кислородъ и водородъ; газы эти занимаютъ большій объемъ и газообразная прослойка между платиновымъ электродомъ и жидкостью становится настолько большой, что токъ не можетъ больше проходить. Онъ прерывается, причемъ вслѣдствіе самоиндукціи появляется сильная искра размыканія. Пузырьки газа быстро поднимаются кверху; благодаря этому, жидкость снова приходитъ въ соприкосновеніе съ платиновымъ электродомъ, токъ вновь начинаетъ проходить и весь процессъ опять повторяется въ томъ же порядкѣ. Постепенное возрастаніе тока, обусловленное при-

Черт. 223



сутствіемъ самоиндукціи, существенно необходимо въ этомъ процессѣ. Въ зависимости отъ самоиндукціи, напряженія батареи и поверхности острія получается такимъ способомъ удивительно большое число прерываній тока, которое колеблется отъ 200 до 2000 прерываній въ секунду.

Черт. 224.



При небольшой самоиндукціи число прерываній тока велико, когда же самоиндукція велика число прерываній становится малымъ. Такой прерыватель типа Сименса и Гальске изображенъ на черт. 224. Въ лѣвой части сосуда видна свинцовая пластинка, служащая отрицательнымъ электродомъ; посерединѣ крышки укрѣплена фарфоровая трубочка, черезъ которую проходитъ положительный электродъ, оканчивающійся остріемъ.

При помощи винта, находящагося наверху, можно больше или меньше выпускать проволоку изъ фарфоровой трубки.

Для уменьшенія нагрѣванія употребляютъ большіе сосуды, вмѣщающіе большое количество жидкости. Въ виду того, что въ прерывателѣ Венельта прерываніе производится именно токомъ размыканія, при работѣ съ нимъ нельзя употреблять индукціонную катушку съ конденсаторомъ, такъ какъ послѣдній уменьшаетъ напряженіе тока размыканія. Поэтому индукціонныя катушки, предназначенныя исключительно для работы съ прерывателями Венельта, обыкновенно не снабжаются конденсаторами. Въ индукціонныхъ же катушкахъ, которыя ихъ имѣютъ, конденсаторы замыкаются на короткое соединеніе.

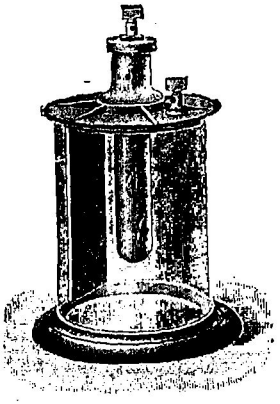
Такъ какъ число прерываній въ Венельтѣ зависитъ отъ величины самоиндукціи соединенной съ нимъ цѣпи, то, какъ сказано было выше (стр. 265), въ настоящее время первичную обмотку индукціонной катушки раздѣляютъ на нѣсколько секцій; чѣмъ меньшее число первичныхъ витковъ введемъ мы въ цѣпь, тѣмъ меньшую она будетъ имѣть самоиндукцію. При небольшой самоиндукціи прерыватель Венельта производитъ наиболѣе частыя прерыванія тока, а при большой самоиндукціи—самыя медленныя.

Характерная особенность прерывателя Венельта заключается въ томъ, что токъ, который вообще распространяется по всей массѣ жидкости, сжатъ на остріѣ и потому имѣетъ въ этомъ мѣстѣ очень малое поперечное сѣченіе. Поэтому на остріѣ развивается большое количество джоулевой теплоты, которая обращаетъ жидкость въ паръ и тѣмъ самымъ прерываетъ токъ, какъ было описано выше.

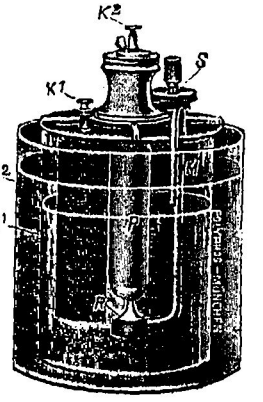
Если, однако, это внезапное суженіе тока является главной причиной происходящаго явленія, то, какъ показалъ Симонъ, можно

построить прерыватель иного типа—безъ платиноваго острія. Въ сосудъ, наполненный сѣрной кислотой (черт. 225), погружаютъ свинцовую пластинку и фарфоровую трубку, имѣющую на своемъ концѣ одно или нѣсколько отверстій приблизительно въ 1 кв. мм. Въ трубкѣ также находится сѣрная кислота, а кромѣ того сверху въ нее опускаютъ какой-нибудь электродъ, напр. свинцовый. Тогда токъ для того, чтобы отъ одного электрода достигнуть до другого, долженъ пройти черезъ узкія отверстія.

Черт. 225.



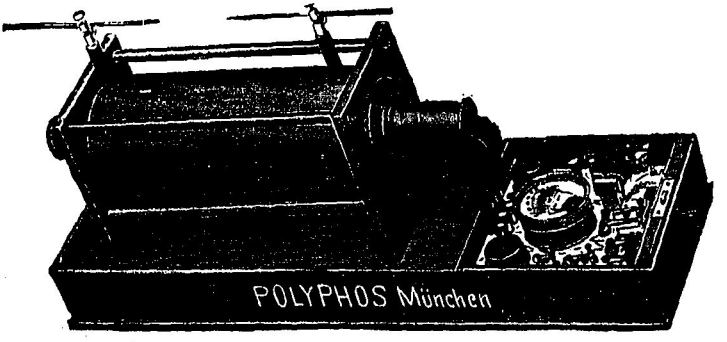
Черт. 226.



Такъ какъ поперечное сѣченіе отверстій очень мало, а потому сопротивленіе этихъ мѣстъ очень велико, то въ нихъ выдѣляется большое количество тепла, вызывающее тѣ же самыя періодическія явленія, какія происходятъ на платиновомъ остріѣ въ прерывателяхъ Венельта. Электрическое О-во Полифосъ въ Мюнхенѣ изготовляетъ прерыватели Симона (черт. 226) съ отверстіями, величину которыхъ можно регулировать при помощи фарфороваго конуса R, вдвигаемаго въ отверстіе снизу болѣе или менѣе глубоко при помощи винта S. Такой прерыватель имѣетъ почти тѣ же преимущества, что и прерыватель Венельта.

Если хотятъ воспользоваться какимъ-либо изъ подобныхъ прерывателей для индукціонной катушки, у которой имѣется уже обык-

Черт. 227.

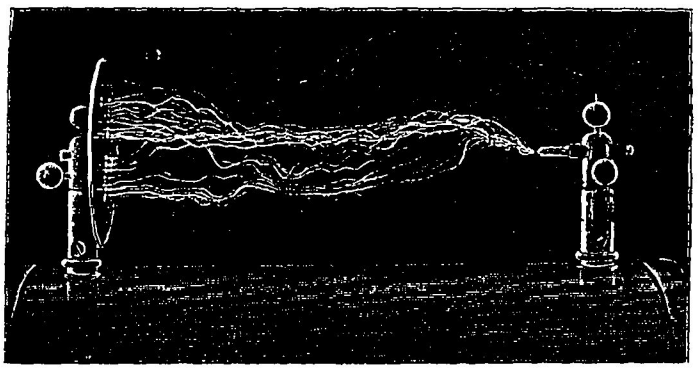


новенный прерыватель съ молоточкомъ, то его надо замкнуть коротко, т. е. двѣ его части, обыкновенно разъединенныя, соединить другъ съ другомъ или непосредственно, или толстой проволокой. Благодаря

этому конденсаторъ тоже замыкается на короткую. На чертежѣ 227 изображена индукціонная катушка въ томъ удобномъ для многихъ физическихъ опытовъ видѣ, въ какомъ ее изготовляетъ О во Полифосъ. Она имѣетъ прерыватель съ молоточкомъ на 10 амп., переключатель для включенія первичной обмотки, имѣющей три отдѣльныхъ секціи, и переключатель для присоединенія конденсатора, имѣющаго также три части. При помощи еще одного переключателя этотъ приборъ можно привести въ дѣйствіе или прерывателемъ съ молоточкомъ, или Венельтомъ, или еще какимъ-нибудь инымъ прерывателемъ.

Когда индукціонная катушка работаетъ съ турбиннымъ прерывателемъ или прерывателемъ Венельта, то явленія разряда получаются еще болѣе блестящія. Въ этомъ случаѣ въ первичную обмотку обыкновенно пропускаютъ токъ отъ 100 до 120 вольтъ напряженія, тогда какъ при прерывателяхъ съ молоточкомъ можно пользоваться

Черт. 228.



не болѣе какъ 16—20 вольтами. Такимъ образомъ количество энергіи, входящее въ первичную обмотку, а слѣдовательно и количество энергіи, получающейся во вторичной обмоткѣ, очень велики. Это значитъ, что сила тока при томъ же напряженіи во вторичной обмоткѣ получается значительно большая. Въ настоящее время можно получить во вторичной обмоткѣ индукціонной катушки токи силою до 0,1 ампера, что при напряженіи отъ 50000 до 100000 вольтъ даетъ уже значительную работу, соотвѣтствующую мощности отъ 5 до 10 киловаттовъ (6,8—13,6 лошадиныхъ силъ; стр. 129). Вслѣдствіе этого между дискомъ и остріемъ появляется не одна искра, а настоящая кисть изъ яркихъ искръ, цѣлый потокъ свѣта, который еще сопровождается оглушительнымъ звукомъ. На черт. 228 представлена картина такого явленія, получающагося при помощи индукторія съ длиною искры въ 40 см, соединеннаго съ однимъ изъ этихъ новыхъ прерывателей.

Впрочемъ, для полученія индукціонныхъ токовъ не является необходимымъ производить при помощи прерывателя размыканія и замыканія первичнаго тока. Это лишь одинъ изъ многихъ способовъ, посредствомъ которыхъ можно во вторичной катушкѣ вызвать индуктированные токи. Другой весьма часто примѣняемый способъ заключается въ томъ, что черезъ первичную катушку пропускаютъ перемѣнный токъ, возбужденный хотя бы въ магнитоэлектрической машинѣ. Дѣйствительно, если пропустить такой перемѣнный токъ чрезъ первичную спираль, то въ ней непрерывно будутъ мѣняться сила и направленіе тока, а благодаря этому и въ катушкѣ, окружающей первичную, должны непрерывно возникать индукціонные токи, такъ какъ вѣдь всякое измѣненіе первичнаго тока вызываетъ индуктированный токъ.

Для полученія при этомъ высокаго напряженія вторичнаго тока необходимо конечно употреблять перемѣнные токи съ очень большимъ числомъ перемѣнъ въ секунду.

Электродвижущая сила—напряженіе индукціоннаго тока, какъ мы уже видѣли, тѣмъ больше, чѣмъ больше оборотовъ вторичной обмотки, и чѣмъ больше сила первичнаго тока. Этимъ и пользуются въ индукціонныхъ катушкахъ, чтобы отъ первичнаго тока небольшого напряженія (нѣсколько вольтъ), но сравнительно большой силы, съ помощью индукціи получить, наоборотъ, вторичный токъ весьма высокаго напряженія, но небольшой силы. Можно, понятно, съ помощью индукціи и наоборотъ—сдѣлать силу вторичнаго тока больше, а напряженіе его меньше, чѣмъ у тока первичнаго. Дѣйствительно, если вторичную спираль приготовить изъ небольшого числа витковъ толстой проволоки, а въ первичной сдѣлать много витковъ и пропустить чрезъ нее перемѣнный токъ съ большой электродвижущей силой, но съ малой силой тока, то, очевидно, во вторичной цѣпи получимъ условія прямо противоположныя предыдущимъ. Индуктированная электродвижущая сила будетъ сравнительно невелика, потому что вторичныхъ оборотовъ у насъ немного и сила первичнаго тока мала. Зато вторичный токъ можетъ имѣть значительную силу, такъ какъ внутреннее сопротивленіе обмотки, состоящей всего изъ нѣсколькихъ оборотовъ толстой проволоки, очень невелико. Этотъ способъ превращенія энергіи нашелъ практическое примѣненіе въ трансформаторахъ, о которыхъ мы будемъ говорить въ IV главѣ второй части.

Отсюда видно, что при помощи индукціи мы можемъ электрической энергіи тока придать другую форму, можемъ превратить ее, не будучи, конечно, въ состояніи увеличить ея количество.

ГЛАВА X.

Перемѣнные и многофазные токи.

Если замкнуть внѣшней цѣпью гальваническія батареи или термобатареи, то получаются гальваническіе токи, имѣющіе постоянное направленіе. Такъ, напр., въ цѣпи элемента Даніэля положительный токъ проходитъ постоянно отъ мѣднаго полюса черезъ внѣшнюю цѣпь къ цинковому полюсу. Подобные токи называютъ поэтому токами постояннаго направленія или, короче, постоянными токами. Долгое время на нихъ было обращено исключительное вниманіе, и они одни были тщательно изучены. Ихъ основной законъ—законъ Ома.

Напротивъ, при изученіи индукціонныхъ явленій мы впервые ознакомились съ возникновеніемъ въ цѣпи токовъ другого рода, а именно такихъ, которые быстро, въ извѣстной послѣдовательности, измѣняютъ свое направленіе, и поэтому называются перемѣнными токами. Своеобразныя явленія и законы этихъ токовъ уже позже сдѣлались предметомъ болѣе внимательнаго изученія. При этомъ оказалось, что перемѣнные токи представляютъ значительно большее разнообразіе въ явленіяхъ, чѣмъ постоянные, такъ что и съ научной точки зрѣнія они интереснѣе послѣднихъ, а съ практической точки зрѣнія они, по крайней мѣрѣ, такъ же важны, какъ и постоянные токи; потому мы и разсмотримъ подробнѣе ихъ свойства.

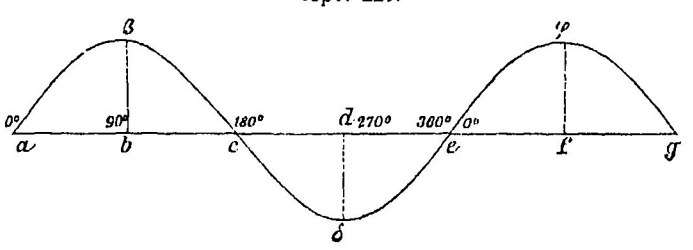
Перемѣнные токи легко возбуждаются чередующимся индукціоннымъ дѣйствіемъ, напр. при замыканіи и размыканіи первичнаго тока, или при магнитной индукціи—приближеніемъ къ цѣпи и удаленіемъ отъ нея магнитовъ. Тогда въ цѣпи, напр. въ индукціонной катушкѣ и ея внѣшней цѣпи, возникаетъ токъ, направленный то въ одномъ, то въ противоположномъ направленіи.

Для того, чтобы ближе ознакомиться съ этими явленіями, допустимъ, что у насъ есть небольшая машина, черт. 210 (стр. 250), въ которой при равномѣрномъ вращеніи катушекъ R и R_1 передъ полюсами магнита возникаютъ индукціонные токи перемѣннаго направленія. Представимъ себѣ сначала, что оба конца катушекъ свободны, не замкнуты внѣшней цѣпью W. Когда мы будемъ вращать катушки,

на концахъ a и b получится разность напряженій. Эта разность при началѣ вращенія начнетъ возрастать, затѣмъ достигнетъ наибольшей величины и потомъ снова начнетъ убывать. Когда катушки какъ разъ проходятъ передъ полюсами магнита, токъ не индуктируется. Въ этомъ случаѣ разность напряженій равна нулю. При дальнѣйшемъ вращеніи катушекъ разность напряженій вначалѣ будетъ расти, получая положительныя величины (напряженіе въ a будетъ больше, чѣмъ въ b), дойдетъ до максимума, затѣмъ будетъ снова убывать, пока катушки не повернутся на 180°; тогда разность напряженія a и b снова будетъ нуль. При дальнѣйшемъ вращеніи катушекъ разность напряженій получитъ отрицательную величину; тотъ конецъ проволоки, который былъ положительнымъ полюсомъ, станетъ теперь отрицательнымъ (напряженіе въ a будетъ меньше, чѣмъ въ b). Эта отрицательная разность напряженія снова будетъ расти до наибольшей величины, затѣмъ начнетъ убывать, пройдетъ черезъ нуль и снова станетъ положительной.

Это послѣдовательное измѣненіе разности напряженій незамкнутыхъ катушекъ, т. е. измѣненіе электродвижущей силы, мы можемъ легко изобразить на чертежѣ. На черт. 229 величины электродвижущей силы обозначены линіями, перпендикулярными къ линіи ag. Въ точкѣ a электродвижущая сила равна нулю. Точка a соотвѣтствуетъ, слѣдовательно, тому положенію катушекъ, при которомъ онѣ находятся какъ разъ противъ магнитныхъ полюсовъ. Электродвижущая сила увеличивается затѣмъ все въ одномъ направленіи до точки b, гдѣ она наибольшая ($b\beta$); тутъ слѣдовательно катушки повернулись въ нѣ-

Черт. 229.



которомъ направленіи на 90°. Затѣмъ она уменьшается до точки c, гдѣ она равна нулю. Катушки, слѣдовательно, повернулись отъ своего первоначальнаго положенія на 180°. Затѣмъ электродвижущая сила измѣняетъ свое направленіе, что и изображается линіями, проведенными отъ ag внизъ. Она увеличивается въ этомъ направленіи до d и снова уменьшается до e. Въ послѣдней точкѣ катушки послѣ поворота на 360° пришли въ свое первоначальное положеніе; онѣ сдѣлали полный оборотъ, послѣ чего тѣ же явленія въ той же послѣдовательности повторяются снова. Тотъ промежутокъ времени, въ

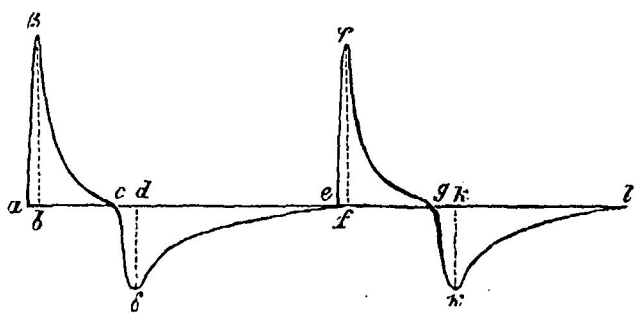
который совершается полный оборотъ, называется періодомъ вращенія.

Мы видимъ, что электродвижущая сила перемѣннаго тока имѣетъ такой же періодъ, какъ и вращеніе катушекъ. Послѣ полнаго оборота (напр. въ $^1/_{50}$ секунды) электродвижущая сила проходитъ снова тѣ же величины. Уголъ, на который катушки повернулись отъ начальнаго положенія a, въ которомъ напряженіе равно нулю, называютъ фазою движенія. При фазѣ 0 и напряженіе равно 0, при фазѣ 90° — напряженіе максимумъ и т. д.

Теперь соединимъ концы нашихъ катушекъ внѣшнимъ проводникомъ, (относительно котораго мы предположимъ, что онъ не имѣетъ замѣтной самоиндукціи (стр. 257), напримѣръ, представляетъ собою бифилярно намотанную катушку или простую проволоку. Черезъ этотъ проводникъ будутъ проходить перемѣнные токи, т. е. такіе токи, сила и направленіе которыхъ измѣняется также періодически; сила тока будетъ также изображаться такой же волнистой кривой, какая дана на черт. 229. Сила тока въ a равна будетъ нулю, затѣмъ она растетъ до наибольшей величины и снова падаетъ до нуля; затѣмъ токъ измѣнитъ свое направленіе, и сила тока достигнетъ въ этомъ направленіи наибольшей величины, послѣ чего она снова уменьшится до нуля и т. д.

Такимъ образомъ, мы получимъ также и въ замкнутой цѣпи періодическія измѣненія силы тока. Но при этомъ вовсе не необходимо, чтобы электродвижущая сила и сила тока увеличивались и уменьшались такъ правильно, какъ это показано на нашемъ чертежѣ и какъ это и бываетъ въ дѣйствительности при описанномъ нами устройствѣ.

Черт. 230.

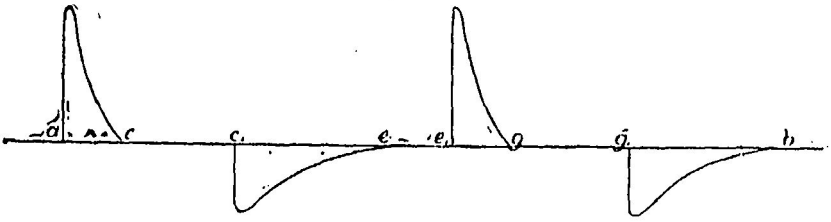


Предположимъ, что мы возбуждаемъ перемѣнные токи во вторичной катушкѣ размыканіемъ и замыканіемъ первичнаго тока посредствомъ молоточка Нэфа. Мы видѣли выше (стр. 260), что индукціонный токъ размыканія растетъ гораздо быстрѣе и имѣетъ несравненно болѣе высокую электродвижущую силу, чѣмъ токъ замыканія. Поэтому при

дѣйствіи молоточка Нэфа послѣдовательность измѣненія электродвижущей силы, а, слѣдовательно, и силы тока, въ нашей вторичной цѣпи будетъ приблизительно такою, какъ показано на чертежѣ 230. Въ моментъ размыканія тока, у a, электродвижущая сила быстро растетъ до β и тотчасъ снова падаетъ до нуля; при замыканіи же тока электродвижущая сила увеличивается въ обратномъ смыслѣ, но медленнѣе и не такъ сильно, до δ, затѣмъ снова уменьшается до нуля и т. д. Тутъ также получаются періодическіе токи, такъ какъ послѣ каждаго размыканія и замыканія повторяется та же послѣдовательность измѣненій; однако правильныхъ періодическихъ перемѣнныхъ токовъ мы здѣсь не получаемъ.

Что касается самого индуктированнаго тока, то форма его еще сложнѣе. Прерыватель Нэфа дѣлаетъ отъ 10 до 30 замыканій и размыканій тока въ секунду. Такимъ образомъ періодъ нашего перемѣннаго тока будетъ отъ $^1/_{10}$ до $^1/_{30}$ секунды. Въ теченіе этого періода возникаетъ сначала токъ размыканія. Онъ сильно наростаетъ и очень быстро спадаетъ и длится въ общемъ можетъ быть $^1/_{10000}$ секунды. Затѣмъ нѣкоторое время тока въ цѣпи совершенно нѣтъ, пока приблизительно черезъ $^1/_{15}$ сек. прерыватель не замкнетъ опять тока. Возникающій во вторичной цѣпи индукціонный токъ замыканія измѣняется менѣе круто и длится также лишь очень малый

Черт. 231.



промежутокъ времени, около $^1/_{10000}$ секунды, а затѣмъ въ катушкѣ опять нѣтъ тока до слѣдующаго размыканія. Такимъ образомъ измѣненіе электродвижущей силы въ дѣйствительности изображается такъ, какъ показано на черт. 231. Періоду соотвѣтствуетъ отрѣзокъ ae_1. Въ теченіе этого періода возникаютъ два кратковременныхъ тока, въ промежуткѣ между которыми не существуетъ никакого тока, никакого напряженія. Такъ какъ для дальнѣйшихъ нашихъ разсужденій это отличіе не имѣетъ большого значенія, то мы и разсмотримъ болѣе простой случай правильныхъ періодическихъ перемѣнныхъ токовъ, изображенный на черт. 229.

Прежде всего возникаетъ вопросъ: что подразумѣвать подъ силой перемѣннаго тока, и чѣмъ возможно ее измѣрить? Сила тока растетъ періодически отъ нуля до максимума, а затѣмъ снова падаетъ; слѣдовательно, истинная сила перемѣннаго тока въ каж-

дый моментъ имѣетъ новую величину. Подъ силой тока условились подразумѣвать среднюю силу тока въ продолженіе одного періода, т. е. не наибольшую величину истинной силы тока (линіи $b\beta$ или $d\delta$ на черт. 229), а также и не наименьшую величину, именно нуль, но извѣстную среднюю изъ всѣхъ отдѣльныхъ величинъ силъ тока. Ее называютъ также дѣйствующей силой тока. Такъ какъ мощность тока всегда зависитъ отъ квадрата силы тока, то берутъ такъ называемую среднюю квадратичную величину тока, т. е. квадратный корень изъ суммы квадратовъ силъ тока. Когда говорятъ о силѣ перемѣннаго тока, то подразумѣваютъ всегда дѣйствующую силу.

Чѣмъ же можно измѣрить силу перемѣннаго тока и какъ выразить ее въ амперахъ? Во всякомъ случаѣ не вольтаметромъ, такъ какъ онъ реагируетъ только на постоянные токи; также и не гальванометромъ, потому что магнитная игла подъ вліяніемъ двухъ противоположныхъ по направленію, быстро слѣдующихъ другъ за другомъ токовъ, стремилась бы отклониться въ противоположныя стороны и, слѣдовательно, осталась бы въ покоѣ. Итакъ, для измѣренія перемѣнныхъ токовъ остается пользоваться или тепловыми дѣйствіями (джоулева теплота), или же электродинамическими дѣйствіями токовъ, такъ какъ первыя совершенно не зависятъ отъ направленія тока, а вторыя можно примѣнить такъ, что измѣненія направленія тока не будутъ играть роли.

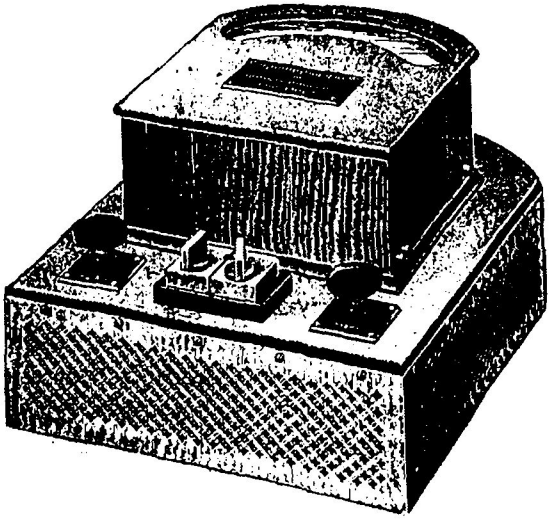
Оба способа примѣняются на практикѣ, но мы разсмотримъ только второй, а именно измѣреніе перемѣнныхъ токовъ электродинамометрами. Въ электродинамометрахъ (стр. 231) всегда имѣются неподвижная и подвижная катушки, по которымъ проходитъ токъ: первая катушка отклоняетъ вторую съ силой, зависящей отъ произведенія силъ тока въ обѣихъ катушкахъ. Если поэтому по обѣимъ катушкамъ проходитъ одинъ и тотъ же токъ, то отклоненіе будетъ зависѣть отъ квадрата силы тока; оно не мѣняетъ своего направленія, если направленіе тока мѣняется одновременно въ обѣихъ катушкахъ, а, слѣдовательно, не мѣняетъ и тогда, когда по катушкамъ проходитъ перемѣнный токъ. Отклоненіе служитъ, такимъ образомъ, непосредственно мѣрой квадрата дѣйствующей силы перемѣнныхъ токовъ. Если электродинамометръ проградуированъ и опредѣленъ его переводный множитель, то по отсчетамъ можно въ амперахъ непосредственно получить силу перемѣннаго тока.

Мы уже описали выше (стр. 232) такой электродинамометръ съ зеркальнымъ отсчетомъ, примѣняемый для научныхъ цѣлей при измѣреніи слабыхъ токовъ.

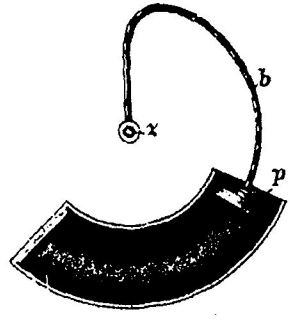
Для измѣренія болѣе сильныхъ токовъ устраиваютъ приборы съ отсчетомъ по указателю, въ которыхъ сила тока отсчитывается по шкалѣ, сейчасъ же по включеніи прибора въ цѣпь, безъ дальнѣйшихъ

нипуляцій. Сименсъ и Гальске, удовлетворяющіе со времени основанія фирмы Вернеромъ Сименсомъ запросамъ не только техники, но и науки въ области измѣренія, впервые ввели въ обращеніе приборъ, названный ими точнымъ амперметромъ для постояннаго и перемѣннаго токовъ. По ихъ примѣру изготовляютъ теперь и другія фирмы такіе же приборы для перемѣнныхъ токовъ. Эти приборы являются электродинамометрами, т. е. состоятъ изъ неподвижной и подвижной катушекъ. Внѣшній видъ такого амперметра изображенъ на черт. 232. Внутри находятся неподвижная и подвижная катушки. Токъ подводится къ подвижной катушкѣ посредствомъ тонкихъ пружинокъ. Для того, чтобы указатель, соединенный съ подвижной катушкой и передвигающійся по шкалѣ (ее видно наверху прибора), сейчасъ же становился на мѣсто, безъ колебаній, подвижная катушка снабжается искусственнымъ воздушнымъ успокоителемъ. Для этой цѣли (черт. 233) употребляется согнутая трубка, въ которой можетъ двигаться поршенекъ успокоителя. Онъ прикрѣпляется посредствомъ твердаго рычажка b на оси z подвижной катушки. Когда катушка вращается, поршенекъ передвигается въ трубкѣ, и воздухъ производитъ сильное успокоеніе вслѣдствіе тренія своего въ узкомъ просвѣтѣ между стѣнками и пластинкой. Собственно говоря, черезъ неподвижную и подвижную катушки долженъ проходить одинъ и тотъ же токъ, онѣ должны быть включены послѣдовательно. Но такъ какъ нельзя пропускать сильныхъ токовъ (измѣряемыхъ теперь нами) черезъ тонкія п волоки, на которыхъ подвѣшена подвижная катушка, то включа неподвижную (главную) катушку и подвижную (побочную) па лельно, какъ показано на черт. 234. Если бы сопротивленіе движной и подвижной катушекъ оставалось тѣмъ же самымъ токахъ всякой силы и всякаго періода, то сила тока измѣрялась

Черт. 232.

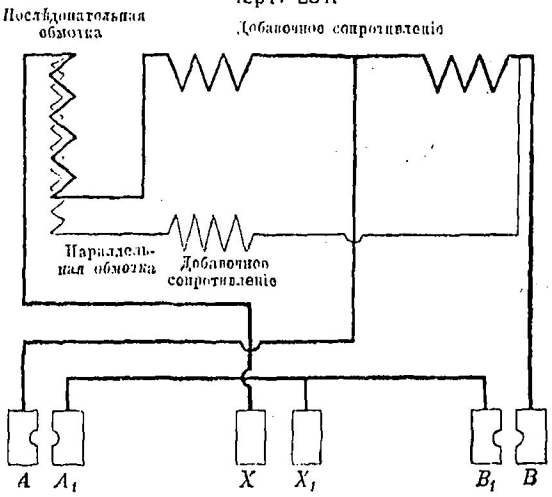


Черт. 233.



посредственно отклоненіемъ подвижной катушки. Но сопротивленіе обѣихъ катушекъ измѣняется, какъ мы сейчасъ увидимъ, вслѣдствіе образованія джоулевой теплоты, а также съ измѣненіемъ числа періодовъ. Чтобы по возможности уменьшить вліяніе этихъ измѣненій, сдѣлать его незамѣтнымъ при практическихъ измѣреніяхъ, присоединяютъ къ неподвижной катушкѣ на днѣ прибора добавочное сопротивленіе, изготовленное изъ манганиновой проволоки, намотанной бифилярно, слѣдовательно неподверженное вліянію температуры и лишенное самоиндукціи. Такое же сопротивленіе включаютъ передъ подвижной катушкой. Такимъ образомъ, практически устраняется вліяніе температуры и числа періодовъ. Измѣряемый токъ включается при XX_1. Неподвижная катушка соединяется кромѣ того съ двумя различными добавочными сопротивленіями; посредствомъ штепселя въ AA_1 можно ввести лѣвое сопротивленіе, а штепселемъ въ BB_1 и правое и лѣвое вмѣстѣ. Такимъ образомъ амперметръ приспособленъ для двухъ предѣловъ шкалы. Смотря по устройству различаются приборы для слабыхъ токовъ, которые измѣряютъ токи отъ 6 до 30 милліамперовъ, и приборы для сильныхъ токовъ отъ 40 до 200 амперовъ.

Черт. 234.

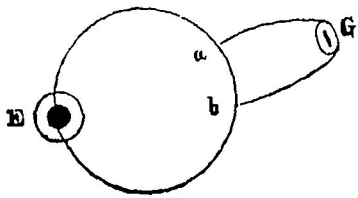


Кромѣ этихъ электродинамометровъ съ катушками существуетъ еще другой родъ электродинамометровъ съ мягкимъ желѣзомъ. Если вмѣсто подвижной катушки подвѣсить внутри неподвижной катушки стрѣлку изъ ненамагниченнаго мягкаго желѣза, то, очевидно, мы получимъ такой же электродинамометръ, реагирующій на перемѣнные токи. Токъ, циркулирующій въ неподвижной катушкѣ, возбуждаетъ въ стрѣлкѣ изъ мягкаго желѣза магнитизмъ и дѣлаетъ ее, слѣдовательно, временно магнитной стрѣлкой; эта послѣдняя отклоняется подъ вліяніемъ тока. Если измѣнится направленіе тока въ неподвижной катушкѣ, то измѣнится также и положеніе полюсовъ въ стрѣлкѣ, и, слѣдовательно, отклоненіе ея сохранитъ свое прежнее направленіе. Для того, чтобы такой приборъ, въ принципѣ очень удобный, былъ дѣйствительно точенъ, необходимо, чтобы мягкое желѣзо стрѣлки

намагничивалось и перемагничивалось мгновенно, одновременно съ измѣненіями силы тока, и не сохраняло бы нисколько остаточнаго намагничиванія. Но этого трудно и пожалуй даже невозможно достигнуть на продолжительное время, и потому электродинамометры, построенные на этомъ принципѣ, не примѣняются для научныхъ цѣлей, а чаще для техническихъ измѣреній, гдѣ не требуется большой точности. Объ этихъ приборахъ будетъ еще говориться во второмъ отдѣлѣ при техническихъ измѣрительныхъ приборахъ для перемѣннаго тока.

Электродинамометры, которыми можно измѣрять силу перемѣнныхъ токовъ, примѣняются также и для измѣренія разностей напряженій; они измѣряютъ, слѣдовательно, среднюю разность напряженія между двумя точками цѣпи, которую называютъ также дѣйствующимъ напряженіемъ. Для этого вводятъ между обѣими точками цѣпи a и b, разность напряженія которыхъ хотятъ измѣрить (черт. 235), въ видѣ отвѣтвленія электродинамометръ G. Показанія электродинамометра, отсчитываемыя по шкалѣ его, прямо пропорціональны искомой дѣйствующей разности напряженій между a и b, по той же самой причинѣ, по которой гальванометръ въ отвѣтвленіи измѣряетъ разность напряженій.

Черт. 235.



Для удобства этихъ измѣреній фирма Сименсъ и Гальске изготовляетъ точные вольтметры для постояннаго и перемѣннаго тока, построенные аналогично только-что описаннымъ амперметрамъ. Въ каждомъ такомъ приборѣ есть неподвижная катушка съ однимъ или двумя добавочными сопротивленіями, неподверженными вліянію температуры и безъ самоиндукціи; отъ нихъ отвѣтвляется подвижная катушка. Такимъ образомъ въ каждомъ приборѣ двѣ шкалы измѣренія, напримѣръ, отъ 3 до 15 вольтъ и отъ 6 до 30. Если хотятъ сдѣлать приборъ менѣе чувствительнымъ, чтобы измѣрять бо́льшія напряженія, то включаютъ еще сопротивленія, измѣренныя и не обладающія самоиндукціей. Такимъ образомъ чувствительность уменьшается въ половину, въ треть и т. д., такъ что отсчетъ не дастъ намъ прямо вольтовъ, ихъ будетъ въ 2—3—4 раза больше, чѣмъ мы отсчитываемъ.

Итакъ, мы имѣемъ средства измѣрять дѣйствующія силу и напряженіе перемѣннаго тока.

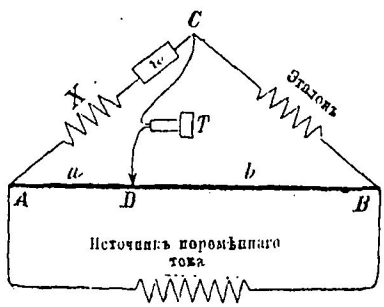
До сихъ поръ мы предполагали, что перемѣнный токъ проходилъ по проводнику, не имѣющему замѣтной самоиндукціи, напр. по бифилярно намотанной катушкѣ или по натянутой проволокѣ. Если же пропустить перемѣнный токъ по проводнику съ большой самоиндукціей, напр. черезъ обмотанную обыкновеннымъ образомъ проволочную катушку или, еще лучше, черезъ реактивную катушку, то, такъ

какъ направленіе и сила тока непрерывно измѣняются, въ этомъ проводникѣ возникнутъ экстратоки. Эти экстратоки противодѣйствуютъ существующей электродвижущей силѣ. Отсюда слѣдуетъ, что сила тока въ катушкѣ, обусловленная существующей электродвижущей силой, будетъ меньше, чѣмъ она должна бы быть по закону Ома. Въ дѣйствительности, вѣдь, дѣйствуетъ не одна внѣшняя электродвижущая сила, но она—минусъ возникшая электродвижущая сила экстратока. При той же самой внѣшней электродвижущей силѣ сила тока въ такой катушкѣ будетъ, слѣдовательно, меньше, чѣмъ она была бы при постоянномъ токѣ; это производитъ впечатлѣніе, какъ будто бы сопротивленіе катушки для перемѣнныхъ токовъ больше, чѣмъ для постоянныхъ токовъ. Подобная катушка даетъ поэтому кажущееся увеличеніе сопротивленія при прохожденіи перемѣнныхъ токовъ. Поэтому въ настоящемъ случаѣ можно прямо говорить, что катушка оказываетъ перемѣнному току нѣкоторое сопротивленіе, большее обычнаго омическаго сопротивленія. Сопротивленіе катушки по отношенію къ перемѣннымъ токамъ называютъ кажущимся сопротивленіемъ въ отличіе отъ обыкновеннаго (омическаго) сопротивленія, которое она оказываетъ постояннымъ токамъ. Кажущееся сопротивленіе всегда больше омическаго и тѣмъ больше, чѣмъ быстрѣе слѣдуютъ другъ за другомъ перемѣны тока, чѣмъ больше, какъ говорятъ, частота перемѣннаго тока, и чѣмъ больше коэффиціентъ самоиндукціи проводника. При прямолинейномъ проводѣ или при бифилярно намотанной катушкѣ разностью между кажущимся и омическимъ сопротивленіемъ обыкновенно пренебрегаютъ, а въ случаѣ унифилярно намотанной катушки она весьма значительна. Катушка съ бифилярной обмоткой имѣетъ для перемѣнныхъ токовъ то же сопротивленіе, что и для постоянныхъ. По этой причинѣ катушки сопротивленія, примѣняемыя въ магазинахъ сопротивленій, всегда наматываютъ бифилярно, если хотятъ пользоваться ими и въ случаѣ перемѣнныхъ токовъ. Въ случаѣ перемѣнныхъ токовъ всегда различаютъ проводники безиндукціонные, обладающіе ничтожно малымъ коэффиціентомъ самоиндукціи, и проводники съ самоиндукціей. Проводника абсолютно безиндукціоннаго, строго говоря, не существуетъ. Ясно, такимъ образомъ, что проводникъ съ большимъ коэффиціентомъ самоиндукціи, напр. реактивная катушка, будучи введенъ въ цѣпь перемѣннаго тока, ослабляетъ его въ большей степени, чѣмъ это слѣдовало бы соотвѣтственно его омическому сопротивленію. Въ этомъ случаѣ надо принимать во вниманіе не омическое, но кажущееся сопротивленіе.

Такая катушка съ желѣзнымъ сердечникомъ представляетъ для перемѣннаго тока сопротивленіе въ 1000 разъ большее, чѣмъ для постояннаго; она почти совсѣмъ не пропускаетъ перемѣннаго тока, ме-

жду тѣмъ какъ постоянный токъ проходитъ безпрепятственно. Поэтому и называютъ такія катушки съ большимъ коэффиціентомъ самоиндукціи реактивными катушками, такъ какъ онѣ сильно реагируютъ на токъ (но только перемѣнный). Такимъ образомъ самоиндукція проволокъ при перемѣнныхъ токахъ играетъ такую же важную роль, какъ обыкновенное омическое сопротивленіе при токахъ постоянныхъ. Поэтому были выработаны методы и приборы, позволяющіе опредѣлять самоиндукцію и выражать ее въ единицахъ самоиндукціи—генри—такъ же легко и удобно, какъ выражаютъ сопротивленіе въ омахъ. Какъ для сопротивленія имѣется нормальный омъ или вывѣренныя сопротивленія, съ которыми сравниваютъ измѣряемое сопротивленіе, такъ и для измѣренія самоиндукціи имѣется эталонъ самоиндукціи, о которомъ уже говорилось на стр. 258, и который былъ уже изображенъ. Проще всего можно сравнить неизвѣстный коэффиціентъ самоиндукціи съ эталономъ при помощи того же мостика Уитстона, только соединеннаго съ источникомъ перемѣннаго тока. На черт. 236 представлена схема включенія. Источникъ перемѣннаго тока служитъ генераторомъ тока, налѣво въ X проводъ, коэффиціентъ самоиндукціи котораго желаютъ измѣрить, и обыкновенный ящикъ сопротивленій w, направо эталонъ самоиндукціи (напр. 1 генри). Въ мостикъ включенъ телефонъ T. Передвигаютъ контактъ D по прямолинейно натянутой проволокѣ, пока звукъ въ телефонѣ не будетъ возможно болѣе слабымъ. Затѣмъ включаютъ сопротивленія изъ w и передвигаютъ опять контактъ D, пока не получится ясный минимумъ звука. Тогда искомый коэффиціентъ самоиндукціи въ X будетъ относиться къ извѣстному коэффиціенту эталона, какъ длина отрѣзка проволоки a къ b. Вмѣстѣ съ тѣмъ сопротивленіе для перемѣннаго тока (кажущееся сопротивленіе) въ вѣтви AC относится къ сопротивленію вѣтви CB такъ же, какъ относятся эти длины. Такъ что, измѣривъ передъ этимъ или послѣ обыкновенное сопротивленіе AC при постоянномъ токѣ, можно также установить увеличеніе сопротивленія катушки при перемѣнномъ токѣ въ сравненіи съ сопротивленіемъ постоянному току.

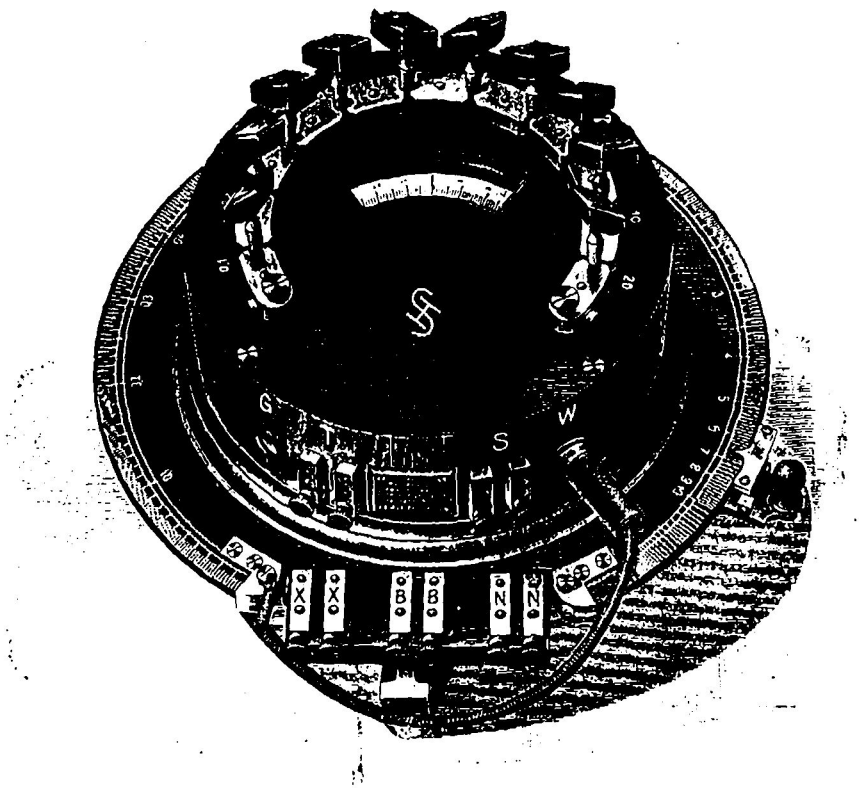
Черт. 236.



Приборъ, служащій для этихъ измѣреній, построенный фирмой Сименсъ и Гальске, изображенъ на черт. 237. Онъ устроенъ такъ же, какъ универсальный гальваноскопъ. Туго натянутая проволока кладется въ видѣ круга въ жолобокъ на шиферной доскѣ, снабженной

дѣленіями. Вдоль этой круговой проволоки можетъ передвигаться контактъ. На доскѣ прикрѣпленъ точный амперметръ; на черт. видна его шкала. Магазинъ сопротивленій *w* расположенъ, какъ показываютъ штепсели, по кругу вокругъ амперметра. При измѣреніи самоиндукціи и кажущагося сопротивленія катушки, ее присоединяютъ къ зажимамъ *XX*, которые видны внизу. Источникъ перемѣннаго тока, который будетъ ниже описанъ, соединяется съ зажимами *S*. Въ *N* присоединяется эталонъ самоиндукціи, въ *T*—телефонъ, а имѣющійся при приборѣ штепсель вставляется въ отверстіе *W*. Измѣреніе состоитъ въ

Черт. 237.

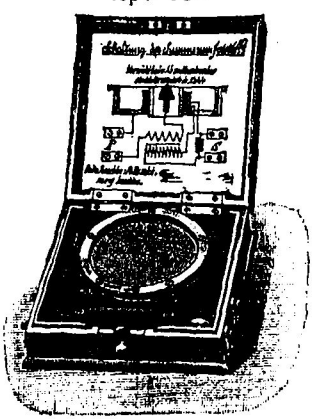


томъ, что поочередно переставляютъ контактъ и вынимаютъ сопротивленія изъ ящика до тѣхъ поръ, пока не получится ясный минимумъ звука въ телефонѣ. Отношеніе длинъ проволоки, которое отсчитывается прямо на шиферной доскѣ, даетъ отношеніе искомаго коэффиціента самоиндукціи къ извѣстному коэффиціенту эталона. Чтобы установить кажущееся увеличеніе сопротивленія, надо узнать еще обыкновенное сопротивленіе при постоянномъ токѣ. Для этой цѣли вставляютъ штепсель въ отверстіе *G*; этимъ включаютъ въ цѣпь амперметръ (который совсѣмъ не употреблялся при измѣреніи коэффи-

ціента самоиндукціи); къ зажимамъ B присоединяютъ гальваническій элементъ; далѣе поступаютъ точно такъ же, какъ при измѣреніяхъ универсальнымъ гальванометромъ.

Обыкновенный небольшой индукціонный аппаратъ съ молоточкомъ Нэфа не можетъ служить источникомъ перемѣннаго тока для этого прибора: токъ въ его вторичной катушкѣ, какъ мы знаемъ (стр. 276), не является правильнымъ періодическимъ, между тѣмъ телефонъ въ выше описанномъ приборѣ даетъ ясный минимумъ звука только при правильныхъ періодическихъ токахъ. Но можно замѣнить молоточекъ Нэфа маленькимъ приборомъ, изображеннымъ на черт. 238, который называется зуммеромъ. Посредствомъ колеблющейся телефонной мембраны въ этомъ приборѣ производятся правильныя періодическія колебанія тока въ его первичной цѣпи, а вслѣдствіе этого и во вторичной обмоткѣ, находящейся подъ индуктивнымъ дѣйствіемъ первой, возникаютъ правильные періодическіе индукціонные токи. На схемѣ, имѣющейся на крышкѣ ящика, изображенъ способъ включеній. При P вводится постоянный токъ въ 4 вольта, при S отводится перемѣнный токъ. Такимъ способомъ получаютъ перемѣнный токъ съ прибл. 550 періодами въ секунду. Коэффиціентъ самоиндукціи такъ же, какъ и увеличеніе сопротивленія, зависятъ въ значительной степени отъ періода перемѣннаго тока. При быстрыхъ перемѣнахъ тока они больше, чѣмъ при медленныхъ. Поэтому измѣреніе этихъ величинъ въ какомъ-нибудь приборѣ нужно производить по возможности при тѣхъ періодахъ, для которыхъ этотъ приборъ предназначается. Чтобы получать отъ источника перемѣннаго тока числа перемѣнъ еще большія, до 6000 въ секунду, при условіи правильной періодичности, Сименсъ и Гальске сконструировали машину для токовъ большой частоты.

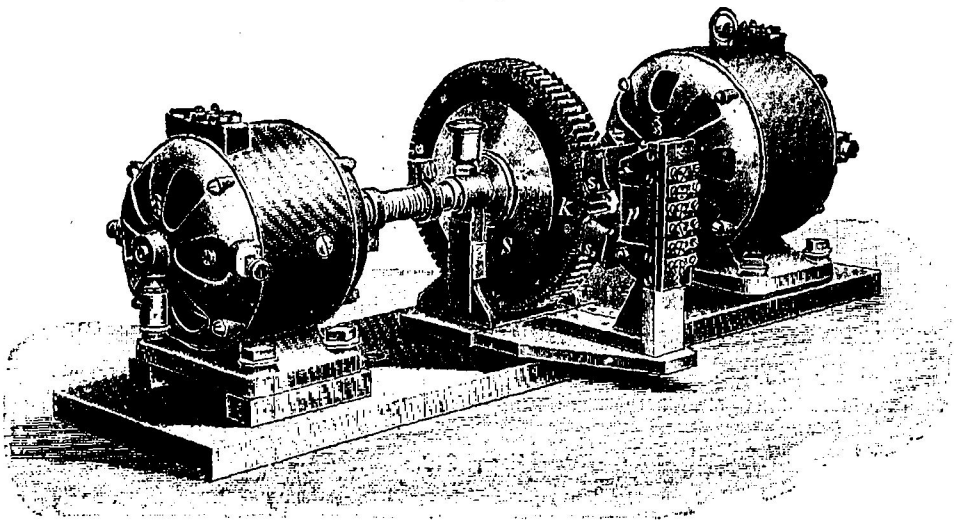
Черт. 238.



Средняя часть черт. 239 представляетъ какъ разъ эту машину; аппараты справа и слѣва—два электромотора, служащіе для вращенія этой машины. Самъ аппаратъ для полученія токовъ большой частоты состоитъ изъ зубчатаго колеса S, въ 100 зубцовъ, которое составлено изъ многихъ сотенъ тонкихъ желѣзныхъ пластинокъ, изолированныхъ другъ отъ друга и скрѣпленныхъ эбонитовымъ кругомъ k. Это колесо вращается передъ полюсами подковообразнаго магнита, намагничиваемаго катушкой p. Сами полюсы снабжены двумя обмотками s_1 и s_2; въ нихъ-то и возбуждается токъ большой частоты. А именно, вслѣдствіе быстраго приближенія и удаленія зубцовъ магни-

тизмъ полюсовъ испытываетъ безпрерывныя колебанія, которыя индуктируютъ въ s_1 и s_2 правильно періодическій перемѣнный токъ. Такимъ образомъ при одномъ поворотѣ диска получаютъ 100 періодовъ, а когда электромоторы сообщатъ диску скорость въ 35—60 оборотовъ въ секунду, чего можно достичь, то получится перемѣнный токъ отъ 3500—6000 періодовъ въ секунду. Для того же, чтобы колебанія

Черт. 239.



магнитизма въ электромагнитѣ, индуктирующія и на катушку p, не вызывали въ ней перемѣнныхъ токовъ, въ цѣпь, приводящую къ ней токъ, включается реактивная катушка (стр. 282), которая ослабляетъ до незамѣтности эти возникающіе перемѣнные токи. Машина, построенная на этомъ же принципѣ, меньшихъ размѣровъ, болѣе дешевая, даетъ перемѣнный токъ отъ 1000 до 2000 періодовъ въ секунду.

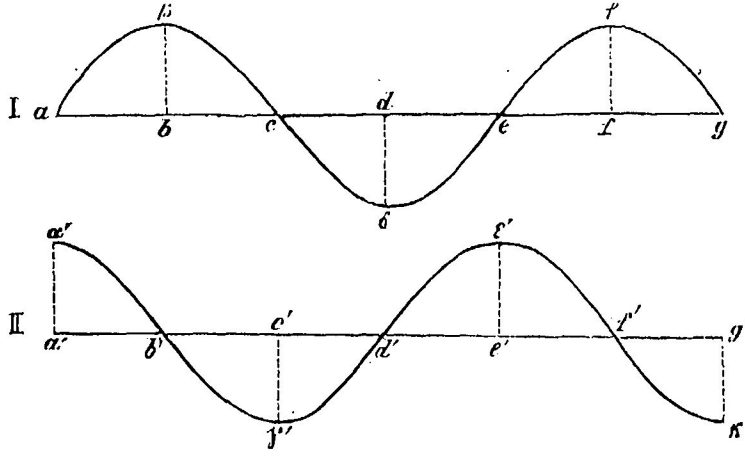
Итакъ, посредствомъ этихъ тщательно изготовленныхъ приборовъ возможно въ очень короткое время опредѣлить коэффиціенты самоиндукціи катушекъ,—задача, рѣшеніе которой въ прежнее время въ лабораторной практикѣ считалось чрезвычайно сложнымъ и важнымъ дѣломъ.

Вернемся теперь къ разсмотрѣнію свойствъ перемѣннаго тока. Мы уже нашли рядъ значительныхъ отличій въ дѣйствіи перемѣннаго и постояннаго токовъ. Но эти различія окажутся еще бо́льшими, если мы разсмотримъ одновременно два тока, напримѣръ развѣтвимъ перемѣнный токъ по двумъ проводникамъ. Два различныхъ постоянныхъ тока отличаются другъ отъ друга только силой тока и направленіемъ его. Если пропустить два такихъ постоянныхъ тока одновре-

менно по одной и той же проволокѣ, то сила тока въ проволокѣ будетъ равна суммѣ или разности обѣихъ отдѣльныхъ силъ тока. Совсѣмъ иначе обстоитъ дѣло съ перемѣнными токами. Два различныхъ перемѣнныхъ тока могутъ различаться трояко. Во-первыхъ, сила (дѣйствующая) тока какъ въ постоянныхъ, такъ и перемѣнныхъ токахъ, можетъ быть различна въ обоихъ. Во-вторыхъ, періодъ можетъ быть въ нихъ различенъ: такъ напр., одинъ токъ можетъ имѣть періодъ въ $^1/_{100}$ сек., а другой въ $^1/_{250}$ сек. Но если даже періоды обоихъ перемѣнныхъ токовъ равны, то все-же эти токи могутъ отличаться между собой тѣмъ, что они не одновременно достигаютъ своей наибольшей величины, а также и неодновременно проходятъ черезъ нуль и неодновременно измѣняютъ свое направленіе. Это различіе опредѣляютъ слѣдующими словами: два перемѣнныхъ тока могутъ имѣть различныя фазы (стр. 275).

Если, напр., въ приборѣ, описанномъ нами на стр. 250, вообразить себѣ кромѣ одной пары катушекъ R R', еще двѣ другихъ катушки, соединенныхъ другъ съ другомъ и расположенныхъ на той же оси, но такъ, чтобы обѣ пары катушекъ были бы перпендикулярны одна къ другой, то при вращеніи оси съ катушками одна пара будетъ находиться въ максимумѣ индукціи, въ то время, когда другая совер-

Черт. 240.

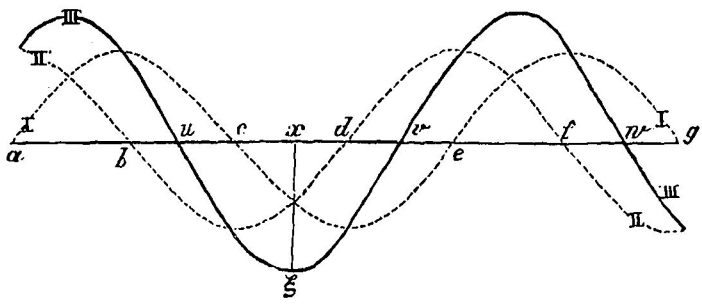


шенно не будетъ подвержена индукціи, и обратно. Токи въ обѣихъ парахъ катушекъ будутъ имѣть тотъ же періодъ, но разность фазъ ихъ будетъ равна 90°. Два такихъ перемѣнныхъ тока одинаковаго періода, но съ разностію фазъ, можно легко изобразить на чертежѣ. На черт. 240 показаны два перемѣнныхъ тока, фазы которыхъ различаются на 90°. Въ точкахъ a и a', въ одинъ и тотъ же моментъ, сила тока въ I равна 0, а во II — наибольшая, равная $a'a'$. Въ точ-

кахъ же b и b' наоборотъ: въ I—наибольшая сила тока $b\beta$, во II—сила тока равна 0. Въ точкахъ C' и C опять въ I—сила тока равна 0, а во II—наибольшая сила тока $c'\gamma'$, но уже въ обратную сторону и т. д.

Если мы представимъ себѣ, что оба тока проходятъ одновременно по одной и той же внѣшней проволокѣ, то силы тока въ каждый моментъ складываются. На черт. 241 обѣ прежнія кривыя I и II обозначены пунктиромъ, а кривая III, обозначенная толстой чертою, даетъ сумму силъ токовъ въ каждый моментъ и представляетъ собою результирующую силу обоихъ перемѣнныхъ токовъ. Изъ этого чертежа видно, прежде всего, что наибольшая сила результирующаго тока, хотя и больше наибольшей силы каждаго перемѣннаго тока въ отдѣльности, но меньше суммы обоихъ токовъ. Періодъ же результирующаго тока тотъ же, что и обоихъ перемѣнныхъ токовъ (между u и w то же разстояніе, какъ и между a и e или между b и f). Но фаза результирующаго отличается отъ фазъ обоихъ составляющихъ его пе-

Черт. 241.



ремѣнныхъ токовъ. Въ то время, какъ кривая II проходитъ черезъ нуль и идетъ внизъ въ точкѣ b, а кривая I въ точкѣ c, результирующая III проходитъ черезъ нуль между ними въ точкѣ u. Разность фазъ ея относительно I равна, слѣдовательно, не нулю—иначе результирующая проходила бы черезъ нуль въ точкѣ c, а также и не 90° (она проходила бы въ этомъ случаѣ черезъ нуль въ точкѣ b), но лежитъ между 0° и 90°. Въ нашемъ примѣрѣ она равна 45°. Изъ всего вышесказаннаго можно вывести слѣдующее общее заключеніе. Если два перемѣнныхъ тока одинаковаго періода, но съ различными фазами, проходятъ по проволокѣ, то результирующій перемѣнный токъ находится въ другой фазѣ, чѣмъ каждый изъ составляющихъ его перемѣнныхъ токовъ; происходитъ, какъ принято выражаться, смѣщеніе фазы.

Фаза или вѣрнѣе разность фазъ является при разсмотрѣніи перемѣнныхъ токовъ новымъ элементомъ, непріятно усложняющимъ это разсмотрѣніе. Эта разность фазъ вызываетъ различныя слѣдствія, по-

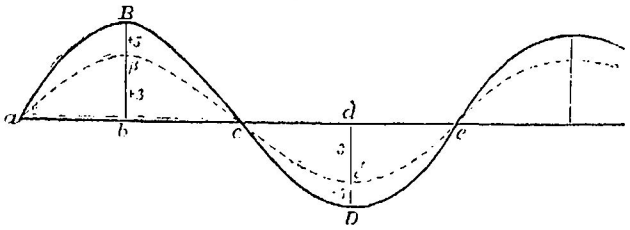
чему свойства перемѣнныхъ токовъ и являются совершенно иными, чѣмъ свойства постоянныхъ.

Если періодическая электродвижущая сила дѣйствуетъ на проводникъ, обладающій значительнымъ коэффиціентомъ самоиндукціи, напримѣръ, на обыкновенную или реактивную катушку, то токъ въ этомъ проводникѣ долженъ имѣть другую фазу, чѣмъ электродвижущая сила; направленіе тока измѣняется въ немъ не въ тотъ моментъ, въ какой измѣняется направленіе электродвижущей силы. Дѣйствительно, помимо данной электродвижущей силы дѣйствуетъ на проводникъ еще электродвижущая сила экстратока—самоиндукція; она наибольшая въ тотъ моментъ, когда сила тока проходитъ черезъ нуль, мѣняя свое направленіе; она находится, слѣдовательно, въ другой фазѣ, чѣмъ внѣшняя электродвижущая сила, а потому и токъ, происходящій отъ взаимодѣйствія обѣихъ электродвижущихъ силъ, долженъ быть смѣщенъ по фазѣ относительно внѣшней электродвижущей силы, которая его вызываетъ.

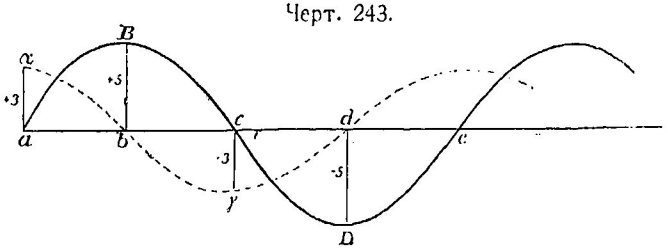
Изъ этого вытекаетъ въ высшей степени важное и на первый взглядъ непонятное слѣдствіе относительно мощности перемѣннаго тока, количества развиваемыхъ имъ ваттовъ. Мы знаемъ, что въ случаѣ постояннаго тока (стр. 128) мощность всегда равна произведенію изъ электродвижущей силы (въ вольтахъ) и силы тока (въ амперахъ). Это произведеніе непосредственно даетъ число ваттовъ, развиваемыхъ токомъ. При перемѣнномъ токѣ это произведеніе въ каждый моментъ имѣетъ иную величину, такъ какъ и напряженіе и сила тока періодически измѣняются. Такимъ образомъ надо опять сказать, что, въ случаѣ перемѣннаго тока дѣйствительная мощность равна средней изъ всѣхъ мощностей, какими токъ обладаетъ въ теченіе половины періода. Если между силою тока и электродвижущею силою не существуетъ никакой разности фазъ, т. е. если цѣпь тока безиндукціонна, то средняя мощность въ ваттахъ равна произведенію измѣренной (дѣйствующей) силы тока на измѣренную (дѣйствующую) разность напряженій. Въ этомъ случаѣ мы имѣемъ, слѣдовательно, то же, что и при постоянномъ токѣ. Но если между токомъ и напряженіемъ существуетъ нѣкоторая разность фазъ, то число ваттовъ всегда меньше этого произведенія. Для того, чтобы понять это, разсмотримъ два крайнихъ случая, изъ которыхъ въ одномъ разность фазъ между токомъ и напряженіемъ равна 0 (т. е. нѣтъ совсѣмъ разности фазъ), въ другомъ—она равна 90°. На черт. 242 и 243 сплошная кривая обозначаетъ силу тока, пунктирная—напряженіе, причемъ силѣ тока и напряженію мы припишемъ нѣкоторыя опредѣленныя величины. На черт. 242 токъ и напряженіе имѣютъ равныя фазы, оба начинаются у a съ нуля, одновременно достигаютъ максимальнаго положительнаго значенія у b ($bB = +3$ для напряженія, $bB = +5$ для тока), затѣмъ пада-

ютъ, одновременно проходятъ черезъ нуль у c, получаютъ отрицательное значеніе, опять одновременно достигаютъ отрицательнаго максимума у d (именно $db = -3$ для напряженія, $dD = -5$ для силы

Черт. 242.



Черт. 243.



тока) и къ концу одного періода опять одновременно проходятъ черезъ нуль у e. Число ваттовъ, развиваемыхъ токомъ, есть средняя величина произведенія вольтовъ на амперы. Нѣкоторыя отдѣльныя значенія этого произведенія таковы:

Въ моментъ a произведеніе равно нулю, въ моментъ b оно равно 15 ($+3 \times +5 = 15$), въ c—нуль, въ d—опять 15 ($-3 \times -5 = 15$), въ e нуль. Число ваттовъ въ теченіи полуперіода ac такое же, какъ и въ теченіи ce. Такимъ образомъ мощность имѣетъ нѣкоторое среднее значеніе между 0 и 15. Допустимъ, что она равна $7\frac{1}{2}$ ваттамъ.

Дѣло обстоитъ совершенно иначе въ случаѣ, представленномъ на черт. 243, гдѣ разность фазъ между токомъ и напряженіемъ равна 90°. Здѣсь въ моментъ a сила тока равна нулю, а напряженіе равно $a\,x = +3$, такъ что произведеніе равно нулю; въ моментъ b сила тока равна $+5$, но напряженіе равно нулю и произведеніе опять равно нулю; въ c произведеніе точно такъ же нуль, потому что сила тока равна нулю, а въ d оно нуль потому, что напряженіе нуль. Въ промежуточныхъ точкахъ ватты не равны нулю, но поперемѣнно имѣютъ положительныя и отрицательныя значенія, равныя по абсолютной величинѣ. Между a и b сила тока и напряженіе оба положительны и ихъ произведеніе также будетъ положительно; но между b и c токъ положителенъ, а напряженіе отрицательно и ихъ произведеніе также будетъ отрицательно и по абсолютной величинѣ такое же, какъ между a и

b. Изъ этого слѣдуетъ, что полная мощность, развиваемая токомъ, будетъ равна нулю.

Мощность перемѣннаго тока, отличающагося по фазѣ на 90° отъ возбуждающей его внѣшней разности напряженій, равна нулю, т. е. токъ этотъ не несетъ съ собой никакой энергіи, не развиваетъ ваттовъ. Такой токъ называютъ по этой причинѣ безваттнымъ токомъ.

Въ дѣйствительности вполнѣ безваттный токъ получить невозможно; можно однако весьма близко подойти къ тому случаю, когда разность фазъ между токомъ и напряженіемъ равна 90°.

Въ томъ случаѣ, когда разность фазъ между токомъ и напряженіемъ не 0° и не 90°, но имѣетъ нѣкоторое промежуточное значеніе, мощность перемѣннаго тока зависитъ отъ этой разности фазъ. Число ваттовъ, развиваемыхъ подобнымъ токомъ, равно произведенію напряженія (въ вольтахъ) на силу тока (въ амперахъ) и еще умноженному на нѣкоторое число, лежащее между 0 и 1, на нѣкоторую правильную дробь, величина которой зависитъ отъ разности фазъ. Множитель этотъ называется коэффиціентомъ мощности. (Онъ равенъ косинусу разности фазъ). Коэффиціентъ мощности равенъ 1 при разности фазъ равной 0^0 и равенъ 0 при разности фазъ въ 90^0; вообще:

Мощность перемѣннаго тока = Напряженіе × Сила тока × коэффиціентъ мощности.

Получается такое впечатлѣніе, да такъ оно и есть на самомъ дѣлѣ, будто для вычисленія мощности перемѣннаго тока мы беремъ не всю наблюдаемую силу тока, а часть ея; мы умножаемъ наблюдаемую силу на коэффиціентъ мощности (на правильную дробь). Эту дробь, эту часть наблюдаемой силы тока называютъ силой полезнаго (ваттнаго) тока. Такимъ образомъ сила полезнаго тока = дѣйствительной силѣ × на коэффиціентъ мощности; а

Мощность перемѣннаго тока = Напряженіе × Сила полезнаго тока.

Если проводникъ, мощность въ которомъ мы желаемъ измѣрить, безиндукціонный, напримѣръ прямая натянутая проволока, лампа накаливанія или дуговая лампа, то коэффиціентъ мощности весьма близокъ къ 1. Но если цѣпь обладаетъ значительной самоиндукціей, если она, напримѣръ, состоитъ изъ реактивной катушки или какого-либо иного электромагнита, или изъ электродвигателя, т. е. если сопротивленіе индуктивное, то коэффиціентъ мощности можетъ быть очень близокъ къ 0.

Изъ этихъ соображеній видно, что нельзя опредѣлить мощность перемѣннаго тока, измѣривъ напряженіе и силу тока въ отдѣльности; напротивъ, надо пытаться измѣрить непосредственно мощность тока.

Въ настоящее время это возможно; приборы, осуществляющіе это измѣреніе, называются ваттметрами. Они позволяютъ, слѣдовательно, измѣрять непосредственно произведеніе изъ силы тока, напряженія и коэффиціента мощности такимъ, какимъ это произведеніе является въ какой-либо данной цѣпи.

И для этихъ измѣреній примѣняется электродинамометръ, устроенный слѣдующимъ образомъ. Токъ, мощность котораго хотятъ измѣрить, пропускаютъ прямо черезъ неподвижную катушку. Подвижную же катушку включаютъ параллельно проводнику, мощность въ которомъ желаютъ измѣрить; она служитъ его отвѣтвленіемъ. Въ такомъ случаѣ, какъ мы знаемъ изъ предыдущаго, въ подвижной катушкѣ проходитъ токъ, пропорціональный измѣряемому напряженію. Если предположить, что подвижная катушка сама не производитъ смѣщенія фазъ (мы будемъ сначала считать это условіе выполненнымъ), то отклоненіе ея какъ разъ пропорціонально мощности, т. е. произведенію изъ силы тока, напряженія и коэффиціента мощности.

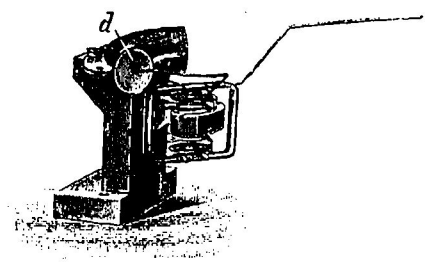
Вообще же говоря, подвижная катушка не безиндукціонная; кромѣ того, когда она отклоняется и принимаетъ, слѣдовательно, различныя положенія относительно неподвижной катушки, обѣ катушки дѣйствуютъ различнымъ образомъ одна на другую, и индукціонное сопротивленіе подвижной катушки является еще и непостояннымъ.

Черт. 244.

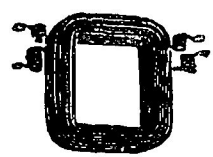


Несмотря на эти трудности фирмѣ Сименсъ и Гальске удалось впервые построить на этомъ принципѣ ваттметръ, который позволяетъ отсчитывать число ваттовъ непосредственно по указателю, и который даетъ такія точныя показанія, что вполнѣ заслуживаетъ названія: точный ваттметръ. По внѣшнему виду точный ваттметръ не отличается существенно отъ изображенныхъ раньше приборовъ для измѣренія силы тока и напряженія. Внутри находится прежде всего подвижная катушка изъ тонкой проволоки. Она снабжена остріями на внутренней сторонѣ, одно наверху, другое внизу (черт. 244); посредствомъ ихъ она вращается на сапфирахъ, которые, какъ показываетъ черт. 245, прикрѣплены къ станинѣ. На той же самой станинѣ укрѣплена наверху трубка d для воздушнаго тормаза.

Черт. 245.

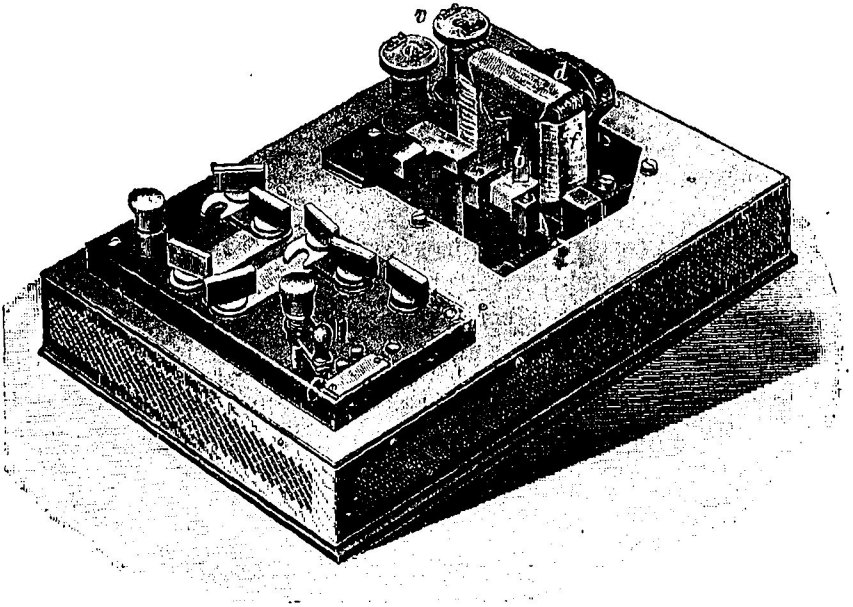


Черт. 246.



Неподвижная катушка состоитъ или изъ проволокъ, или, для сильныхъ токовъ, изъ изолированныхъ жестяныхъ полосокъ. Внутренность ваттметра изображаетъ черт. 247. Видна неподвижная катушка *f* и внутри нея подвижная катушка *b*; сзади на этой станинѣ воздушный успокоитель *d*. Подвижная катушка, состоящая изъ нѣсколькихъ сотъ витковъ тонкой проволоки, обладаетъ естественно значительной самоиндукціей (больше 5 миллигенри) и должна бы произвести значительный сдвигъ фазъ. Но величину этого сдвига можно сильно уменьшить, вводя въ отвѣтвленіе кромѣ подвижной катушки еще и очень большое со-

Черт. 247.



противленіе безъ замѣтной самоиндукціи. Въ самомъ дѣлѣ, такое большое безиндукціонное сопротивленіе вызываетъ сильное ослабленіе тока въ отвѣтвленіи, экстратоки поэтому тоже ослабляются, и, слѣдовательно, разность фазъ относительно напряженія на концахъ такова, что ею можно пренебречь. Въ то время, какъ сама катушка обладаетъ въ этихъ приборахъ сопротивленіемъ въ 100 омовъ, вмѣстѣ съ добавочнымъ сопротивленіемъ она имѣетъ 1000 омовъ. На черт. 247 видно добавочное сопротивленіе въ видѣ двухъ катушекъ *v*. При такихъ условіяхъ отклоненіе подвижной катушки даетъ непосредственно мощность тока въ изслѣдуемой части цѣпи.

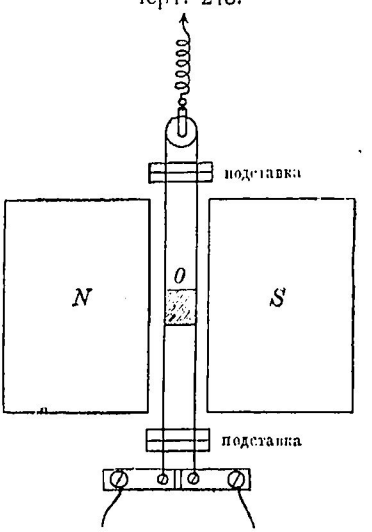
Вооружившись всѣми тремя приборами для перемѣнныхъ токовъ—амперметромъ, вольтметромъ и ваттметромъ, можно, очевидно, экспериментальнымъ путемъ измѣрить и коэффиціентъ мощности для каждаго случая. Опредѣляютъ съ одной стороны дѣйствующій токъ и дѣйствующее напряженіе, съ другой стороны дѣйствительное число ват-

товъ. Послѣдняя величина, дѣленная на произведеніе изъ силы тока и напряженія, будетъ коэффиціентомъ мощности даннаго тока. Слѣдовательно:

$$\text{коэфф. мощности} = \frac{\text{число ваттовъ}}{\text{число амперовъ} \times \text{число вольтовъ}}.$$

Однако, для болѣе точнаго изслѣдованія перемѣнныхъ токовъ недостаточно знать только дѣйствующія силу тока и напряженіе, а затѣмъ мощность, измѣренную ваттметромъ, и коэффиціентъ мощности. При точныхъ изслѣдованіяхъ важно знать, дѣйствительно ли перемѣнный токъ, имѣющійся у насъ, простой періодическій, какъ это мы вообще принимали до сихъ поръ, или же сила тока или напряженіе обнаруживаютъ отклоненія отъ этой правильной формы. Короче говоря, нужно знать не только дѣйствующія (среднія) значенія силы тока и напряженія, но и всю послѣдовательность ихъ измѣненій. Подобнаго рода изслѣдованія становятся все болѣе и болѣе важными въ послѣдніе годы; приборъ, позволяющій легко производить ихъ, — осциллографъ, изготовляется въ Германіи фирмой Сименсъ и Гальске. Здѣсь будетъ изложено только самое главное относительно этого интереснаго и важнаго прибора. Между полюсами магнита NS (черт. 248) натянута подвижная рамка, такъ назыв. измѣрительный шлейфъ. Она состоитъ изъ чрезвычайно тонкой проволоки (только въ сотую долю миллиметра толщиной), которая укрѣпляется внизу въ зажимахъ, проводящихъ токъ, проходитъ черезъ двѣ подставки и перекидывается чрезъ подвижной блокъ, укрѣпленный на пружинѣ. Къ проволокамъ прикрѣпляется маленькое зеркальце O съ поверхностью меньше 1 кв. мм. Вся проволока вмѣстѣ съ зеркаломъ вѣситъ меньше $^1/_2$ мгр., и обладаетъ, слѣдовательно, такой малой инерціей, что можетъ слѣдовать непосредственно за быстро мѣняющимися воздѣйствіями. Вся проволока вмѣстѣ съ приспособленіемъ для подтягиванія ея находится въ трубкѣ; трубка посредствомъ винтовъ выравнивается горизонтально и вертикально. Черезъ проволоку проходитъ изслѣдуемый перемѣнный токъ (или его отвѣтвленіе). Подъ вліяніемъ магнитнаго поля одна половина проволоки передвинется по правилу лѣвой руки (стр. 205) напр. впередъ, другая назадъ, плоскость проволоки будетъ поворачиваться вмѣстѣ съ зеркальцемъ. Благодаря легкости системы это вра-

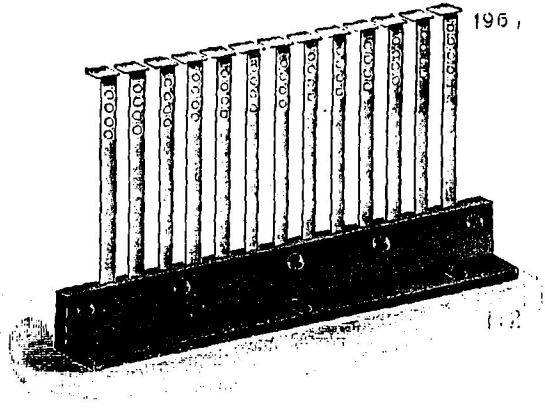
Черт. 248.



щеніе слѣдуетъ непосредственно за мгновенными измѣненіями въ силѣ проходящаго тока. Лучъ свѣта, падающій на зеркальце и отражающійся отъ него, пишетъ при этомъ кривую на вращающейся фотографической пленкѣ; эта кривая даетъ непосредственно форму перемѣннаго тока, проходящаго по проволокѣ. Такимъ способомъ получаютъ кривую тока, или кривую напряженія, если подвижная рамка помѣщается въ отвѣтвленіи, прямо на пленкѣ послѣ ея проявленія. Конечно, къ прибору полагается еще источникъ освѣщенія—обыкновенно дуговая лампа, затѣмъ барабанъ, на который накладывается пленка, съ двигателемъ, приводящимъ его во вращеніе, и другіе вспомогательные аппараты, такъ что полный осциллографъ—приборъ довольно сложный и дорогой.

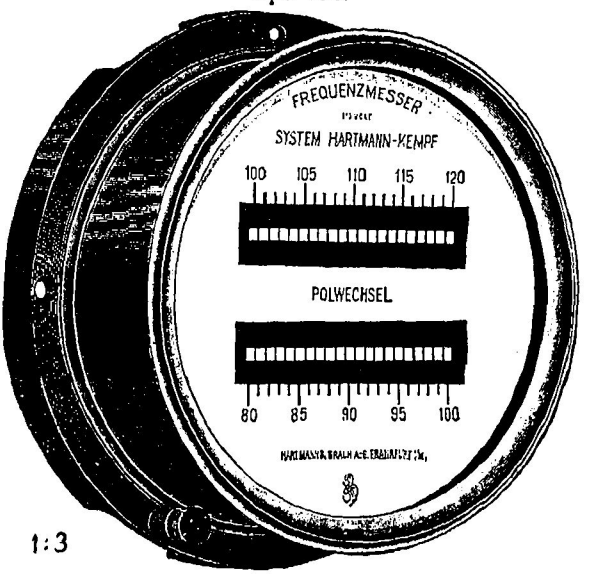
Для точнаго знанія перемѣннаго тока необходимо еще, наконецъ, измѣреніе его періода. На практикѣ перемѣнные токи доставляются обыкновенно вращающимися машинами; періодъ зависитъ тогда отъ числа оборотовъ машины и вполнѣ опредѣленъ, если это число извѣстно. Однако число оборотовъ, вообще говоря, не постоянно, но измѣняется отъ различныхъ причинъ; поэтому желательно имѣть возможность производить непосредственное измѣреніе періода перемѣннаго тока въ каждый данный моментъ. Приборы, служащіе для этого, строятся самыхъ различныхъ типовъ; мы приведемъ одинъ изъ нихъ, который позволяетъ однимъ взглядомъ съ большой точностью измѣрять даже небольшія отклоненія даннаго тока отъ нормальнаго періода; это именно измѣритель числа періодовъ, частотомѣръ фирмы Гартманъ и Браунъ во Франкфуртѣ-на-Майнѣ. Дѣйствіе этого прибора основано на акустическомъ принципѣ. Онъ состоитъ изъ ряда настроенныхъ стальныхъ язычковъ, которые закрѣплены съ одного конца и могутъ свободно колебаться на другомъ. Черт. 249 изображаетъ наборъ такихъ язычковъ, изъ которыхъ каждый снабженъ наверху бѣлой пластинкой. Каждый язычокъ, какимъ бы способомъ ни былъ приведенъ въ качаніе, имѣетъ свое вполнѣ опредѣленное число колебаній (свою частоту) соотвѣтственно своей длинѣ, ширинѣ и толщинѣ. Въ данномъ случаѣ язычки приводятся въ колебаніе измѣряемымъ перемѣннымъ токомъ. Токъ проходитъ по обмоткѣ желѣзнаго сердечника, находящагося въ

Черт. 249.



приборѣ, и возбуждаетъ на его верхнемъ концѣ поочередно то сѣверный, то южный магнитизмъ. Такимъ образомъ въ продолженіе одного періода сердечникъ два раза сильно намагничивается, происходятъ 2 смѣны полюсовъ. Сердечникъ этотъ, намагничиваясь, притягиваетъ стальные язычки и отпускаетъ ихъ опять, когда размагничивается; такимъ образомъ онъ возбуждаетъ ихъ колебанія. На дѣлѣ же только тѣ язычки дѣйствительно будутъ совершать колебанія, частота которыхъ совпадаетъ съ числомъ перемѣнъ полюсовъ, производимыхъ токомъ, такъ какъ только для нихъ возбужденіе, производимое магнитомъ, имѣетъ тотъ же темпъ, какъ и ихъ собственныя колебанія; во всѣхъ же другихъ—возбужденіе мѣшаетъ собственнымъ колебаніямъ и тѣмъ больше, чѣмъ больше частота собственныхъ колебаній отличается отъ числа смѣнъ полюсовъ. Сильно колебаться будетъ, значитъ тотъ язычекъ, частота колебанія котораго совпадаетъ съ числомъ перемѣнъ полюсовъ. Колебанія такого язычка дѣлаются поэтому видимыми.

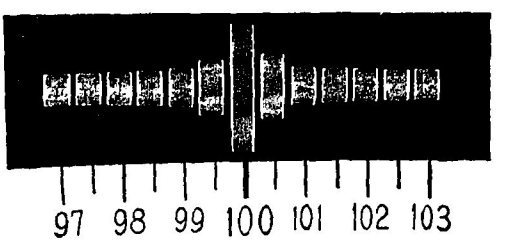
Черт. 250.



1:3

Черт. 250 изображаетъ такой измѣритель частоты съ 42 язычками, частота которыхъ возрастаетъ отъ 80 до 120 черезъ 1 колебаніе. Если частота перемѣнъ полюсовъ лежитъ между 2 цѣлыми числами, то приходятъ въ болѣе или менѣе сильныя колебанія 2 или 3 сосѣднихъ язычка, изъ величины колебанія которыхъ можно выразить частоту дробью. Черт. 251 показываетъ картину колебаній, когда частота около 100. Язычекъ 100 колеблется очень сильно, 99,5 и 100,5 умѣренно, но послѣдній немного сильнѣе. Точная частота будетъ соотвѣтствовать приблизительно 100,2 смѣнамъ полюсовъ, слѣдовательно въ нашемъ случаѣ она

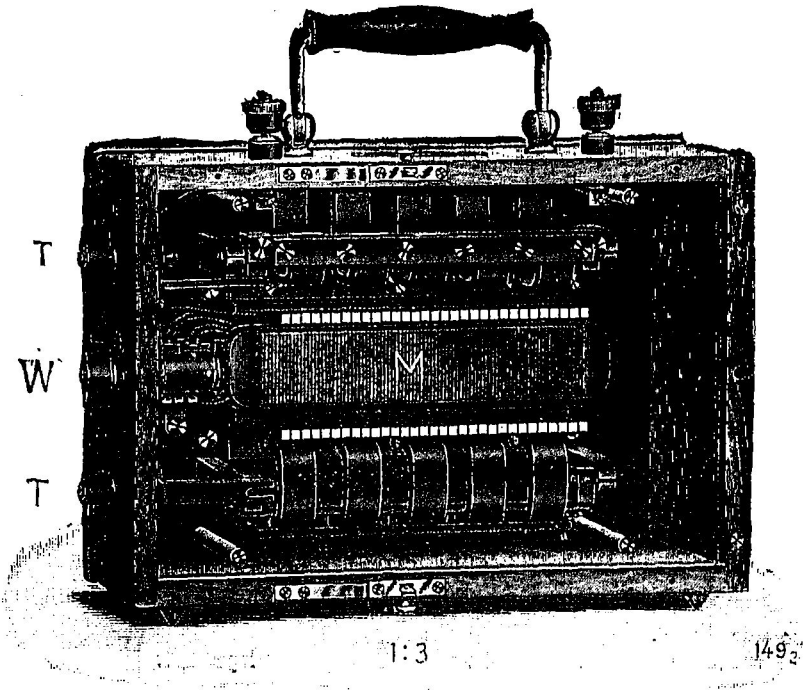
Черт. 251.



равна 50,1. Періодъ перемѣннаго тока—величина обратная его частотѣ, равняется $\frac{1}{50,1}$ секунды.

Внутренность такого частотомѣра, у котораго имѣются еще нѣкоторыя очень удобныя приспособленія, можно видѣть на переносномъ приборѣ, изображенномъ на черт. 252. Въ серединѣ находится электромагнитъ M, сверху и снизу отъ него по одному набору язычковъ (такой наборъ представленъ на черт. 249). Чтобы можно было примѣнять этотъ приборъ для токовъ различнаго напряженія между 50 и 250

Черт. 252.



вольтами, придѣлывается такъ называемый включатель витковъ W, который позволяетъ регулировать соотвѣтственнымъ образомъ число витковъ электромагнита M, проходимыхъ токомъ. Приборъ содержитъ 62 язычка; внизу идутъ язычки съ колебаніями отъ 45, напримѣръ, до 60 съ промежуткомъ въ полъ-колебанія, а наверху отъ 60 до 90 съ промежуткомъ въ 1 колебаніе. Можно также повысить вдвое предѣлъ измѣренія прибора посредствомъ переключателя T.

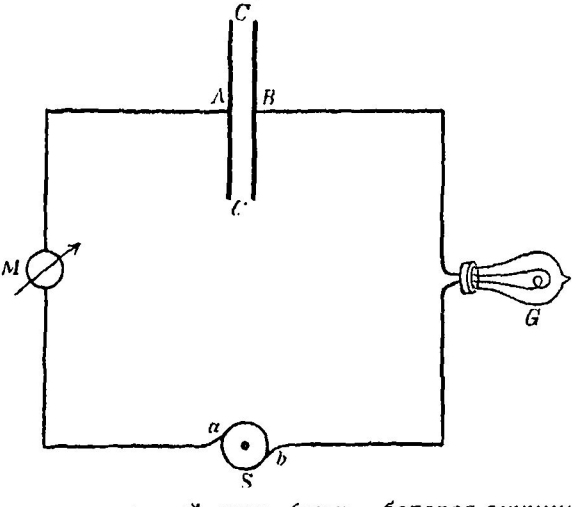
Вверху и внизу присоединяютъ нѣсколько постоянныхъ магнитовъ, которые можно вращать посредствомъ переключателя T. Если повернуть эти магниты такъ, чтобы одинъ полюсъ былъ обращенъ къ язычкамъ, то дѣйствіе магнита M на язычки (получающіе вслѣдствіе индукціи отъ M противоположный магнитизмъ) сильно ослабляется въ

томъ случаѣ, когда полюсы M тѣ же, что и постоянныхъ магнитовъ; это дѣйствіе очень усиливается, когда полюсы неодинаковы. Дѣло въ томъ, что въ первомъ случаѣ M и постоянные магниты противодѣйствуютъ другъ другу, во второмъ помогаютъ.

Вслѣдствіе этого язычки реагируютъ теперь главнымъ образомъ только на вторую смѣну полюсовъ, при которой поле усиливается, они колеблются теперь при томъ числѣ перемѣнъ полюсовъ, которое соотвѣтствуетъ двойному числу ихъ собственной частоты; такъ что язычекъ, который безъ включенія магнитовъ приходитъ въ сильныя колебанія при 60 перемѣнахъ полюса, теперь дѣлаетъ то же самое при 120. Такимъ образомъ предѣлъ измѣренія удваивается простымъ способомъ.

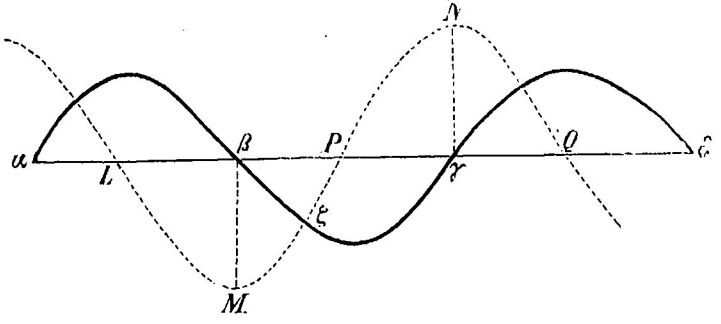
Все, что мы до сихъ поръ разсмотрѣли относительно перемѣнныхъ токовъ, показываетъ, что почти во всѣхъ отношеніяхъ явленіе перемѣннаго тока происходитъ иначе, чѣмъ тока постояннаго. Но еще болѣе поразительное различіе заключается въ томъ, что постоянные токи существуютъ, какъ извѣстно, только въ замкнутой цѣпи, между тѣмъ какъ перемѣнные токи проходятъ и по незамкнутымъ проводамъ и производятъ при этомъ извѣстныя дѣйствія. Что касается этого явленія, мы будемъ говорить только объ одномъ, но самомъ важномъ обстоятельствѣ, а именно предположимъ, что въ проводъ включенъ конденсаторъ. На черт. 253 C обозначаетъ конденсаторъ, объ обкладки котораго соединены съ полюсами источника тока S. Въ проводъ включена лампа накаливанія G и амперметръ M. Если источникъ тока доставляетъ постоянный токъ (напр., батарея аккумуляторовъ или динамомашина для постояннаго тока), то въ цѣпи тока не будетъ, амперметръ не будетъ отклоняться, лампочка не будетъ горѣть. Цѣпь прервана конденсаторомъ. Если же S источникъ перемѣннаго тока, напр. машина для перемѣнныхъ токовъ, а M — вышеописанный амперметръ для перемѣннаго тока, то послѣдній обнаруживаетъ извѣстное отклоненіе, несмотря на конденсаторъ, и лампочка горитъ. Такъ что перемѣнные токи проходятъ и въ незамкнутой, прерванной конденсаторомъ, цѣпи.

Черт. 253.



Въ первой половинѣ періода, когда полюсъ a положительный, A заряжается положительно, B отрицательно. Затѣмъ, когда направленіе полюсовъ измѣняется, B заряжается положительно, A отрицательно. По проволокѣ проходятъ слѣдовательно безпрерывно мѣняющіеся зарядные токи, которые дѣйствуютъ на амперметръ и на лампочку. Но въ то же время въ цѣпи идутъ разрядные токи конденсатора, и дѣйствительный токъ составляется изъ зарядныхъ и разрядныхъ токовъ. Можно сейчасъ же видѣть, что такіе разрядные токи существуютъ, а также и то, что они дѣйствуютъ. Когда A заряжено до максимума положительно, B отрицательно, то конденсаторъ обладаетъ опредѣленной наибольшей разностью напряженій въ направленіи $AMSGB$; при смѣнѣ зарядныхъ токовъ это напряженіе убываетъ, дѣлается нулемъ и повышается въ противоположномъ направленіи. Если сплошная кривая $\alpha\ \beta\ \gamma\ \delta$ на черт. 254 представляетъ измѣненіе тока такъ, какъ оно дѣйствительно происходитъ въ цѣпи, то на протяже-

Черт. 254.



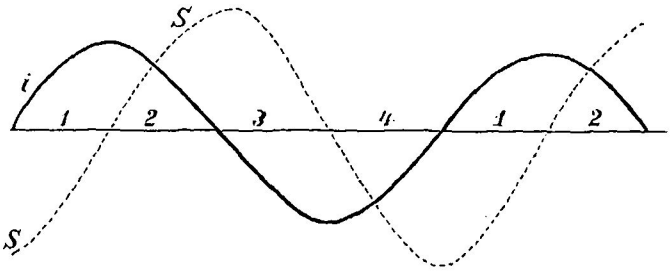
ніи всей первой части отъ α до β, одинъ зажимъ (черт. 253), напр. a, будетъ положительнымъ; такъ что пластинка A безпрерывно получаетъ положительныя количества электричества, сначала все быстрѣе (токъ возрастаетъ), потомъ все медленнѣе. Въ концѣ этого промежутка времени пластинка A всего сильнѣе заряжена положительно, конденсаторъ стремится разрядиться отъ A къ B черезъ ab. Слѣдовательно напряженіе конденсатора достигаетъ въ мѣстѣ β максимума не въ направленіи тока, а въ противоположномъ направленіи; оно представляется на черт. 254 линіей βM, проведенной внизъ. При перемѣнѣ тока отъ β черезъ ξ къ γ, a становится отрицательнымъ, вслѣдствіе этого къ пластинкѣ A конденсатора приводится отрицательное электричество, ея положительный зарядъ слѣдовательно уменьшается, она постепенно нейтрализуется, и къ концу этой половины періода при γ заряжается положительно B; напряженіе стремится вызвать токъ отъ B черезъ ab къ A, слѣдовательно въ направленіи существовавшаго сначала тока $\alpha\beta$; напряженіе достигаетъ слѣдовательно

наибольшей положительной величины $+N$. При L и P напряженіе равно нулю. Мы видимъ, что напряженіе конденсатора измѣняется съ тѣмъ же періодомъ, что и токъ, но между ними существуетъ разность фазъ, и именно разность фазъ въ 90°, такъ какъ максимумы напряженія совпадаютъ съ нулевыми значеніями тока и наоборотъ.

Отсюда сейчасъ же слѣдуетъ, что токъ долженъ обладать разностью фазъ по отношенію къ электродвижущей силѣ, даваемой источникомъ тока S (черт. 253). Токъ вызывается внѣшней электродвижущей силой и напряженіемъ конденсатора; по отношенію къ суммѣ ихъ обоихъ токъ не имѣетъ разности фазъ, онъ имѣетъ слѣдовательно разность фазъ по отношенію къ первой. Такимъ образомъ конденсаторъ такъ же, какъ и индукціонная катушка (стр. 288), вызываетъ смѣщеніе фазъ тока относительно внѣшней электродвижущей силы.

Но если сравнить, въ какомъ находятся отношеніи внѣшняя (періодическая) электродвижущая сила и электродвижущая сила экстратока индукціонной катушки съ одной стороны, а съ другой—напряженіе конденсатора, то при большомъ сходствѣ найдется и существенное отличіе. Для случая экстратока на черт. 255 кривая линія, обозначенная i, представляетъ проходящій по цѣпи періодическій токъ, между тѣмъ какъ пунктирная линія S изображаетъ электродвижущую силу экстратока индукціонной катушки въ этой цѣпи. Если раздѣлить цѣлый періодъ на 4 части, что обозначено на черт. числами 1, 2, 3 и 4, то можно видѣть, что въ первой и третьей четверти обѣ

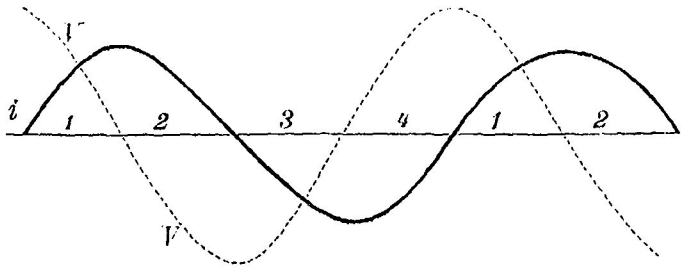
Черт. 255.



кривыя идутъ въ одинаковомъ направленіи (въ 1 кверху, въ 3 книзу), между тѣмъ какъ во второй и въ четвертой онѣ направлены противоположно. Обратно для конденсатора. На черт. 256 линія, обозначенная черезъ i, представляетъ опять токъ, а пунктирная линія V— напряженіе конденсатора. Онѣ имѣютъ во второй и четвертой четвертяхъ одинаковое, а въ первой и третьей противоположное направленіе. Отсюда видно, что катушка самоиндукціи и конденсаторъ оказываютъ противоположныя дѣйствія на сдвигъ фазъ. Въ то время какъ благодаря самоиндукціи токъ, какъ говорятъ, запаздываетъ сравнительно съ электродвижущей силой, благодаря емкости (конденсатору)

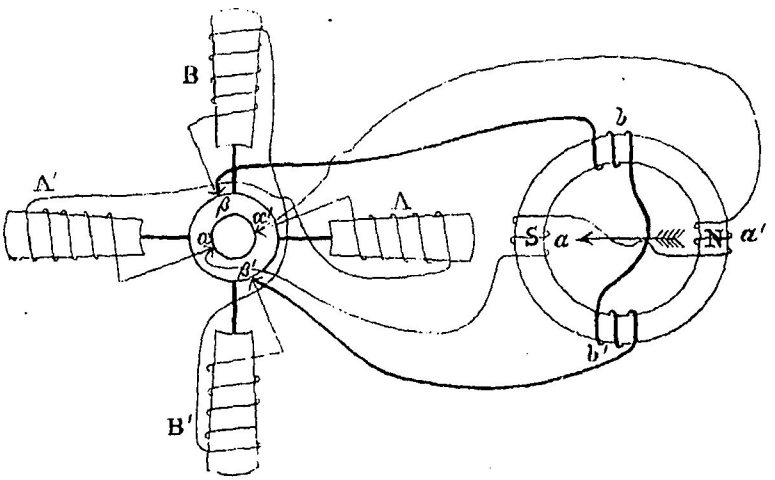
въ цѣпи онъ опережаетъ ее. Отсюда слѣдуетъ, что сдвигъ фазъ, возникшій въ цѣпи вслѣдствіе самоиндукціи, можно уничтожить, включивъ въ нее конденсаторъ. Цѣпь съ самоиндукціей и емкостью обладаетъ меньшимъ сдвигомъ фазъ, чѣмъ цѣпь только съ самоиндукціей или только съ емкостью; при извѣстныхъ обстоятельствахъ сдвига можетъ вовсе не быть.

Черт. 256.



Хотя существованіе разности фазъ и является обстоятельствомъ, непріятно усложняющимъ разсмотрѣніе вопросовъ, относящихся къ перемѣннымъ токамъ, но, съ другой стороны, токи эти получили очень большое практическое примѣненіе именно вслѣдствіе тѣхъ дѣйствій, которыя обусловливаются разностью фазъ между различными перемѣн-

Черт. 257.

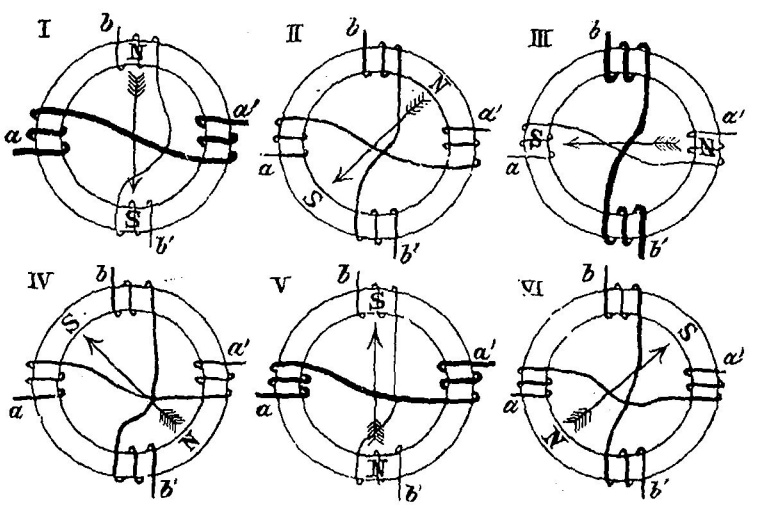


ными токами. Представимъ себѣ два перемѣнныхъ тока, смѣщенныхъ по фазѣ одинъ отъ другого на 90°; пусть это производится опять тѣмъ способомъ, что мы имѣемъ двѣ пары катушекъ AA', BB' (черт. 257), размѣщенныя другъ относительно друга подъ угломъ въ 90° и вращающіяся противъ полюсовъ подковообразнаго магнита. Проведемъ проволоки отъ $\alpha\alpha'$, концовъ одной пары катушекъ A къ неподвижно

установленному кольцу изъ мягкаго желѣза, такъ, чтобы проволока обматывала его въ двухъ противолежащихъ по діаметру мѣстахъ, обозначенныхъ на чертежѣ буквами a и a'. Проведемъ также проволоки и отъ концовъ $\beta\beta'$ другой пары катушекъ къ кольцу и обмотаемъ ими кольцо въ мѣстахъ b и b', отстоящихъ на 90^0 отъ первыхъ обмотокъ. Если пропустить по обоимъ проводамъ перемѣнные токи, то, благодаря разности фазъ ихъ, въ тотъ моментъ, когда одинъ проводъ будетъ имѣть наибольшую силу тока, въ другомъ сила тока будетъ равна нулю. Различная сила тока въ обмоткахъ обозначена на чертежѣ линіями различной толщины. Итакъ, сильный токъ проходитъ по bb', а въ обмоткахъ aa' сила тока равна нулю. Желѣзное кольцо намагничивается токомъ въ точкахъ bb' такъ, что сѣверный и южный полюсъ его должны находиться, по правилу Ампера, въ точкахъ N и S. Если помѣстить внутри кольца на остріѣ магнитную стрѣлку, такъ чтобы она могла свободно вращаться, то она приметъ положеніе, обозначенное большой стрѣлкой.

Если катушки A и B, дающія токи, вращаются, то токи достигаютъ наибольшей величины и уменьшаются до нуля, снова достигаютъ наибольшей, но отрицательной величины и т. д. поперемѣнно, но не одновременно, то въ обмоткѣ aa', то въ обмоткѣ bb': вслѣдствіе этого полюсы кольца должны смѣщаться. Въ этомъ легко убѣ-

Черт. 258.

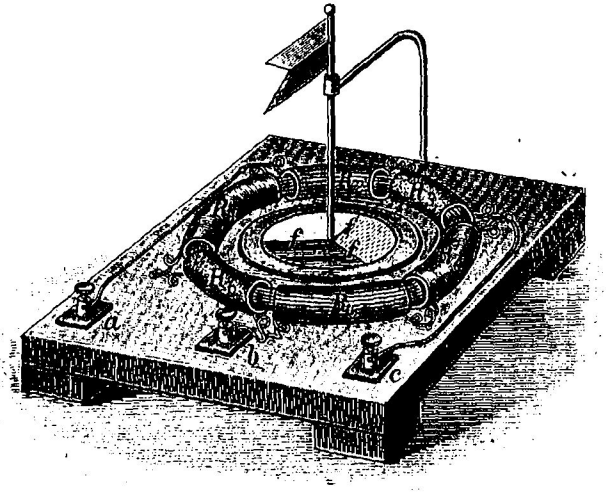


диться по черт. 258. Въ I въ aa' проходитъ сильный токъ, а въ bb' слабый, и магнитная стрѣлка имѣетъ обозначенное стрѣлкой на чертежѣ положеніе. Когда же катушки, доставляющія токъ, повернутся на 45^0, то, какъ показано на черт. II, токи имѣютъ одинаковую силу въ aa' и въ bb', полюсы желѣзнаго кольца расположатся въ N и S и магнитная

стрѣлка приметъ наклонное положеніе. На слѣдующемъ чертежѣ токъ bb' имѣетъ наибольшую величину, токъ aa' равенъ нулю, полюсы въ кольцѣ повернулись еще дальше до NS и магнитная стрѣлка послѣдовала за ними. Такъ будетъ продолжаться и далѣе. Въ результатѣ мы видимъ, что если два перемѣнныхъ тока различныхъ фазъ проходятъ по неподвижнымъ обмоткамъ неподвижнаго кольца, то магнитъ, расположенный внутри кольца, будетъ непрерывно вращаться все время, пока будутъ проходить токи. Вмѣсто магнитной стрѣлки можно также помѣстить внутри кусокъ ненамагниченнаго желѣза. Послѣдній намагнитится посредствомъ магнитной индукціи и тоже придетъ во вращательное движеніе. Точно также, если внутрь кольца ввести нѣкоторую замкнутую на себя проволочную цѣпь, могущую вращаться вокругъ оси, то она начнетъ вращаться. Дѣло въ томъ, что въ этой цѣпи индуктируются токи; токи эти, а слѣдовательно, и вся цѣпь, будутъ увлекаться движущимися полюсами. Также долженъ придти во вращеніе и металлическій дискъ, помѣщенный внутрь кольца, такъ какъ въ немъ возникаютъ токи Фуко, слѣдующіе за перемѣщающимися полюсами. Это явленіе чрезвычайно важно, такъ какъ оно даетъ возможность вызывать вращеніе съ помощью перемѣнныхъ токовъ и получать механическую работу. На этомъ основаны индукціонные двигатели перемѣннаго тока, о которыхъ мы будемъ говорить во второй части этой книги.

Такая система нѣсколькихъ перемѣнныхъ токовъ съ различными фазами имѣетъ, слѣдовательно, важныя свойства, зависящія именно отъ

Черт. 259.

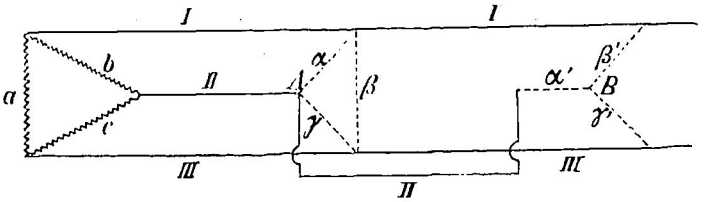


разности фазъ этихъ токовъ. Поэтому ей дано особенное названіе многофазныхъ токовъ. Если мы имѣемъ двѣ пары катушекъ, раз-

ность фазъ которыхъ равна $90^0\left(\frac{180^0}{2}\right)$, то онѣ даютъ двухфазный токъ; три пары катушекъ съ разностью фазъ въ 60^0 $\left(\frac{180^0}{3}\right)$ даютъ трехфазный токъ; четыре пары катушекъ съ разностью фазъ въ $45^0\left(\frac{180^0}{4}\right)$ даютъ четырехфазный токъ и т. д. Въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ мы можемъ убѣдиться, что многофазные токи, соотвѣтственно обведенные вокругъ желѣзнаго кольца, должны вызвать непрерывное смѣщеніе магнитныхъ полюсовъ въ кольцѣ, вслѣдствіе чего замкнутая проволока, помѣщенная внутри кольца, придетъ во вращеніе. Пока это свойство многофазныхъ токовъ для насъ наиболѣе важно. Черт. 259 изображаетъ такое кольцо съ 3 парами обмотокъ R_1 до R_6, черезъ которое можетъ проходить трехфазный токъ. При этомъ дискъ *fff*, который можетъ вращаться внутри кольца, и который снабженъ флажкомъ, приходитъ въ быстрое вращеніе.

Если мы имѣемъ три катушки или три пары катушекъ, дающія перемѣнные токи различныхъ фазъ (напр. смѣщенные другъ относительно друга на 60^0), то для каждой катушки или для каждой пары ихъ необходимо 2 провода, чтобы провести токъ во внѣшнюю цѣпь и обратно; всего, слѣдовательно, нужно 6 проводовъ. Но, что особенно важно для практическихъ цѣлей, такія катушки можно соединять другъ съ другомъ еще различными другими способами. Тогда получаются сопряженные многофазные токи, взаимное отношеніе которыхъ, хотя и кажется сложнымъ, но въ сущности довольно просто. Пусть, напримѣръ, *a b c* (черт. 260) будутъ три катушки, дающія

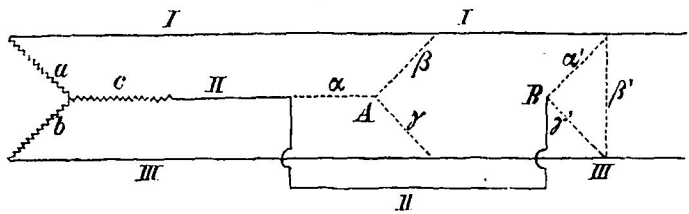
Черт. 260.



трехфазный токъ. Разность фазъ каждой изъ катушекъ относительно другой будетъ равна 60^0; такъ что въ то время, какъ въ *a* фаза будетъ равна нулю, въ *b* фаза равна 60^0, а въ *c* она будетъ равна 120^0. Эти три катушки можно соединить такъ, какъ показано на черт. 260, Такое соединеніе называютъ соединеніемъ треугольникомъ. Но можно катушки соединить и такъ, такъ показано на черт. 261, и тогда получается соединеніе звѣздой. Въ обоихъ случаяхъ отъ угловыхъ точекъ 1, 2, 3 можно провести проволоки I, II, III и концы ихъ соединить въ какомъ-нибудь мѣстѣ опять треугольникомъ или звѣздой. На черт. 260 и 261 изображаются каждый разъ два такихъ

различныхъ соединенія. На черт. 260 три катушки $a\,b\,c$ соединены треугольникомъ, провода же I, II, III въ A соединены треугольникомъ черезъ $\alpha\,\beta\,\gamma$, а въ B звѣздой черезъ $\alpha'\,\beta'\,\gamma'$. На черт. 261 три катушки $a\,b\,c$ изображены соединенными звѣздой, а провода въ A соединяются тоже звѣздой $\alpha\,\beta\,\gamma$, въ B треугольникомъ $\alpha'\,\beta'\,\gamma'$. По каждой изъ трехъ

Черт. 261.



вѣтвей будетъ проходить тогда перемѣнный токъ и, оказывается, въ каждой изъ соединительныхъ проволокъ $\alpha\,\beta\,\gamma$ или $\alpha'\,\beta'\,\gamma'$ токъ долженъ имѣть другую фазу, такъ что въ этихъ соединительныхъ проводахъ можно вызвать вращающія дѣйствія тока, хотя катушки и соединены вмѣстѣ. Въ приборѣ на черт. 259 пары катушекъ соединены треугольникомъ.

Возникновеніе этихъ разностей фазъ—новаго элемента въ явленіи электрическихъ перемѣнныхъ токовъ,—хотя и осложняетъ, правда наши разсужденія, но даетъ зато возможность сочетать перемѣнные токи въ болѣе разнообразныя комбинаціи, чѣмъ постоянные токи. На этомъ именно основано значеніе перемѣнныхъ токовъ для науки и практики; и уже несомнѣнно, что перемѣнные токи, на которые какъ наука, такъ и практика долгое время едва обращали вниманіе, непрерывно пріобрѣтаютъ все большее и большее значеніе и оказываются для теоріи электричества и для его примѣненій еще болѣе плодотворными, чѣмъ постоянные токи.

ГЛАВА XI.

Электрическія колебанія.

Хотя новые прерыватели—турбинный и электролитическій—позволяютъ весьма просто получать отъ 1000 до 2000 прерываній тока въ секунду и тѣмъ самымъ возбуждать въ индукціонной катушкѣ перемѣнные токи съ частотой колебанія отъ 1000 до 2000 въ секунду, однако эта частота очень мала по сравненію съ той, которую, какъ мало-по-малу было открыто, производитъ весьма простымъ способомъ сама природа. Въ дѣйствительности при нашихъ опытахъ сами собой получаются перемѣнные электрическіе токи, которые измѣняютъ свое направленіе 100000, милліоны и даже милліарды разъ въ секунду. Подобныя электрическія движенія, измѣняющія свое направленіе необыкновенно быстро, называютъ электрическими колебаніями; средствомъ полученія ихъ служитъ электрическая искра, представляющая собой явленіе давно уже извѣстное, но остававшееся въ теченіи долгаго времени недостаточно объясненнымъ.

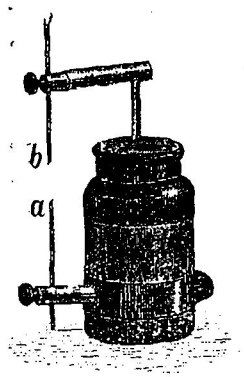
Когда конденсаторъ разряжается электрической искрой, или когда между концами индукціонной катушки заставляютъ проскочить искру, всегда получаются электрическія колебанія. Періоды этихъ колебаній чрезвычайно малы; они измѣняются въ зависимости отъ емкости проводниковъ, между которыми проскакиваетъ искра, отъ одной десятитысячной до одной стомилліонной или даже тысячемилліонной доли секунды. Во всѣхъ, однако, случаяхъ электрическая искра даетъ начало электрическимъ колебаніямъ. Это ея особое свойство, которое не было предвидѣно напередъ; но мы легко поймемъ, какъ это она дѣлаетъ. Главной причиной образованія электрическихъ колебаній является возникновеніе экстратоковъ при разряженіи искрой.

Для того, чтобы выяснить себѣ это явленіе, мы подробно разсмотримъ разряженіе конденсатора или лейденской банки.

Если лейденская банка заряжена, то на одной обкладкѣ, положимъ, на внутренней, находится положительное электричество, а на другой—отрицательное, при чемъ на каждой изъ нихъ находится одно и то же опредѣленное число кулоновъ. Если соединить проводникомъ

внутреннюю обкладку съ внѣшней, присоединивъ, положимъ, къ каждой изъ обкладокъ по подвижной проволокѣ (черт. 262) и затѣмъ приблизить ихъ другъ къ другу, то между проводниками, еще раньше, чѣмъ они коснулись другъ друга, проскочитъ искра, и банка разрядится. Итакъ, черезъ проводникъ и эту искру начинается разрядъ и проходитъ электричество. Хотя все это явленіе и происходитъ въ очень короткій промежутокъ времени, тѣмъ не менѣе мы можемъ прослѣдить сопровождающія его обстоятельства. Между обѣими обкладками банки существуетъ нѣкоторая опредѣленная разность напряженій (предположимъ, что, напряженіе на b больше, чѣмъ на a), которая, по закону Ома, заставляетъ электричество проходить черезъ проволоки и черезъ воздухъ. Отъ этого перехода на каждой изъ обкладокъ одновременно уменьшаются количества электричества, такъ какъ токомъ они нейтрализуются. Вслѣдствіе этого разность напряженій на обѣихъ обкладкахъ въ каждые слѣдующіе другъ за другомъ моменты времени становится все меньше и меньше, а потому и сила тока падаетъ отъ своей наибольшей величины въ теченіи чрезвычайно короткаго времени. Въ виду того, что при каждомъ измѣненіи силы тока въ проводникѣ возникаютъ экстратоки, въ данномъ случаѣ они также окажутъ свое вліяніе. Въ моментъ возникновенія тока разряженія образуется экстратокъ, имѣющій направленіе, обратное первому. Разрядный токъ идетъ отъ обкладки b къ a; тогда экстратокъ пойдетъ отъ a къ b. Но разрядный токъ настолько быстро слабѣетъ, что наконецъ экстратокъ пересилитъ. Поэтому въ первый моментъ электричество будетъ идти отъ b къ a, но затѣмъ отъ a къ b. Экстратокъ, однако, также быстро уменьшается въ своей силѣ, вслѣдствіе чего возникаетъ новый экстратокъ, направленный снова отъ b къ a, который пересилитъ въ слѣдующій моментъ первый экстратокъ, такъ что электричество будетъ снова идти отъ b къ a и т. д. Итакъ, мы приходимъ къ замѣчательному въ сущности результату, а именно, что разрядный токъ проходитъ не прямо отъ b къ a, какъ слѣдовало-бы предполагать, а идетъ подъ вліяніемъ экстратоковъ попеременно то отъ b къ a, то отъ a къ b, затѣмъ снова отъ b къ a и т. д.

Черт. 262.



Однимъ словомъ, получается колебательный разрядъ, получаются электрическія колебанія. Для возникновенія ихъ необходимо, однако, чтобы каждый экстратокъ былъ достаточно силенъ для того, чтобы пересилить предыдущій экстратокъ; другими словами,—колебательный разрядъ можетъ произойти только въ томъ случаѣ, если самоиндукція проводниковъ, являющаяся причиной, вызывающей экстра-

токи, была не менѣе опредѣленной величины, зависящей отъ емкости лейденской банки и сопротивленія проводниковъ всей цѣпи. Если это условіе выполнено, то банка или конденсаторъ дѣйствительно разряжаются колебательнымъ разрядомъ. Въ нѣкоторые опредѣленные промежутки времени, слѣдующіе довольно быстро другъ за другомъ, измѣняется направленіе тока между обкладками. Промежутокъ времени, проходящій между двумя измѣненіями направленія тока, называютъ періодомъ электрическаго колебанія. Феддерсенъ впервые наблюдалъ, что при разрядѣ лейденской банки дѣйствительно происходитъ колебательный разрядъ, и вмѣстѣ съ тѣмъ измѣрилъ періодъ этихъ колебаній. Противъ того мѣста, въ которомъ должна была появиться искра, онъ поставилъ зеркало, быстро вращавшееся вокругъ своей оси,—такъ называемое вращающееся зеркало. Въ короткій промежутокъ времени, пока длится искра, зеркало успѣваетъ повернуться на нѣкоторый уголъ, тѣмъ больній, чѣмъ больше скорость его вращенія. Такъ какъ зеркало отражаетъ свѣтовой лучъ всегда подъ тѣмъ же угломъ, подъ которымъ онъ на него падаетъ, то ясно, что отраженное изображеніе искры должно было бы при этомъ показаться

Черт. 263.



растянутымъ въ свѣтлую полосу. Такъ и было на самомъ дѣлѣ, но при этомъ въ полосѣ оказались непредвидѣнныя особенности. Оказалось, что эта полоса имѣетъ такой видъ, какъ изображено на черт. 263. Мы видимъ, что въ этой полосѣ (которая была сфотографирована) имѣется рядъ темныхъ мѣстъ со свѣтлыми промежутками,—ясное доказательство того, что разрядъ періодически прекращается и снова начинается, т. е., что при разрядѣ происходятъ колебанія. Феддерсену удалось также легко измѣрить на такомъ изображеніи періодъ этихъ колебаній. Если знать скорость вращенія зеркала и разстояніе фотографической пластинки отъ зеркала, то можно по длинѣ свѣтовой полосы опредѣлить продолжительность всей искры. Если, напр., разстояніе пластинки отъ зеркала 1 м. и искра длится одну секунду, то изображеніе искры дало бы, при зеркалѣ, совершающемъ 100 полныхъ оборотовъ въ секунду, свѣтовую полосу, въ 200 разъ болѣе длинную, чѣмъ длина окружности въ 1 м. радіуса. Дѣйствительно, такъ какъ падающій на зеркало свѣтъ отражается всегда подъ тѣмъ же угломъ, подъ которымъ онъ на него упалъ, то изображеніе, отбрасываемое зеркаломъ, перемѣщается вдвое скорѣй, чѣмъ само зеркало. Если же вся искра длится не одну секунду, а $\frac{1}{10000}$ секунды, то свѣтовая полоса

имѣетъ всего лишь одну десятитысячную часть этой длины (въ нашемъ примѣрѣ въ первомъ случаѣ длина приблизительно равна $6 \times 200 = 1200$ м., во второмъ случаѣ 0,12 м. $= 12$ см.). Такимъ образомъ можно, наоборотъ, по длинѣ свѣтовой полосы вычислить продолжительность всей искры. Продолжительность всей искры, изображенной на приведенномъ чертежѣ, была около $^1/_{60000}$ секунды. Такъ какъ въ этой искрѣ имѣется восемь колебаній—легко сосчитать, что свѣтлыя и темныя полосы чередуются другъ съ другомъ 8 разъ,—то продолжительность одного колебанія, слѣдовательно, равна одной 500000-ой доли секунды. Въ столь короткій промежутокъ времени электричество при такомъ разрядѣ лейденскихъ банокъ успѣваетъ одинъ разъ измѣнить направленіе своего движенія. Кирхгофъ показалъ, какъ изъ теоретическихъ соображеній вычислить періодъ колебанія; онъ зависитъ отъ емкости конденсатора и самоиндукціи проводниковъ, и періодъ этотъ (точнѣе, квадратъ его) тѣмъ больше, чѣмъ больше емкость банки и чѣмъ больше самоиндукція цѣпи.

Подобные колебательные разряды происходятъ—по той же причинѣ—и въ индукціонныхъ катушкахъ, когда между ихъ вторичными полюсами проскакиваютъ искры. Но въ виду того, что самоиндукція индукціонныхъ катушекъ чрезвычайно велика, разряды будутъ имѣть несравненно бо́льшіе періоды. Въ такихъ незамкнутыхъ индукціонныхъ катушкахъ разряды имѣютъ періодъ приблизительно въ одну 10000 долю секунды. Нельзя было, конечно, и предполагать, что при разрядѣ искрой возникаютъ такія періодическія движенія; но разъ существованіе этого явленія установлено, то нетрудно объяснить себѣ его и съ точки зрѣнія механики.

Воздушный слой представляетъ, вообще, такое противодѣйствіе напряженію электричества, что это послѣднее не можетъ его преодолѣть. Мы должны предположить, что эфиръ, находящійся въ воздухѣ, вообще не податливъ и электроны встрѣчаютъ въ немъ бо́льшое сопротивленіе своему движенію, и что въ этомъ и лежитъ основа изоляторныхъ свойствъ воздуха и другихъ изоляторовъ. Если, однако, напряженіе сдѣлается столь большимъ, что между проводниками проскочитъ искра, то тогда происходитъ разрывъ этого сопротивленія и оно мощно преодолѣвается. Въ природѣ всякое преодолѣваніе упругаго сопротивленія представляетъ собой періодическое явленіе. Если мы, напримѣръ, будемъ выдувать воздухъ извѣстнымъ образомъ сложивши губы, то мы услышимъ нѣкоторый звукъ, а такъ какъ звуки всегда являются слѣдствіемъ періодическихъ движеній, то это доказываетъ, что и въ данномъ случаѣ преодолѣваніе сопротивленія происходило періодически. Точно такъ-же при всякомъ разрываніи, разломѣ, раздавливаніи какихъ-либо тѣлъ, при всякомъ шагѣ, который мы дѣлаемъ на улицѣ, мы слышимъ звукъ и, слѣдовательно, производимъ во всѣхъ

этихъ случаяхъ періодическія движенія. Совершенно также, при разрывѣ сопротивленія изолирующаго слоя воздуха, оно преодолѣвается періодически; электроны колеблятся взадъ и впередъ и притомъ въ чрезвычайно короткіе промежутки времени. Такимъ образомъ, благодаря искрѣ, въ воздухѣ и въ проволокахъ, между которыми проскакиваетъ искра, возникаютъ электрическія колебанія.

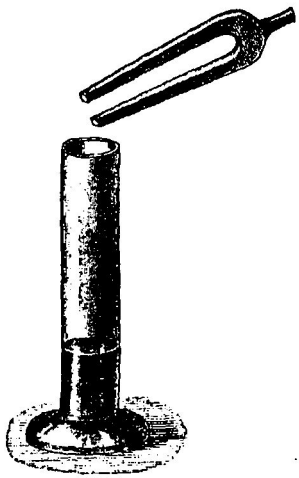
Подобно тому, какъ свистокъ даетъ тѣмъ болѣе быстрыя колебанія и тѣмъ болѣе высокіе тоны, чѣмъ онъ короче, чѣмъ меньше количество воздуха, приведенное въ движеніе, точно также и при искровомъ разрядѣ колебанія тѣмъ быстрѣе, т. е. время колебанія тѣмъ короче, чѣмъ меньше количество электричества, приведенное въ движеніе. Поэтому при разрядѣ искрой большихъ лейденскихъ банокъ колебанія получаются болѣе медленныя, чѣмъ при разрядѣ небольшихъ банокъ; наиболѣе быстрыя колебанія получаютъ, когда искра проскакиваетъ между тѣлами весьма малой емкости. Въ явленіяхъ звуковыхъ колебаній мы можемъ найти аналогію тому обстоятельству, что кромѣ емкости тѣла на время колебанія вліяетъ еще и коэффиціентъ самоиндукціи тѣла. Дѣйствительно, и въ случаѣ звуковыхъ колебаній форма инструмента играетъ существенную роль, подобную той, какую въ данномъ случаѣ играетъ форма проволокъ. Напримѣръ, прямыя трубы даютъ, при равной длинѣ, иной тонъ, чѣмъ трубы со многими изгибами.

Изъ наблюденій Феддерсена уже можно было заключить и считать доказаннымъ на основаніи фотографическихъ изображеній искры, что, когда въ системѣ проводниковъ проскакиваетъ гдѣ-либо электрическая искра, то въ этой системѣ происходятъ электрическія колебанія. Необходимо, однако, чтобы эти колебанія дѣйствительно проявили себя, какъ таковыя, чтобы они обнаружили свойства, присущія всѣмъ колебательнымъ движеніямъ. Мы знаемъ въ природѣ, кромѣ видимыхъ колебаній, маятниковъ и массъ воды, еще другія явленія, а именно звуковыя и свѣтовыя, основой которыхъ несомнѣнно служатъ колебанія; при этомъ у послѣднихъ явленій намъ извѣстенъ цѣлый рядъ замѣчательныхъ и интересныхъ особенностей, зависящихъ непосредственно отъ ихъ колебательной природы. И дѣйствительно оказывается возможнымъ вызвать и въ электрическихъ колебаніяхъ явленія, совершенно аналогичныя съ тѣми, которыя происходятъ при звукѣ и свѣтѣ.

Однимъ изъ важнѣйшихъ и интереснѣйшихъ явленій, обнаруживающихъ звуковыя колебанія, и всецѣло зависящихъ отъ этихъ колебаній, является резонансъ. Изъ акустики извѣстно, что при помощи звука, производимаго какимъ-нибудь инструментомъ, свисткомъ, камертономъ, колоколомъ и т. п. можно заставить другой инструментъ издавать сильный звукъ, если только тонъ перваго инструмента со-

впадаетъ съ тономъ второго. Въ такомъ случаѣ говорятъ, что инструментъ, въ которомъ возбуждаются звуковыя колебанія, резонируетъ. Это явленіе легче и яснѣе всего можно обнаружить, заставляя резонировать столбъ воздуха. Для этого возьмемъ (черт. 264) высокій стеклянный сосудъ съ небольшимъ количествомъ воды, такъ чтобы надъ водой находился столбъ воздуха какой-либо произвольной опредѣленной высоты. Какъ только къ отверстію сосуда мы поднесемъ камертонъ, приведенный предварительно въ колебаніе, столбъ воздуха начинаетъ звучать, если только тонъ камертона соотвѣтствуетъ тону, который издалъ бы въ зависимости отъ своей длины самъ воздушный столбъ, приведенный въ колебательное движеніе. Изъ цѣлаго ряда камертоновъ усиленіе звука произойдетъ только у того камертона, тонъ котораго соотвѣтствуетъ высотѣ столба воздуха. Если, подливая воду, сдѣлать столбъ воздуха меньше, то резонансъ будетъ производить камертонъ съ болѣе высокимъ тономъ, если же удлинить столбъ воздуха, то резонансъ вызовется болѣе низкимъ камертономъ. Условіе для появленія сильнаго созвучія, или резонанса, всегда заключается въ томъ, чтобы основной тонъ резонатора совпадалъ съ тономъ прибора, возбуждающаго резонансъ, т. е. чтобы періоды резонатора и дѣйствующаго на него тѣла (вибратора) совпадали. Это свойство резонанса не связано собственно съ самимъ происходящимъ при этомъ звукомъ, а зависитъ только отъ колебательной природы звука, и потому оно должно обнаруживаться и при другихъ колебаніяхъ. Въ области электрическихъ колебаній мы должны ожидать, что въ системѣ проводовъ, обладающихъ опредѣленными самоиндукціей и емкостью, электрическія колебанія могутъ быть возбуждены не только при помощи искры, но также и другими колебаніями того же періода, происходящими въ другой системѣ.

Черт. 264.

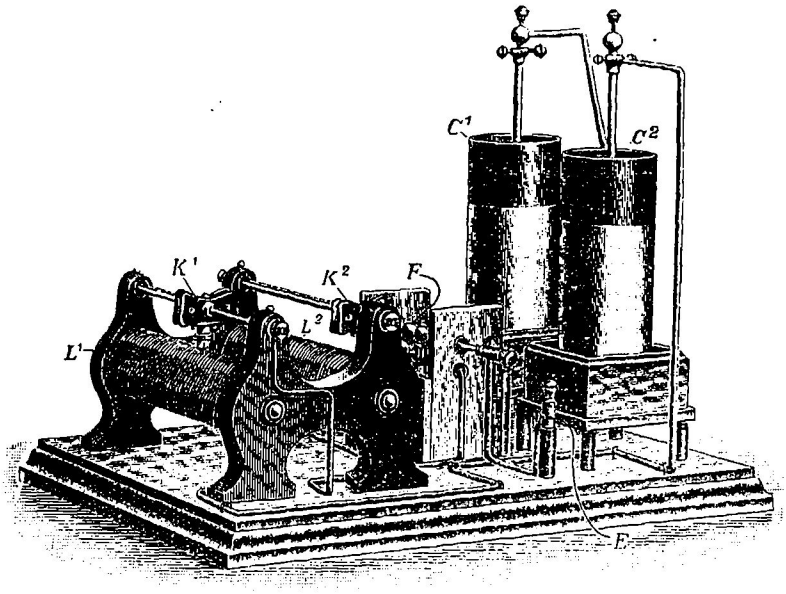


Чтобы въ дальнѣйшемъ говорить объ обстоятельствахъ, встрѣчающихся въ данномъ вопросѣ, возможно болѣе кратко и опредѣленно, мы будемъ обѣ системы, въ которыхъ происходятъ электрическія колебанія, называть цѣпями колебаній, при чемъ одну—возбуждающей (вибраторъ), а другую—резонирующей (резонаторъ). Обѣ цѣпи должны быть такъ расположены другъ относительно друга, чтобы колебанія во второй возбуждались колебаніями въ первой цѣпи. Для этого резонирующую цѣпь располагаютъ вблизи возбуждающей такъ, чтобы въ ней, вслѣдствіе индукціи, возникали электрическія колебанія.

Про такія двѣ цѣпи колебаній говорятъ, что онѣ связаны или соединены индуктивно.

Однако, соединеніе между обѣими цѣпями колебаній можно сдѣлать не только индуктивное, но и просто при помощи проволоки; въ такомъ случаѣ говорятъ, что обѣ цѣпи связаны сопротивленіемъ или непосредственно. При этомъ въ резонирующей цѣпи будутъ возникать свои собственныя колебанія подъ вліяніемъ періодически достигающихъ до нея колебаній другой цѣпи, если только продолжительность ея собственныхъ колебаній и колебаній возбуждающей цѣпи совпадаютъ. Именно такое непосредственное соединеніе употребляется въ интересныхъ опытахъ надъ резонансомъ, произведенныхъ

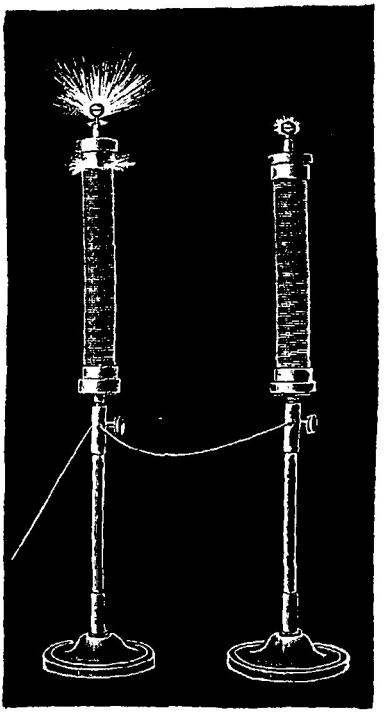
Черт. 265.



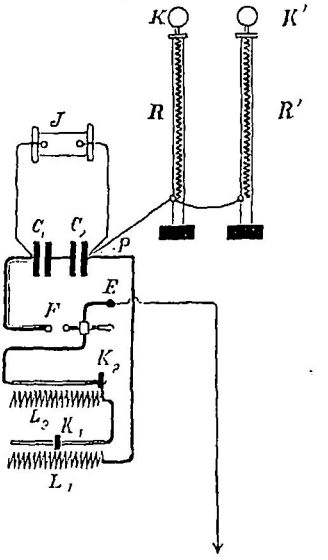
Зейбтомъ. Возбуждающая цѣпь изображена на черт. 265. Цѣпь эта состоитъ изъ двухъ лейденскихъ банокъ C^1 C^2, опредѣляющихъ собой преимущественно емкость системы, затѣмъ изъ свернутой въ катушки проволоки L^1L^2, характеризующей собой самоиндукцію и включаемой въ цѣпь при помощи передвижныхъ зажимовъ K^1K^2, въ большемъ или меньшемъ числѣ витковъ, и, наконецъ, изъ искрового промежутка F. Резонирующая цѣпь состоитъ или просто изъ одной проволочной катушки, или изъ двухъ параллельно включенныхъ катушекъ (черт. 266) различной толщины и имѣющихъ неодинаковое число витковъ. Такая проволочная катушка имѣетъ, какъ и всякая вообще проволока, нѣкоторую опредѣленную самоиндукцію и емкость. Между каждыми двумя витками всегда находится изолирующее вещество.

Поэтому и вслѣдствіе происходящей въ проволокѣ нѣкоторой потери напряженія, два рядомъ лежащіе витка представляютъ собой два проводника съ различнымъ напряженіемъ, раздѣленные изолирующей средой и образующіе такимъ образомъ конденсаторъ. Такъ какъ это имѣетъ мѣсто между каждыми двумя витками, то такая проволочная катушка, даже безъ помощи особаго конденсатора, обладаетъ извѣстной емкостью. Соединеніе обѣихъ колебательныхъ цѣпей дѣлается непосредственное; чертежъ 267 изображаетъ схему такого соединенія двухъ цѣпей. При помощи индукціонной катушки I въ возбуждающей цѣпи производятся искры, которыя вызываютъ въ ней колебанія, а именно: катушкой заряжаются лейденскія банки $C_1 C_2$ до тѣхъ поръ, пока въ F не проскочитъ искра. Искра эта вызываетъ во всей цѣпи

Черт. 266.



Черт. 267.



(F, $C_1 C_2$, перемѣнная самоиндукція $K_1 K_2$ и E) быстрыя колебанія. Къ P присоединяется резонирующая цѣпь, состоящая изъ катушки R или, какъ показываетъ чертежъ, изъ двухъ R и R' или большаго числа параллельно соединенныхъ катушекъ. Точка E соединяется съ землей и имѣетъ такимъ образомъ напряженіе, равное нулю.

Отъ колебаній, происходящихъ въ первой цѣпи, возбуждаются колебанія и въ соединенныхъ съ ней катушкахъ; и это происходитъ именно тогда, когда періоды колебаній въ обѣихъ цѣпяхъ совпадаютъ. Но періодъ возбуждающей цѣпи можетъ быть измѣняемъ въ довольно широкихъ предѣлахъ при помощи перемѣнной симоиндукціи $L_1 L_2$.

Если, напр., присоединить къ P объ катушки, изображенныя на чертежѣ 266, и, выключивъ предварительно самоиндукцію L_1 L_2, возбудить индукціонной катушкой колебанія въ первичной цѣпи, то получится очень большое число колебаній, на которое ни одна изъ катушекъ не реагируетъ. При введеніи, однако, все большей и большей самоиндукціи, періодъ первичныхъ колебаній становится больше, число же колебаній въ секунду меньше, и такимъ путемъ можно привести всю систему къ такому положенію, при которомъ одна изъ катушекъ начинаетъ замѣтно реагировать. Это узнаютъ потому, что изъ ея верхняго конца начинаютъ проскакивать сильныя синеватыя искры, какъ то изображено на черт. 266. Первичная цѣпь колебаній находится въ такомъ случаѣ въ резонансѣ съ этой катушкой, тогда какъ другая остается въ покоѣ. Если увеличивать далѣе самоиндукцію L_1L_2, то катушка, испускавшая только что искры, перестаетъ испускать ихъ, и между цѣпями колебаній резонансъ нарушается. Постепеннымъ увеличеніемъ самоиндукціи приходятъ наконецъ къ такому положенію, когда сіяніе начинаетъ испускать вторая катушка. При этомъ обнаруживается, что интенсивное испусканіе искръ рѣзко ограничено извѣстными предѣлами: небольшое измѣненіе положенія передвижного контакта L_1L_2 достаточно уже для того, чтобы вызвать или прекратить это испусканіе. Такимъ образомъ резонансъ между катушками и возбуждающей цѣпью можно обнаружить такъ же ясно, какъ обнаруживается въ акустикѣ соотвѣтствіе колебаній нѣкоторой массы воздуха со звучащимъ камертономъ. На свободномъ концѣ такихъ электрически соединенныхъ катушекъ всегда существуетъ максимумъ напряженія—такъ называемая пучность напряженія — такъ какъ именно съ этого конца электричество не можетъ уйти. Благодаря такому напряженію, сопротивленіе воздуха здѣсь преодолѣвается, вслѣдствіе чего и появляется свѣченіе.

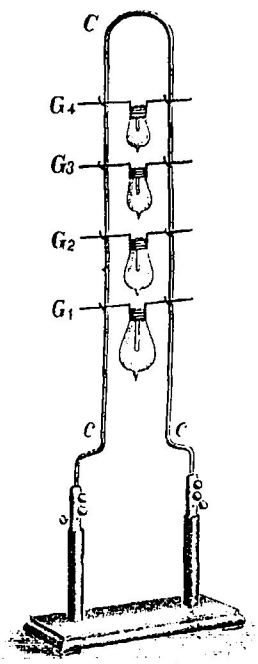
Этотъ опытъ ясно доказываетъ намъ существованіе электрическихъ колебаній какъ въ возбуждающей системѣ, такъ и въ резонирующихъ катушкахъ. Итакъ, мы можемъ быть увѣрены, что въ системѣ, обладающей самоиндукціей и емкостью, мы можемъ возбудить электрическія колебанія, т. е. вызвать быстро мѣняющее свое направленіе движеніе электричества.

Когда мы заставляемъ электричество проходить по проволокѣ и при этомъ быстро измѣнять направленіе своего движенія, т. е. пропускаемъ быстрые перемѣнные токи, то проволока оказываетъ, какъ мы знаемъ, не обыкновенное омическое сопротивленіе, а свое кажущееся сопротивленіе (стр. 281). Чѣмъ больше частота перемѣнныхъ токовъ, тѣмъ бо̀льшую роль играетъ самоиндукція проволоки по сравненію съ ея обыкновеннымъ сопротивленіемъ. Поэтому, когда мы пропускаемъ по развѣтвленной системѣ проводниковъ колебанія съ

большой частотой, то происходятъ отчасти совершенно иныя явленія, чѣмъ тогда, когда по той же системѣ проходятъ постоянные, или сравнительно медленно перемѣнные токи.

Вслѣдствіе быстрыхъ перемѣнъ тока, возникающіе экстратоки также очень сильны, и, если самоиндукція проволоки, по которой проходитъ токъ, достаточно велика, то экстратоки настолько ослабляютъ главный токъ, что онъ можетъ и совсѣмъ не пройти по проволокѣ. Колебанія проходятъ по тонкой угольной нити длиной въ 1 сантиметръ легче, чѣмъ по толстой мѣдной проволокѣ въ 2 см. длины именно потому, что самоиндукція мѣдной проволоки въ 2 см. больше самоиндукціи угольной нити въ 1 см., въ то время какъ сопротивленіе угольной нити можетъ быть въ нѣсколько тысячъ разъ больше сопротивленія мѣдной проволоки.

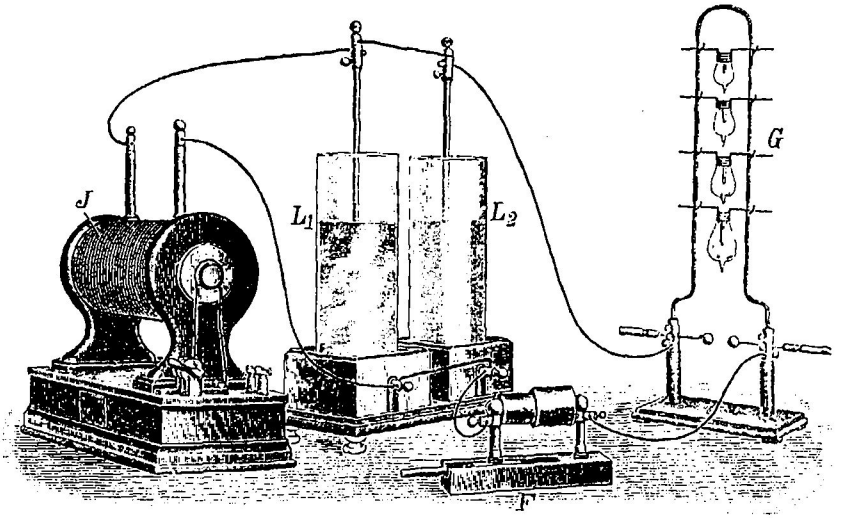
Черт. 268.



На этомъ основывается слѣдующій интересный опытъ. Если взять толстую мѣдную проволоку C (черт. 268), присоединить къ ней параллельно цѣлый рядъ лампочекъ накаливанія G_1, G_2, G_3, G_4 и возбудить въ этой системѣ электрическія колебанія, то лампочки начнутъ свѣтиться. Постоянный токъ или токъ съ небольшимъ числомъ перемѣнъ прошелъ бы только по толстой мѣдной проволокѣ и лишь очень незначительная часть его прошла бы по угольнымъ нитямъ лампочекъ накаливанія, такъ какъ послѣднія обладаютъ значительно большимъ, чѣмъ мѣдная проволока, сопротивленіемъ; быстрыя же электрическія колебанія идутъ преимущественно черезъ лампочки накаливанія потому, что онѣ имѣютъ (вслѣдствіе небольшой длины нити) меньшую самоиндукцію, чѣмъ мѣдная проволока.

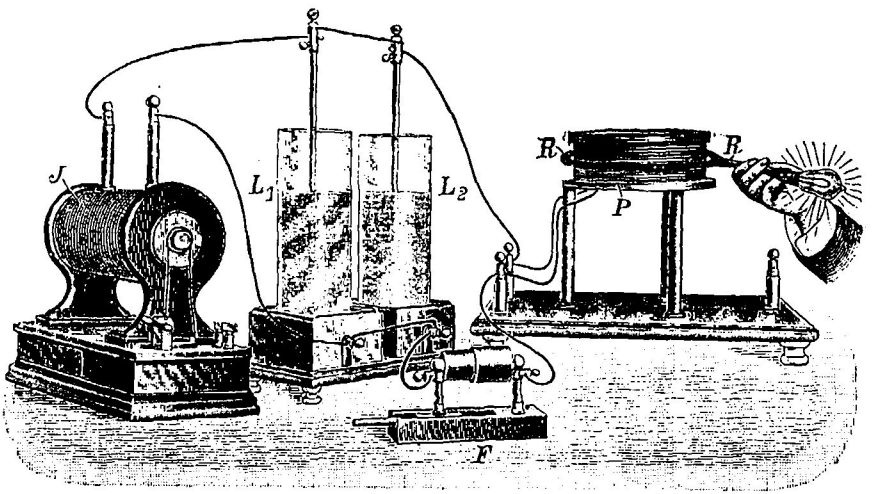
Расположеніе приборовъ для этого опыта, которое окажется для насъ важнымъ въ дальнѣйшемъ, изображено на черт. 269 въ томъ видѣ, какъ его приготовляетъ Эрнеке въ Берлинѣ. Колебательная цѣпь состоитъ изъ двухъ лейденскихъ банокъ L_1 и L_2, соединенныхъ другъ съ другомъ параллельно или послѣдовательно, искрового промежутка F и подставки для лампочекъ накаливанія G. Обкладки лейденскихъ банокъ соединяются съ полюсами индукціонной катушки J. Искровой промежутокъ F состоитъ изъ двухъ, передвигающихся одинъ относительно другого, цинковыхъ цилиндровъ, заключенныхъ въ эбонитовую оболочку, чтобы затемнить свѣтъ искры.

Черт. 269.



Если возбуждать такія быстрыя электрическія колебанія въ проволочной катушкѣ, то она производитъ сильныя индукціонныя дѣйствія. Мы знаемъ, что, чѣмъ быстрѣе перемѣны тока въ проволокѣ, тѣмъ сильнѣе, при прочихъ равныхъ условіяхъ, индукціонное дѣйствіе. Въ данномъ случаѣ оно особенно сильно, въ чемъ легко убѣдиться, на слѣдующемъ прекрасномъ опытѣ. Если возбудить колебанія (чер. 270), заряжая лейденскія банки L_1L_2 индукціонной катушкой и разряжая ихъ черезъ искровой промежутокъ F и проволочную катушку P, то въ P получатся колебанія, сопровождающіяся значительными индукціонными дѣйствіями. Если держать въ рукѣ нѣсколько витковъ R

Черт. 270.

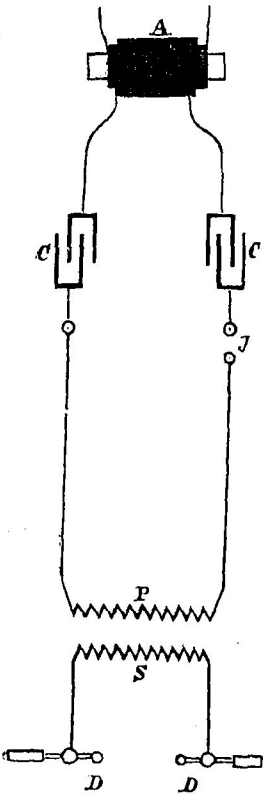


толстой мѣдной проволоки, идущихъ вокругъ катушки P и замкнутыхъ лампочкой накаливанія, то эта послѣдняя начинаетъ свѣтиться. Она не имѣетъ никакого соединенія съ источникомъ тока и свѣтится исключительно подъ вліяніемъ индукціи.

Эти сильныя индукціонныя дѣйствія цѣпи, въ которой происходятъ электрическія колебанія, Тесла использовалъ для производства очень интересныхъ и замѣчательныхъ явленій. Онъ въ своихъ опытахъ производилъ быстрыя колебанія тока очень высокаго напряженія и изучалъ поразительныя явленія, происходящія при такихъ колебаніяхъ.

Для полученія электрическихъ колебаній высокаго напряженія онъ воспользовался принципомъ трансформированія. Электрическія колебанія Тесла возбуждалъ въ цѣпи, составленной изъ двухъ лейденскихъ банокъ, искрового промежутка и (первичной) катушки въ нѣсколько оборотовъ толстой проволоки. Вокругъ первичной катушки онъ устанавливалъ вторичную катушку съ очень большимъ числомъ оборотовъ тонкой, прекрасно изолированной, проволоки. Въ ней образуются индукціонные токи съ тѣмъ же числомъ перемѣнъ (частотой), но очень высокаго напряженія, вслѣдствіе того, что число оборотовъ вторичной катушки велико и что первичный токъ мѣняетъ свою силу и направленіе въ столь короткое время.

Черт. 271.



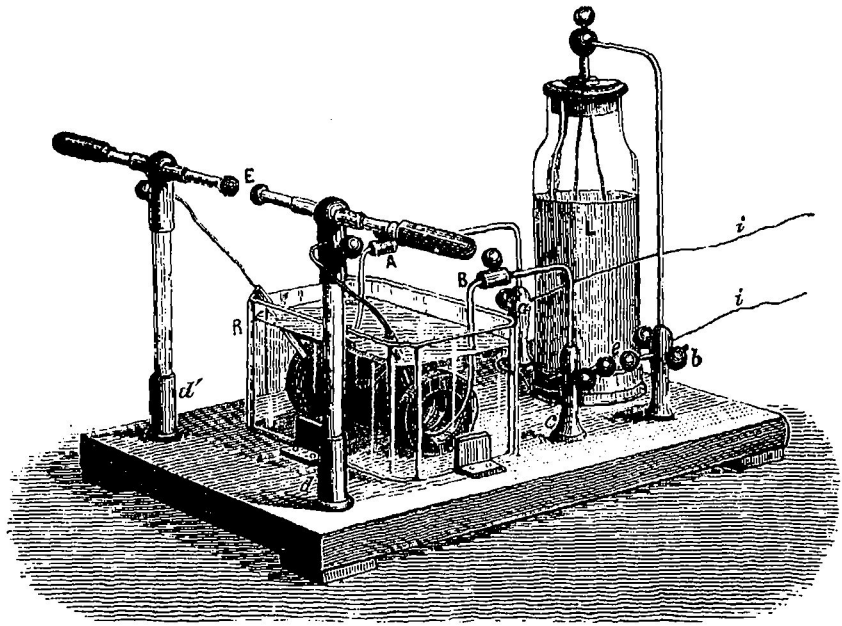
Расположеніе опытовъ Теслы схематически изображено на черт. 271. Лейденскія банки CC заряжаются большой индукціонной катушкой A, полюсы вторичной обмотки которой соединены съ обѣими внутренними обкладками банокъ. Внѣшнія обкладки (заряженныя противоположно) соединены другъ съ другомъ черезъ искровой промежутокъ J и первичную обмотку P другой индукціонной катушки. На полюсахъ DD вторичной обмотки S возникаютъ весьма высокія напряженія съ большимъ числомъ перемѣнъ. Обѣ катушки P и S называютъ обыкновенно при такомъ расположеніи приборовъ трансформаторомъ Теслы.

Первичная и вторичная обмотки P и S, въ виду высокаго напряженія проходящихъ по нимъ токовъ, должны быть тщательно изолированы другъ отъ друга. Это лучше всего достигается тѣмъ, что всю катушку опускаютъ

въ сосудъ, наполненный жидкимъ парафиномъ, изъ котораго раньше выкачиваніемъ удаленъ былъ весь воздухъ.

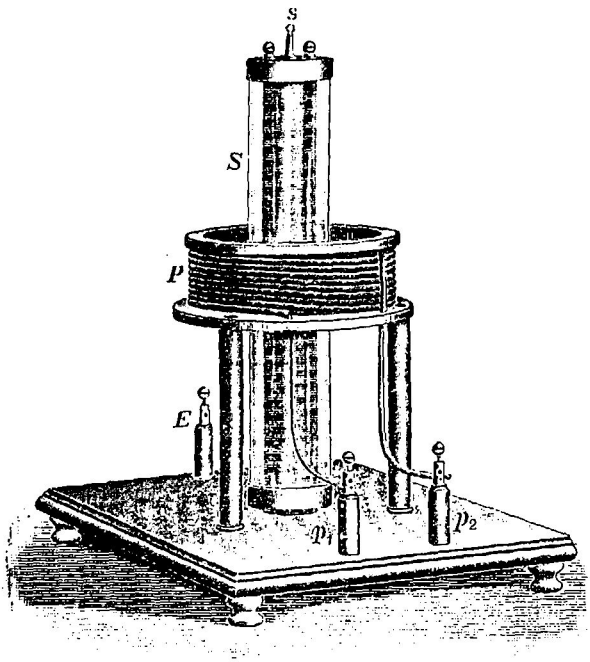
На черт. 272 изображенъ приборъ, предназначенный для опытовъ Теслы. Мы видимъ здѣсь лейденскую банку L, соединенную съ помощью проволочекъ i и i съ индукціонной катушкой (не изображенной на чертежѣ). Разряды банки идутъ отъ внутренней обкладки b черезъ искровой промежутокъ e и внутреннюю (первичную) обмотку трансформатора Теслы T, опущеннаго въ наполненный масломъ сосудъ R, въ A и, наконецъ, проходятъ къ внѣшней обкладкѣ a. Концы вторичной обмотки соединены съ подвижными шариками E, укрѣпленными на стеклянныхъ ножкахъ.

Черт. 272.



При очень быстрыхъ колебаніяхъ индукціонныя дѣйствія вообще настолько сильны, что нѣтъ безусловной необходимости располагать вторичную обмотку такъ близко къ первичной, какъ это сдѣлано въ описанной выше установкѣ. Можно также (см. черт. 273) вторичную катушку S просто расположить внутри широкой первичной катушки; при этомъ получается то преимущество, что промежуточный между обѣими катушками слой воздуха представляетъ собой прекрасную изолирующую среду. Вторичная катушка, состоящая изъ большого числа витковъ тонкой проволоки, находится внутри цилиндрическаго сосуда, наполненнаго жидкимъ парафиномъ. Полюсы ея находятся въ s и E, а полюсы первичной катушки въ p_1 и p_2.

Черт. 273.



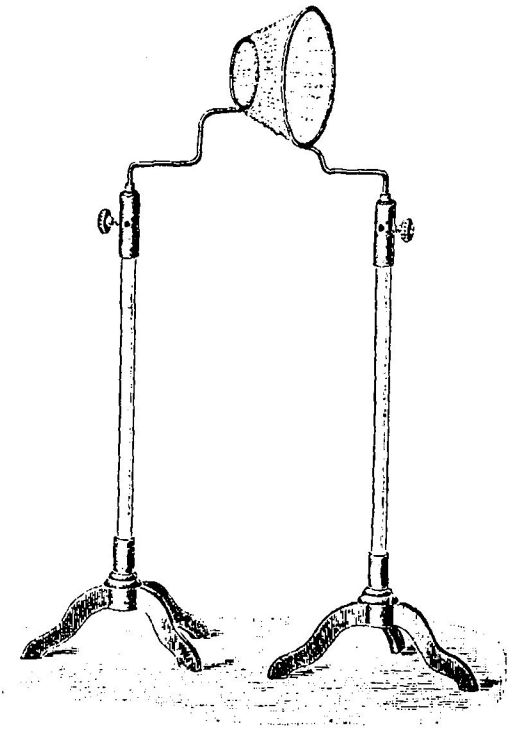
Изъ всѣхъ явленій, вызываемыхъ этими электрическими колебаніями высокаго напряженія, наиболѣе поразительны явленія свѣтовыя. Если одинъ полюсъ вторичной катушки соединить съ землей, то изъ другого начинаютъ исходить перпендикулярно къ его поверхности большіе синіе свѣтовые пучки. Если къ полюсамъ s и E вторичной катушки присоединить проволоки, приблизить ихъ одну къ другой и направить въ образовавшійся между ними промежутокъ струю воздуха, то между полюсами появляется свѣтовая масса, состоящая изъ множества серебристыхъ нитей различной толщины и представляющая до нѣкоторой степени густо сплетенную сѣть электрическихъ искръ.

Если къ одному полюсу прикрѣпить длинную проволоку, изолированную на другомъ концѣ, то по всей длинѣ проволоки перпендилярно къ ней начнутъ исходить синеватые лучи. Если къ обоимъ полюсамъ s и E прикрѣпить по проволокѣ и эти проволоки расположить параллельно на небольшомъ другъ отъ друга разстояніи, то лучи переходятъ съ одной проволоки на другую и образуютъ длинную узкую синевато-бѣлую свѣтовую полосу. Опытъ этотъ можно всячески разнообразить; весьма красивъ онъ, напримѣръ, въ томъ видѣ, какой изображенъ на черт. 274. Тутъ одинъ полюсъ вторичной катушки соединенъ съ небольшимъ проволочнымъ кругомъ, а другой—съ нѣсколько бо̀льшимъ; лучи проходятъ почти непрерывно между обѣими окружностями и образуютъ свѣтящуюся коническую поверхность.

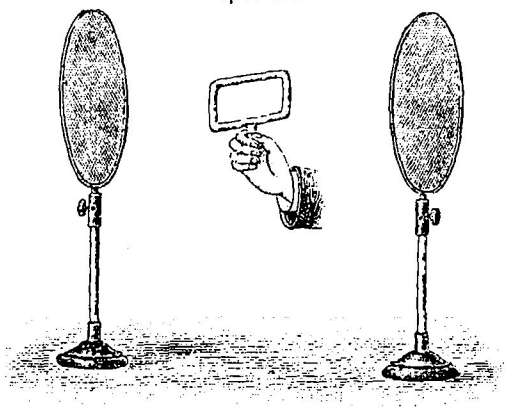
Если одного изъ полюсовъ трансформатора Теслы коснуться гейслеровой трубкой (запаянная трубка, воздухъ которой находится въ состояніи сильнаго разряженія), то она ярко вспыхнетъ. Такая трубка можетъ вспыхнуть и безъ прикосновенія къ полюсу трансформатора, когда она лишь близко поднесена къ нему. Очевидно элек-

трическое движеніе излучается изъ полюсовъ, проходитъ сквозь эфиръ и достигаетъ разрѣженныхъ газовъ гейслеровой трубки. Если двѣ металлическія пластинки, сдѣланныя лучше всего изъ металлической сѣтки (черт. 275), расположить въ разстояніи 1/2 или 1 метра другъ отъ друга и каждую соединить съ однимъ изъ полюсовъ трансформатора Теслы, то въ промежуткѣ между ними появляются интенсивныя электрическія силы и внесенныя въ это пространство гейслеровыя трубки начинаютъ ярко свѣтиться. Онѣ свѣтятся также и внѣ пространства, находящагося между пластинками. Все окружающее пространство наполнено электрическими силами. Исходя изъ этихъ явленій, Тесла высказалъ надежду осуществить идеальное электрическое освѣщеніе. Для этого у двухъ противоположныхъ стѣнъ освѣщаемаго помѣщенія должны были бы быть установлены двѣ большія металлическія пластины, соединенныя съ полюсами трансформатора Теслы. Тогда въ любомъ мѣстѣ даннаго помѣщенія можно съ помощью гейслеровой трубки получить свѣтъ. Нужно, однако, сознаться, что пока проектъ этотъ принадлежитъ скорѣе къ области мало осуществимыхъ фантазій.

Черт. 274.



Черт. 275.



Замѣчательно то обстоятельство, что электрическія колебанія весьма большого числа перемѣнъ производятъ поразительно слабыя физіологическія дѣйствія на человѣческое тѣло. Если обыкновенный

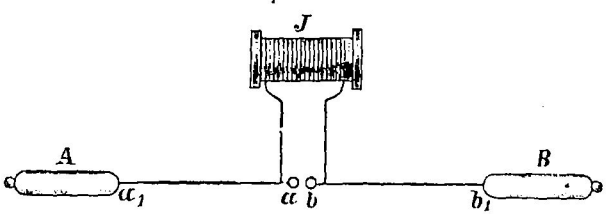
индукціонный токъ съ небольшимъ числомъ прерываній (каковой, напримѣръ, получается при помощи обыкновенныхъ индукціонныхъ катушекъ) пропустить черезъ человѣческое тѣло, то ощущаются сильные толчки, которые при высокомъ напряженіи тока могутъ быть даже смертельными. Но весьма быстрыя колебанія, даже высокаго напряженія, какъ въ опытахъ Теслы, почти вовсе не дѣйствуютъ на человѣческое тѣло, или дѣйствуютъ на него лишь весьма слабо. Къ полюсамъ трансформатора Теслы можно прикасаться руками и пропускать колебанія черезъ тѣло; можно даже заставлять искры въ $^1/_2$ метра длиной бить изъ полюса прямо въ руку и не ощущать при этомъ ни малѣйшей боли. Повидимому это происходитъ потому, что при чрезвычайно быстрыхъ перемѣнахъ токовъ въ жидкостяхъ человѣческаго тѣла не успѣваютъ произойти электролитическія разложенія.

Во всѣхъ нашихъ предыдущихъ изслѣдованіяхъ электрическія колебанія получались вслѣдствіе разряда искрой заряженныхъ лейденскихъ банокъ большей или меньшей емкости. Однако, область электрическихъ колебаній гораздо болѣе обширна.

Электрическія колебанія должны появляться всякій разъ при разрядѣ искрой двухъ заряженныхъ проводниковъ. Періодъ этихъ колебаній тѣмъ короче, чѣмъ меньше емкость этихъ проводниковъ.

Такія колебанія чрезвычайной быстроты получилъ впервые Генрихъ Герцъ въ Карлсруэ. Для этого онъ заставилъ проскакивать искры между двумя поставленными одна противъ другой проволоками aa_1 и bb_1 (черт. 276), изъ которыхъ каждая была соединена съ однимъ изъ цилиндровъ A и B, или съ пластинками, или наконецъ съ шарами. Онъ соединилъ проволоками вторичные полюсы индукціонной катушки J съ двумя прямолинейными проводниками aa_1 и bb_1, вслѣдствіе чего между шариками a и b проскакивали отдѣльныя разрядныя искры. При этомъ каждая такая разрядная искра представляетъ собою также колебательное явленіе. Разряды происходятъ здѣсь также путемъ колебаній, и въ виду того, что емкость этихъ прямолинейныхъ проводниковъ съ ихъ цилиндрами или пластинами, а также самоиндукція въ цѣпи очень незначительны, то и продолжительность колебаній будетъ очень мала. Емкость проволокъ $a\,a_1$ и $b\,b_1$ сама по себѣ настолько мала, что на нихъ можетъ находиться лишь очень незначительное количество электричества. Металлическіе цилиндры A и B увеличиваютъ емкость такого разрядника, которая все же значительно меньше емкости даже

Черт. 276.



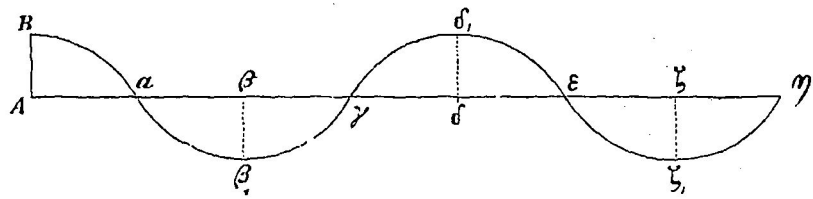
небольшой лейденской банки. Здѣсь продолжительность колебаній считается стомилліонными долями секунды. Явленіе разряда въ такихъ приборахъ слѣдуетъ представлять себѣ такъ: при размыканіи первичнаго тока въ J происходитъ индукціонный толчекъ, который заряжаетъ проводникъ aa_1A, положимъ, положительно, а проводникъ bb_1B—отрицательно. Эти оба противоположныхъ электричества тотчасъ нейтрализуются черезъ воздушный слой, находящійся между a и b; однако, это уравновѣшиваніе электричества происходитъ колебательнымъ образомъ, такъ что во всемъ прямолинейномъ проводникѣ, начиная отъ a_1 и кончая b_1, и въ промежуточномъ между ними слоѣ воздуха происходятъ колебанія. Разрядъ между a и b проходитъ при этомъ не по металлической проволокѣ индукціоннаго прибора, такъ какъ она имѣетъ слишкомъ большую самоиндукцію (и дѣйствуетъ, слѣдовательно, какъ реактивная катушка, стр. 259), а черезъ воздушный слой. Эти ряды колебаній, слѣдующихъ другъ за другомъ приблизительно черезъ одну стомилліонную часть секунды, происходятъ при каждой отдѣльной искрѣ размыканія. Эти колебанія совершенно исчезаютъ къ тому времени, когда при новомъ размыканіи первичной катушки пройдетъ второй толчекъ тока по направленію къ a и b. Послѣдній снова заряжаетъ A и B, снова путемъ колебаній происходитъ разрядъ и т. д.

Такія весьма быстрыя электрическія колебанія пріобрѣли чрезвычайно важное значеніе благодаря примѣненіямъ, которыя извлекъ изъ нихъ Герцъ, существенно расширившій своими замѣчательными изслѣдованіями надъ электрическими колебаніями область ученія объ электродинамикѣ.

Колебательное движеніе, возникающее въ мѣстѣ искры и въ граничащихъ съ нимъ проводникахъ, не сосредоточено, однако, только въ этихъ мѣстахъ. Электрическія колебанія вызываютъ также колебательныя движенія эфира, такъ какъ между электронами и эфиромъ существуетъ взаимодѣйствіе. Если близлежащій эфиръ приведенъ въ періодическое, направленное то въ ту, то въ другую сторону, движеніе, то оно должно распространиться въ эфирѣ во всѣ стороны, т. е. изъ мѣста искры во всѣ стороны должны пойти эти эфирныя волны, подобно тому, какъ отъ горящей спички во всѣ стороны идутъ свѣтовыя, т. е. тоже эфирныя волны. При этомъ предполагается, что эти электрическія движенія эфира имѣютъ конечную скорость распространенія, т. е. что движенія отъ одной частички эфира къ другой передаются не мгновенно, но въ нѣкоторый опредѣленный, хотя и весьма короткій промежутокъ времени. И въ свѣтовыхъ явленіяхъ волнообразное распространеніе движенія въ эфирѣ вокругъ свѣтящагося тѣла возникаетъ только потому, что свѣтъ требуетъ нѣкотораго времени для своего распространенія.

Если дѣйствительно индукціонныя дѣйствія требуютъ времени для своего распространенія, то можно легко дать себѣ отчетъ въ томъ, что происходитъ вблизи такого быстраго электрическаго колебанія. Предположимъ, напримѣръ, какъ это и есть въ дѣйствительности, что скорость, съ которой распространяются электрическія движенія въ эфирѣ, равна 300 милліонамъ метровъ въ секунду. Тогда произойдетъ слѣдующее. Пусть электрическія колебанія, продолжительность которыхъ равна одной десятимилліонной доли секунды, происходятъ вертикально вверхъ и внизъ, напр. между вертикально расположенными проволоками чертежа 276-го. Въ такомъ случаѣ, если это первичное колебаніе продолжалось въ $A\,B$ (черт. 277), уже нѣкоторое время и въ нѣкоторый извѣстный моментъ колебаніе въ AB происходитъ въ направленіи отъ A къ B, то въ этотъ же самый моментъ въ точкѣ β, находящейся въ разстояніи 15 м., движеніе произойдетъ какъ разъ

Черт. 277.



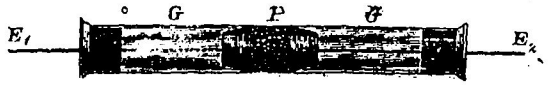
въ обратномъ направленіи отъ β къ β_1, въ точкѣ δ, находящійся въ разстояніи 30 м., въ томъ же направленіи, какъ и въ AB, по направленію отъ δ къ δ_1, и т. д. Между этими точками будутъ находиться такія точки, α, γ, ε, въ которыхъ въ этотъ моментъ не будетъ никакого движенія и которыя, слѣдовательно, будутъ оставаться въ этотъ моментъ въ покоѣ. Если бы мы имѣли приборъ, который могъ бы въ каждомъ данномъ мѣстѣ обнаружить электрическія движенія и поднесли бы его въ этотъ моментъ къ мѣстамъ α, β, γ, δ, ε, ζ, η и т. д., то мы могли бы наблюдать, что въ β и ζ движеніе происходитъ сверху внизъ, въ δ—снизу вверхъ, между тѣмъ какъ по серединѣ между ними, въ α, γ, ε, η, въ этотъ моментъ не происходитъ никакого движенія. Разстояніе $A\delta$ между двумя мѣстами, въ которыхъ колебанія одной величины и одинаково направлены, называется длиной волны колебанія. То же разстояніе существуетъ между α и ε и между β и ζ.

Теперь необходимо найти способъ, и въ этомъ заключается весь вопросъ, который могъ бы обнаружить существованіе и опредѣлить силу электрическихъ движеній въ любомъ мѣстѣ пространства вблизи источника электрическихъ колебаній. Такой способъ нашелъ Герцъ. Въ томъ мѣстѣ, гдѣ желательно было наблюдать электрическія движенія, онъ помѣщалъ проводникъ, имѣвшій въ одномъ мѣстѣ пере-

рывъ въ видѣ ничтожнаго воздушнаго слоя, т. е. почти вполнѣ замкнутую цѣпь изъ согнутой проволоки. Вслѣдствіе индукціонныхъ дѣйствій, существующихъ въ мѣстѣ нахожденія этого проводника, въ немъ возникаютъ электрическія напряженія, обнаруживающіяся проскакиваніемъ небольшихъ искръ въ мѣстѣ разрыва провода. Этимъ способомъ Герцъ дѣйствительно могъ доказать, что въ воздухѣ, окружающемъ искру, индукціонныя дѣйствія распространяются волнообразно, и даже могъ непосредственно измѣрить скорость, съ какой происходитъ это распространеніе. Оказалось, какъ сказано было выше, что скорость эта равна 300 милліонамъ метровъ въ секунду, т. е. что *она равна скорости свѣта*; о важныхъ слѣдствіяхъ, вытекающихъ изъ этого обстоятельства, мы скажемъ впослѣдствіи.

Впрочемъ, методъ, которымъ Герцъ обнаружилъ дѣйствія электрическаго разряда вдали отъ него, состоящій въ наблюденіи ничтожныхъ искорокъ, очень кропотливъ, и потому въ теченіе долгаго времени для воспроизведенія опытовъ Герца требовались значительныя вспомогательныя средства. Опыты эти стали удобны лишь съ того времени, какъ одинъ французскій ученый Бранли открылъ явленіе, которое въ высшей степени упрощаетъ изслѣдованіе подобныхъ электрическихъ волнъ. Бранли насыпалъ въ стеклянную трубку G (черт. 278) нѣкоторое количество крупныхъ металлическихъ опилокъ P и ввелъ въ трубку два электрода E_1 и E_2, соприкасающіеся съ опилками. Такъ какъ контактъ между отдѣльными зернами металла неполный, то такая система представляетъ для тока чрезвычайно большое, въ сотни тысячъ омовъ, сопротивленіе. Отъ гальваническаго элемента черезъ подобную трубку проходитъ лишь ничтожно слабый токъ. Но какъ только до этой трубки достигнутъ электрическія волны—это и было открыто Бранли—между отдѣльными зернами металла проскакиваютъ ничтожныя, совершенно незамѣтныя искорки, благодаря которымъ, однако, поверхности смежныхъ металлическихъ зеренъ спаиваются. Вслѣдствіе этого контактъ между ними улучшается и сопротивленіе трубки тотчасъ падаетъ до небольшой величины въ 5—10 омовъ. Тотъ самый гальваническій элементъ, который раньше не давалъ почти никакого тока, теперь будетъ производить въ цѣпи сильный токъ.

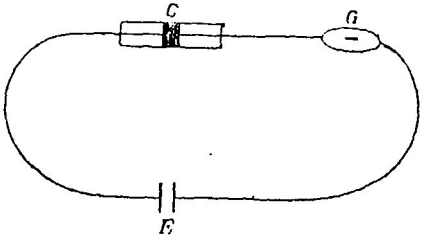
Черт. 278.



Такимъ образомъ, подобная трубка съ опилками—можно брать желѣзныя, никкелевыя, серебряныя и т. п. опилки—является очень чувствительнымъ приборомъ, обнаруживающимъ электрическія волны. Трубку эту обыкновенно называютъ *когереромъ*—очень неудачнымъ терминомъ, указывающимъ на то, что отдѣльныя частички металла

слипаются. Въ Германіи его часто называютъ фриттеромъ, хотя такому прибору, употребляющемуся въ разныхъ странахъ, надо было бы присвоить интернаціональное названіе, производное отъ латинскаго или греческаго слова. Для того, чтобы воспользоваться свойствами когерера, составляютъ цѣпь, какъ показано на черт. 279, изъ элемента E, когерера C и гальваноскопа G. Пока порошокъ когерера остается рыхлымъ, указатель гальваноскопа стоитъ на нулѣ. Но какъ только электрическія волны достигнутъ когерера, токъ начинаетъ проходить по цѣпи отъ E черезъ C и G, и стрѣлка гальваноскопа отклоняется. Тутъ тотчасъ же обнаруживается неудобство этой схемы. Разъ только электрическія волны достигли когерера, сопротивленіе его дѣлается небольшимъ и остается такимъ и тогда, когда волны прекратятся. При спокойномъ состояніи прибора нѣтъ основанія, чтобы спаявшіяся частички снова отдѣлились другъ отъ друга. Для этого достаточно, однако, встряхнуть трубочку легкимъ ударомъ; металлическія зерна раздѣляются, сопротивленіе когерера возрастаетъ и онъ снова можетъ функціонировать.

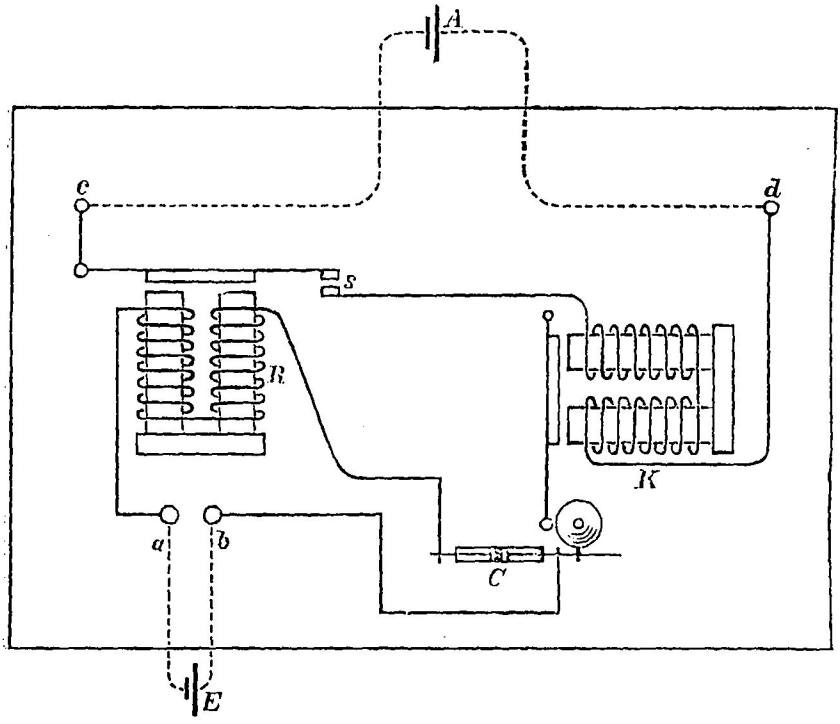
Черт. 279.



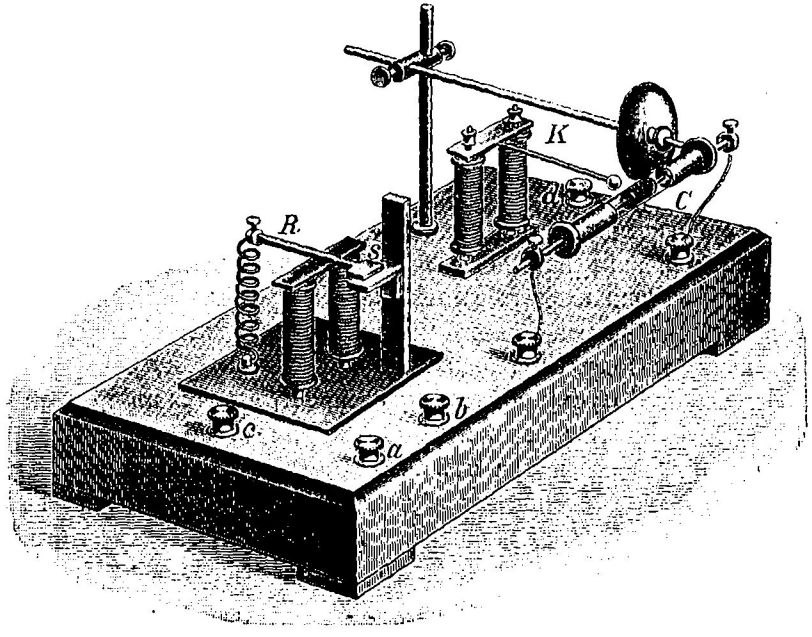
Такъ какъ это встряхиваніе когерера неудобно производить отъ руки, то съ этою цѣлью устраиваютъ весьма полезное автоматическое приспособленіе. Дѣлается это такъ, что въ то время, какъ токъ проходитъ черезъ когереръ, онъ проходитъ также и чрезъ электрическій звонокъ; молоточекъ звонка ударяетъ по когереру, вслѣдствіе чего сопротивленіе послѣдняго вновь дѣлается большимъ. При этомъ полезно совершенно изъять за ненадобностью гальванометръ изъ цѣпи, такъ какъ звонокъ самъ даетъ знать, что волны достигли когерера. Чаще къ когереру присоединяютъ небольшой электромагнитъ съ большимъ числомъ витковъ—такъ называемое р е л э—якорь котораго долженъ сдѣлать незначительное движеніе, чтобы замкнуть особую цѣпь, въ которой находится элементъ и электрическій звонокъ. Такое соединеніе изображено на черт. 280 *). Отъ элемента E токъ идетъ черезъ a, черезъ релэ B и черезъ когереръ C къ b и возвращается къ элементу. Какъ только якорь релэ притягивается и прикасается къ контатку s, токъ отъ элемента A проходитъ черезъ s и электрическій звонокъ K обратно къ элементу. Вслѣдствіе этого когереръ встряхнется, придетъ въ первоначальное состояніе и можетъ снова функціонировать. Подобный приборъ изображенъ на черт. 281; при

*) Она была впервые осуществлена А. С. Поповымъ.

Черт. 280.



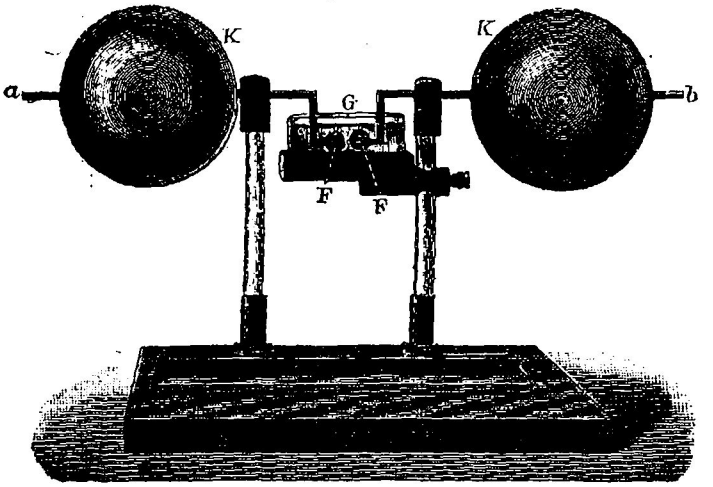
Черт. 281.



этомъ отдѣльныя части обозначены тѣми же буквами, какъ и на чертежѣ 280, а именно: *C*—когереръ, *K*—звонокъ и *R*—релэ.

Располагая подобнымъ когереромъ, легко можно обнаруживать даже чрезвычайно слабыя электрическія волны. Напримѣръ, мы можемъ возбуждать колебанія при помощи прибора, изображеннаго на черт. 282, который совершенно подобенъ прибору, употреблявшемуся Герцемъ (черт. 276). На двухъ стержняхъ *a* и *b* насажены для увеличенія емкости два большихъ шара *K* и *K* около 15 сантиметровъ діаметромъ. На обращенныхъ другъ къ другу концахъ стержней насажены маленькіе шарики *F*, *F*, между которыми происходитъ искровой разрядъ. Лучше всего не оставлять эти шарики въ воздухѣ, но погрузить ихъ, напримѣръ, въ керосинъ, налитый въ сосудъ *G*. Съ этой цѣлью концы стержней отогнуты внизъ подъ прямымъ угломъ. Примѣ-

Черт. 282.



неніе керосина представляетъ ту выгоду, что при прохожденіи искры поверхность шариковъ не будетъ окисляться; вслѣдствіе большого сопротивленія окислившагося слоя, окисленіе вредно отражается на дѣйствіи этого прибора, какъ источника электрическихъ волнъ. Токъ отъ индукціонной катушки входитъ въ эту систему проводниковъ въ точкахъ *a* и *b*. Искры, возникающія между *F* и *F*, возбуждаютъ электрическія волны, длина которыхъ доходитъ до нѣсколькихъ метровъ, т. е. довольно велика. Поэтому волны эти распространяются въ пространствѣ подобно звуковымъ волнамъ и гдѣ бы мы ни расположили когереръ, въ разстояніи одного метра отъ искрового промежутка, онъ всюду будетъ реагировать, и звонокъ его будетъ звонить. Такія длинныя волны не распространяются прямолинейно, подобно короткимъ свѣтовымъ волнамъ, но идутъ по всѣмъ направленіямъ и огибаютъ встрѣчающіяся на ихъ пути препятствія, подобно звуковымъ волнамъ.

Если желательно получить волны меньшей длины, которыя не съ такой легкостью распространялись бы по всѣмъ направленіямъ, то необходимо, чтобы искровой разрядъ происходилъ между проводниками значительно меньшихъ размѣровъ, между проводниками съ меньшей емкостью. Подобныя весьма частыя электрическія колебанія, число которыхъ въ 1 секунду доходитъ до нѣсколькихъ милліардовъ и даже сотни милліардовъ, удается получать, производя искровой разрядъ между проводниками все меньшей и меньшей величины. Конечно, сила такихъ колебаній при небольшихъ проводникахъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, также гораздо меньше, чѣмъ при большихъ проводникахъ, въ зависимости отъ меньшаго количества электричества, которымъ заряжены небольшіе проводники, и движеніемъ котораго вызываются колебанія.

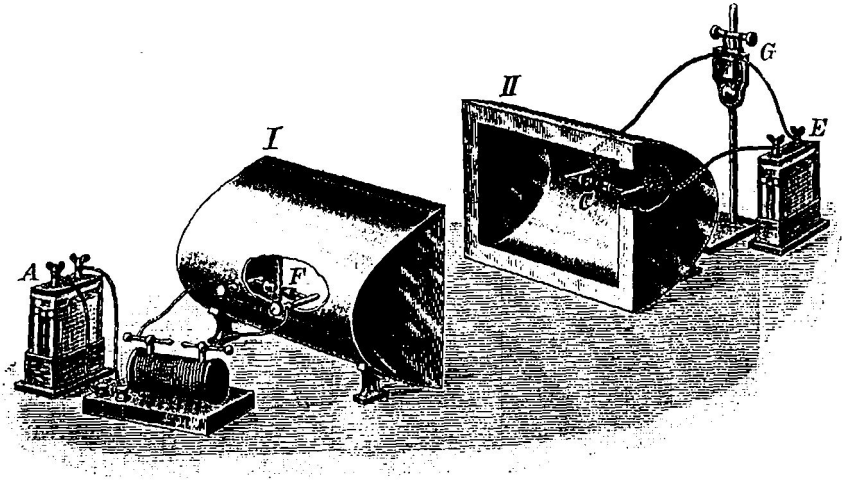
Если извѣстенъ періодъ колебаній вибратора и если можно измѣрить длину волны такого колебанія—въ дальнѣйшемъ мы увидимъ, какъ можно это сдѣлать,—то въ такомъ случаѣ можно вычислить и величину скорости, съ которою электрическія волны распространяются въ эфирѣ воздуха. Такъ какъ въ теченіи времени о д н о г о полнаго колебанія волнообразное движеніе распространяется какъ разъ на длину о д н о й волны, то вообще при всякомъ волнообразномъ движеніи скорость распространенія $= \frac{\text{длина волны}}{\text{продолжительность полнаго колебанія}}$. Такіе опыты и вычисленія Герцъ дѣйствительно произвелъ и нашелъ при этомъ, что скорость распространенія электрическихъ волнъ, какъ сказано выше, очень велика, а именно равна 300000 километровъ въ секунду.

Этотъ результатъ чрезвычайно важенъ, такъ какъ полученная скорость равна той, съ какою въ пространствѣ распространяется с в ѣ т ъ. Электрическія волны проходятъ, слѣдовательно, пространство съ такою же скоростью, какъ и свѣтовыя волны. Такъ какъ въ виду такой скорости распространенія свѣта допускаютъ, что среда, черезъ которую проходятъ свѣтовыя волны, должна представлять собой тонкое упругое вещество—э ф и р ъ, то мы должны признать правильнымъ и то, что мы допускали уже раньше, а именно, что электрическія волны распространяются черезъ эфиръ. Мы можемъ пойти еще далѣе и сказать, что свѣтовыя и электрическія явленія представляютъ собой совершенно одно и то же, а именно—колебанія эфира, различающіяся лишь по численнымъ соотношеніямъ. Свѣтовыя волны, дѣйствующія на нашъ глазъ, имѣютъ длину, смотря по цвѣту, отъ 4 до $7^1/_2$ десятитысячныхъ миллиметра. Болѣе длинныя волны, длиною въ 80 или 100 тысячныхъ миллиметра, попадая на весьма чувствительные приборы, дѣйствуютъ на нихъ лишь термически и вызываютъ нагрѣваніе. Наши электрическія волны еще гораздо больше; длина ихъ равна нѣсколькимъ сантиметрамъ или метрамъ. Разница тутъ, слѣдовательно, только

количественная. Итакъ, на основаніи предыдущихъ опытовъ можно сказать, что электрическія волны весьма короткаго періода колебанія представляются намъ свѣтовыми волнами или, что эфирныя волны сравнительно большого періода колебанія мы не ощущаемъ въ видѣ свѣта, а обнаруживаемъ по ихъ индукціоннымъ дѣйствіямъ—это волны электрическія.

Если же это справедливо—а въ нашихъ выводахъ повидимому нѣтъ неточностей,—то должна существовать возможность съ помощью электрическихъ волнъ воспроизводить тѣ же явленія, что и съ помощью свѣтовыхъ волнъ. Эти дальнѣйшіе выводы впервые экспериментально доказалъ также Герцъ. Онъ установилъ, что электрическія волны отражаются отъ металлическихъ поверхностей такъ же, какъ свѣтовыя волны отъ зеркала, и что онѣ, подобно свѣту, отклоняются

Черт. 283.

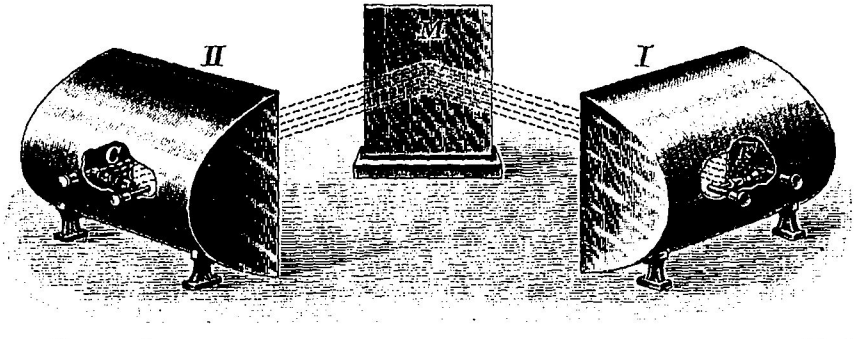


призмами. Далѣе, явленіемъ отраженія онъ воспользовался для того, чтобы при помощи вогнутаго зеркала сконцентрировать электрическія волны. Когда Герцъ помѣстилъ искровой промежутокъ, въ которомъ возбуждаются волны, въ фокальную линію параболическаго цилиндра, то послѣдній производилъ тѣ же дѣйствія, какія производитъ на свѣтъ вогнутое зеркало: цилиндръ отражалъ волны сконцентрированными—въ видѣ пучка электрическихъ лучей, выходившаго изъ отверстія вогнутаго зеркала. Получивъ такой пучекъ, Герцъ могъ прослѣдить электрическія дѣйствія гораздо далѣе—болѣе, чѣмъ на 30 метровъ—сравнительно съ тѣмъ, что было возможно при несконцентрированныхъ волнахъ. Съ короткими волнами, которыя теперь научились получать, можно очень легко воспроизвести въ небольшихъ размѣрахъ опыты Герца, въ особенности, если, при помощи параболически изогнутаго металлическаго цилиндра—своего рода зеркала,—сконцентри-

ровать ихъ въ одномъ направленіи. На чертежѣ 283 изображено расположеніе приборовъ для такого опыта. Мы видимъ на немъ два параболическихъ зеркала, сдѣланныхъ изъ металла. На фокальной линіи одного зеркала I расположенъ искровой промежутокъ *F*, въ которомъ получаются волны, на фокальной же линіи другого зеркала II находится когереръ *C*. Искровой промежутокъ *F* состоитъ изъ двухъ небольшихъ, расположенныхъ другъ противъ друга, металлическихъ частей, которыя проволоками, проходящими сквозь зеркало, соединены съ маленькой индукціонной катушкой *I*. Также и когереръ *C*, находящійся во второмъ зеркалѣ, при помощи проволокъ, проходящихъ черезъ зеркало, соединяется съ элементомъ *E* и электрическимъ звонкомъ *G*. Когда зеркала расположены, какъ показано на чертежѣ, другъ противъ друга, и индукціонная катушка приведена въ дѣйствіе, то въ *F* проскакиваютъ искорки, когереръ тотчасъ же начинаетъ реагировать, и звонокъ начинаетъ звонить. Такъ какъ этотъ когереръ не приводится автоматически въ сотрясеніе, то для того, чтобы привести его въ первоначальное состояніе—какъ говорится: декогерировать,—его надо слегка ударять рукой. Если когереръ вывести изъ направленія лучей перваго зеркала, то онъ перестаетъ функціонировать.

То же самое произойдетъ, если между обоими зеркалами поставить металлическій экранъ. Такимъ образомъ электрическія волны не проходятъ сквозь металлы. Напротивъ того, черезъ изоляторы, какъ стекло, парафинъ, эбонитъ, сѣра, дерево, волны эти проходятъ совершенно свободно; черезъ запертую дверь онѣ могутъ проникать изъ одной комнаты въ другую. Можно даже услышать, что въ совершенно запертой комнатѣ звонокъ когерера начинаетъ звонить въ то время какъ электрическія волны возбуждаются внѣ ея въ другой комнатѣ.

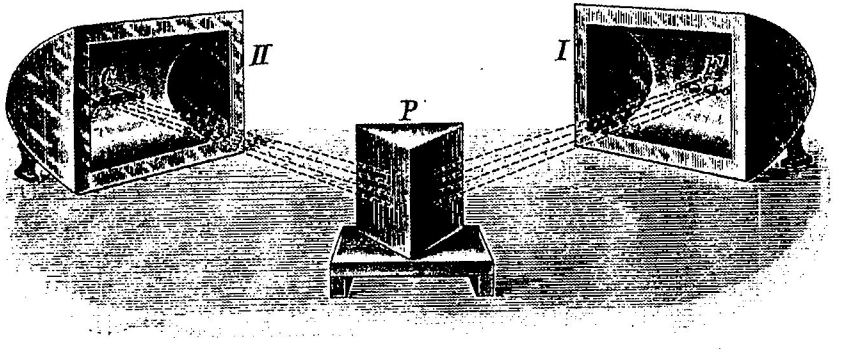
Черт. 284.



Если оба зеркала поставить не другъ противъ друга, а одно въ сторонѣ отъ другого, то когереръ остается въ покоѣ. Но если, какъ показано на чертежѣ 284, заставить электрическіе лучи, получаю-

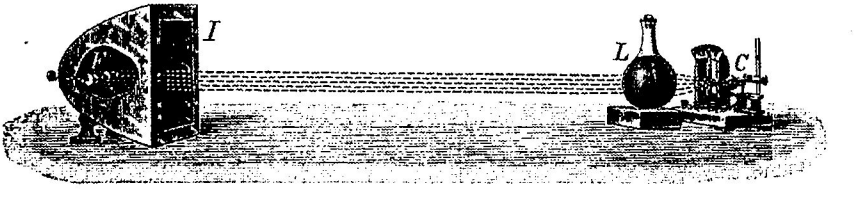
щіеся отъ перваго зеркала, падать на металлическій экранъ M, то они отразятся отъ экрана и легко можно найти такое положеніе металлическаго экрана, что отраженные лучи упадутъ на второе зеркало и когереръ и тѣмъ самымъ приведутъ послѣдній въ дѣйствіе. Такимъ образомъ, электрическіе лучи отражаются совершенно такъ же, какъ и свѣтовые.

Черт. 285.



Далѣе, подобно тому какъ свѣтовые лучи преломляются призмой, и электрическіе лучи могутъ претерпѣвать преломленіе. Если на пути электрическихъ лучей, идущихъ отъ перваго зеркала (черт. 285), помѣстить призму изъ парафина, съ ребромъ приблизительно въ 15 см. длиной, то электрическіе лучи, подобно свѣтовымъ, отклонятся къ основанію призмы и тѣмъ самымъ могутъ привести въ дѣйствіе когереръ, стоящій въ сторонѣ, внутри своего зеркала II. Отсюда слѣдуетъ, что, пользуясь линзой, можно собрать электрическіе лучи въ нѣко-

Черт. 286.



торомъ фокусѣ, такъ какъ дѣйствіе линзъ, такъ же какъ и дѣйствіе призмъ, основано на преломленіи. При этихъ волнахъ, длиною въ нѣсколько сантиметровъ, нѣтъ надобности считаться съ особой правильностью формы линзы. Въ качествѣ линзы прекрасно можетъ служить обыкновенная круглая стеклянная колба, наполненная какимъ нибудь жидкимъ изоляторомъ, напр. керосиномъ. Если поставить автоматическій когереръ *C* (черт. 286) настолько далеко отъ зеркала и его искрового промежутка, чтобы онъ самъ собой уже не испытывалъ дѣйствія, то его снова можно привести въ дѣйствіе, располож

между зеркалами сосудъ L, дѣйствующій подобно линзѣ. Эти явленія и значительное число другихъ,—извѣстныя въ области свѣта, могутъ быть, слѣдовательно, воспроизведены съ электрическими лучами и потому можно считать окончательно установленной тождественность этихъ двухъ родовъ явленій.

Этими открытіями положено начало пониманія многихъ электрическихъ явленій. Электрическія колебанія распространяются черезъ воздухъ и вообще черезъ всякій діэлектрикъ совершенно такъ же, какъ и свѣтовыя колебанія, т. е. со скоростью свѣта и въ видѣ поперечныхъ колебаній. Электрическое движеніе въ каждой точкѣ діэлектрика перпендикулярно направленію, вдоль котораго это движеніе распространяется дальше по діэлектрику. Такъ нужно представлять себѣ картину поперечныхъ волнъ. Подобныя волны образуются, напримѣръ, на поверхности пруда, если въ него бросить камень. Каждая частица воды движется при этомъ—колеблется—вертикально, вверхъ и внизъ, но само это движеніе распространяется (кругами) по поверхности пруда. Такимъ образомъ, колебательное движеніе каждой частицы воды перпендикулярно тому направленію, вдоль котораго волны распространяются. Тоже самое происходитъ, когда гдѣ-либо въ пространствѣ будетъ зажжена спичка. Отъ пламени колебательное движеніе сообщится эфиру и будетъ распространяться по всѣмъ направленіямъ (сферическими волнами), при чемъ движеніе каждой частицы эфира будетъ происходить не въ направленіи распространенія колебаній, а перпендикулярно къ нему. Это будутъ свѣтовыя волны. Подобно этому, если мы возбудимъ въ двухъ горизонтально расположенныхъ другъ противъ друга проводникахъ, какъ мы это дѣлали въ искровомъ промежуткѣ нашего перваго зеркала, при помощи электрической искры колебательное движеніе (аналогія съ горящей спичкой), то это движеніе распространится черезъ эфиръ вправо или влѣво и каждая частичка эфира будетъ совершать движеніе впередъ или назадъ, перпендикулярно къ направленію распространенія движенія.

Электрическія колебанія, получающіяся отъ разряда большихъ или малыхъ конденсаторовъ, совершенно однородны со свѣтовыми волнами, и также распространяются въ эфирѣ, при чемъ число этихъ колебаній достигаетъ нѣсколькихъ милліоновъ или даже милліардовъ въ секунду. Правда, число колебаній свѣтовыхъ волнъ еще больше и равно нѣсколькимъ билліонамъ, но для насъ важно лишь то, что какъ тѣ, такъ и другія являются чрезвычайно быстрыми. Однако, въ другомъ отношеніи, а именно въ отношеніи длинъ волнъ, электрическія колебанія болѣе сходны съ звуковыми волнами. Электрическія колебанія, которыя мы легко можемъ получать, имѣютъ, какъ извѣстно, длину волны въ нѣсколько сантиметровъ или даже метровъ; ту же длину

имѣютъ въ воздухѣ и звуковыя волны. Напримѣръ, тонъ c первой октавы (c^1) имѣетъ въ воздухѣ длину волны приблизительно въ одинъ метръ, тонъ же c четвертой октавы (c^4)—въ 16 сантиметровъ и т. д. Хотя эти тона и имѣютъ сравнительно съ соотвѣтственными электрическими колебаніями очень незначительное число колебаній—всего сто или тысячу сравнительно съ милліардами—однако длина ихъ волнъ приблизительно та же. Это происходитъ вслѣдствіе того, что звуковыя колебанія распространяются въ воздухѣ сравнительно съ небольшой скоростью (330 метровъ въ секунду), тогда какъ электрическія волны распространяются въ эфирѣ, какъ выше было сказано, съ чрезвычайной быстротой. Это сходство въ длинахъ волнъ между звуковыми и электрическими колебаніями дало намъ возможность вызвать явленія резонанса у электрическихъ волнъ (см. выше стр. 310).

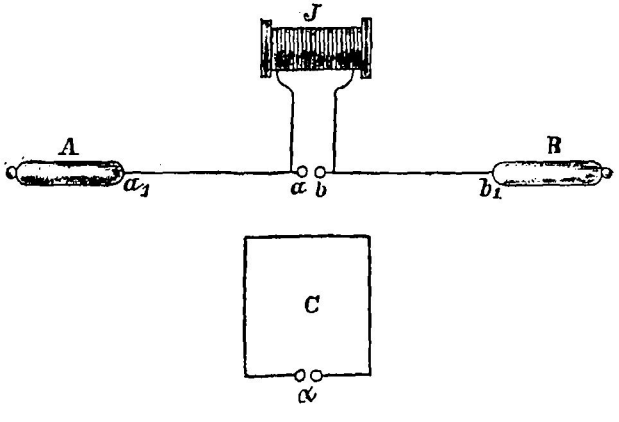
Раньше мы получили резонансъ при колебаніяхъ, происходящихъ отъ разряда лейденскихъ банокъ, при чемъ число этихъ колебаній равно одному милліону въ секунду. Однако, и при такихъ быстрыхъ колебаніяхъ, которыя получилъ Герцъ, легко удается вызвать явленіе резонанса; впервые это доказалъ самъ Герцъ. Для этой цѣли мы снова (какъ на стр. 320) вызываемъ электрическія колебанія въ прямолинейной проволокѣ a_1abb_1, съ искровымъ промежуткомъ и цилиндрами A и B на обоихъ ея концахъ; вблизи этой проволоки, колебанія которой мы будемъ называть первичными колебаніями, помѣщается проволочный почти замкнутый четыреугольникъ C, имѣющій перерывъ въ видѣ небольшого искрового промежутка α, который мы предполагаемъ регулируемымъ. Электрическія колебанія, происходящія въ A и B, вызываютъ, конечно, при помощи индукціи (вторичныя) электрическія колебанія въ четыреугольникѣ C, обнаруживающіяся появленіемъ искорокъ въ α. Эти вторичныя колебанія можно—при томъ же положеніи C относительно первичной цѣпи—значительно усилить, если настроить проволочную цѣпь C и первичныя колебанія, т. е. если получить резонансъ между ними.

Такъ какъ число электрическихъ колебаній въ проволочной системѣ зависитъ отъ ея емкости и самоиндукціи, то отсюда слѣдуетъ, что мы можемъ настроить наши системы путемъ измѣненія въ первичной системѣ $AabB$, во вторичной C, или въ обѣихъ вмѣстѣ, ихъ емкости или самоиндукціи. Напримѣръ, мы можемъ увеличить емкость цилиндровъ A B, дѣлая больше ихъ поверхность, навѣшиваніемъ на нихъ кусочковъ станіоля, или увеличить самоиндукцію первичной цѣпи, взявъ, вмѣсто прямолинейныхъ проволокъ aa и bb, проволоки, изогнутыя въ видѣ спирали. Кромѣ того можно увеличить емкость цѣпи C, навѣшивая на составляющія ее проволоки кусочки станіоля различной величины; наконецъ, можно измѣнять ея самоиндукцію, вводя въ C вмѣсто прямыхъ проволокъ спиралеобразныя,

или измѣняя длину ея сторонъ. Этими способами мы имѣемъ возможность настроить проволочную цѣпь C и первичную систему $AaBb$ и вызвать между ними явленіе резонанса,—что обнаруживается по происходящимъ въ C значительно болѣе сильнымъ колебаніямъ, дающимъ болѣе сильныя и болѣе длинныя искорки въ α. Явленіе резонанса при электрическихъ колебаніяхъ играетъ большую роль въ современномъ развитіи безпроволочной телеграфіи.

Въ опытахъ Зейбта (стр. 311) мы имѣли двѣ настроенныя системы, соединенныя другъ съ другомъ непосредственно, т. е. при помощи проволокъ, въ опытѣ же, изображенномъ на черт. 287, имѣется индуктивная связь, такъ какъ системы дѣйствуютъ здѣсь другъ на друга исключительно при помощи индукціи и не соединены проволокой. При такой индуктивной связи можно различать еще нѣсколько главныхъ случаевъ. А именно когда резонирующая цѣпь C находится очень близко къ первичной, то продолжительность колебаній въ послѣдней сама нѣсколько мѣняется—она не будетъ той же, какой была бы, если бы резонирующая цѣпь находилась вдали отъ первичной. Это можно объяснить тѣмъ, что, вслѣдствіе большой близости вторичной цѣпи, образуется своего рода конденсаторъ, благодаря чему измѣняется емкость первичной цѣпи, а вмѣстѣ съ тѣмъ и продолжительность въ ней колебаній. Въ такомъ случаѣ говорится, что цѣпи колебаній связаны тѣсно. Чѣмъ больше удаляютъ вторичную цѣпь отъ первичной, тѣмъ слабѣе будетъ ея обратное дѣйствіе; можно найти такое разстояніе, при которомъ, резонирующая цѣпь хотя и реагируетъ, но не производитъ замѣтнаго обратнаго дѣйствія на первичную. Подобное (индуктивное) соединеніе называютъ слабою связью. Положимъ, что при такомъ соединеніи на резонаторъ переносится 5% всей энергіи вибратора, и что въ ней возникаютъ колебанія подъ вліяніемъ этой части энергіи. Тогда снова 5% энергіи этихъ колебаній переносятся на первичную цѣпь и такимъ образомъ энергія первичной цѣпи измѣняется всего лишъ на $^1/_4\%$, т. е. на совершенно незамѣтную величину.

Черт. 287.

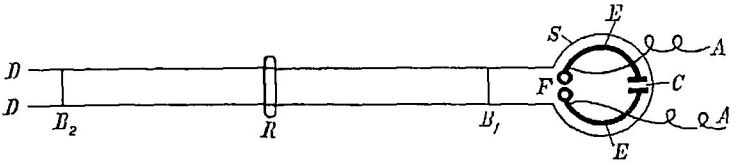


Каждая изъ колебательныхъ цѣпей можетъ при этомъ быть или почти замкнутой, или совсѣмъ незамкнутой. На черт. 287 возбуждающая цѣпь колебаній AB, состоящая изъ двухъ длинныхъ, вытянутыхъ въ прямую линію, проволокъ, не замкнута, тогда какъ резонирующая цѣпь C почти замкнута. Въ опытахъ Зейбта (стр. 311) было какъ разъ обратное: первичная цѣпь колебаній была почти замкнута, резонирующая же—состоявшая изъ двухъ катушекъ—была незамкнутой; эта послѣдняя установка часто употребляется въ телеграфіи безъ проводовъ.

До сихъ поръ мы все говорили объ электрическихъ волнахъ большой и малой длины, но не разсматривали ни одного способа, который бы позволялъ измѣрять длины волнъ на практикѣ. Измѣренія же эти очень важны, такъ какъ, зная длину волны, производимой какимъ-нибудь вибраторомъ, можно тотчасъ же опредѣлить и продолжительность его колебанія (періодъ), вслѣдствіе того, что скорость распространенія колебаній $= \frac{\text{длина волны}}{\text{продолжительность колебанія}}$, величина же самой скорости распространенія колебаній извѣстна, а именно она равна скорости свѣта (300.000 километровъ въ секунду).

Измѣреніе длины электрическихъ волнъ особенно важно, когда имѣютъ дѣло съ чрезвычайно быстрыми колебаніями; для полученія такихъ колебаній оказался особенно пригоднымъ вибраторъ Блондло. Мы опишемъ теперь этотъ вибраторъ вмѣстѣ съ установкой, при помощи которой можно измѣрить вызываемыя имъ электрическія волны. Вибраторъ состоитъ (черт. 288) изъ двухъ толстыхъ, согнутыхъ въ видѣ полукруговъ, проволокъ EE, на концахъ которыхъ въ F имѣются небольшіе шарики, а въ C маленькія пластинки, образующія конденсаторъ. Пластинки въ C можно, впрочемъ, совсѣмъ не дѣлать.

Черт. 288.

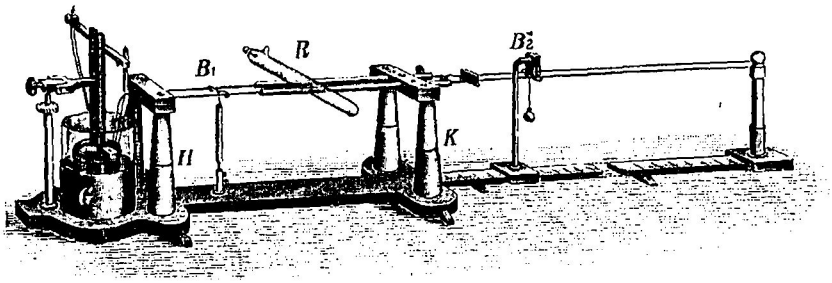


Весь приборъ погруженъ въ керосинъ. Провода отъ индукціонной катушки идутъ къ маленькимъ шарикамъ, между которыми проскакиваютъ искры, имѣющія колебательный характеръ и вызывающія въ проволокахъ EE движенія электричества въ ту и другую сторону. Для опредѣленія длинъ волнъ возникающихъ колебаній вибраторъ окружаютъ на небольшомъ отъ него разстояніи проволокой, имѣющей форму круга S, которая переходитъ затѣмъ въ прямолинейныя проволоки DD. Проволочный кругъ S также погружается въ керосинъ. Идущія отъ него проволоки изолированы и натянуты на доскѣ. Ле-

херъ примѣнилъ двѣ такія параллельныя проволоки, и потому ихъ часто называютъ проволоками Лехера. Благодаря индукціи, вибраторъ возбуждаетъ электрическія колебанія также и въ кругѣ S, которыя затѣмъ распространяются по проволокамъ. Если въ какомъ-нибудь мѣстѣ B_1 положить на проволоки металлическую дугу — такъ называемый мостикъ, — то колебанія начинаютъ происходить такъ, какъ если бы въ B_1 находился узелъ, т. е. въ этомъ мѣстѣ обѣихъ проволокъ не происходитъ никакого электрическаго движенія. Положеніе точки B_1 дѣйствуетъ на колебанія вибратора, и вообще радіаторъ, когда онъ совершенно свободенъ, имѣетъ иную продолжительность колебанія, чѣмъ когда онъ окруженъ проволочнымъ кольцомъ S. Итакъ, хотя въ точкѣ B_1 не происходитъ никакого движенія, все же волны, пройдя B_1, распространяются вдоль параллельныхъ проволокъ DD_1 и тамъ снова происходятъ электрическія движенія. Если за B_1 положить на проволоки стеклянную трубку R, въ которой произведено сильное разрѣженіе — такъ называемую гейслерову трубку — (лучше всего содержащую сильно разрѣженный гелій), то она начинаетъ свѣтиться. Находящійся въ ней сильно разрѣженный газъ будетъ приведенъ электрическими колебаніями въ состояніе свѣченія. Если за геліевой трубкой положить на проволоки второй мостикъ B_2, то трубка тотчасъ же перестаетъ свѣтиться. Она остается темной и тогда, когда мы передвигаемъ мостикъ B_2. Но если мы передвигаемъ B_2, дойдемъ какъ разъ до нѣкотораго опредѣленнаго положенія, которое указано на чертежѣ, то трубка R сразу вспыхнетъ. Если B_2 передвинуть изъ этого мѣста дальше, то трубка опять потухнетъ, и снова вспыхнетъ, когда мы дойдемъ до другого опредѣленнаго мѣста. Итакъ при опредѣленныхъ положеніяхъ B_2 трубка R начинаетъ свѣтиться, при всякихъ же другихъ положеніяхъ B_2 она остается темной. Отсюда ясно, что трубка можетъ свѣтиться только тогда, когда въ томъ мѣстѣ, гдѣ она находится, происходятъ электрическія колебанія не нарушаемыя мостикомъ B_2. Мостикъ же B_2 можетъ только въ томъ случаѣ не нарушать электрическихъ движеній, если онъ находится въ узлѣ, гдѣ вообще никакихъ движеній не происходитъ. Это является непремѣннымъ условіемъ свѣченія трубки. Итакъ оказывается, что въ B_1 и въ B_2 находятся узлы движеній. Разстояніе же между двумя сосѣдними узлами при волнообразномъ движеніи всегда равно половинѣ длины волны этого колебанія. Такимъ образомъ длина волны, производимой нашимъ приборомъ, измѣрена: она вдвое больше разстоянія между двумя сосѣдними узлами въ параллельныхъ проволокахъ. Когда вибраторъ Блондло не имѣетъ конденсатора C, то длина его волны приблизительно равна также и удвоенной длинѣ обѣихъ полукруглыхъ проволокъ EE. Слѣдовательно при кругѣ, имѣющемъ радіусъ въ 5 см., длина волны равна приблизительно 60 см.

Производство этого опыта очень удобно при помощи прибора Друде (черт. 289). Мы видимъ, что на подставкѣ расположенъ стеклянный сосудъ G, въ которомъ находится вибраторъ Блондло и окружающая его проволока. Отъ этой послѣдней протянуты на эбонитовыхъ ножкахъ H и K параллельныя проволоки; на нихъ при помощи пружинъ лежитъ мостикъ B_1, тогда какъ мостикъ B_2 можетъ быть передвигаемъ вдоль линейки съ дѣленіями, пока не вспыхнетъ гейслерова трубка.

Черт. 289.



До сихъ поръ мы всегда всѣ электрическіе токи въ проволокахъ, независимо отъ того, были ли эти токи постоянные, перемѣнные или, какъ въ этой главѣ, электрическія колебанія, сводили къ движенію электроновъ въ проволокахъ. Поэтому мы должны теперь допустить, что въ проволокахъ, въ которыхъ происходятъ электрическія колебанія, колеблятся сами электроны подобно тому, какъ въ свисткѣ колеблятся частички воздуха. Съ другой стороны мы видѣли уже, что такія колебанія распространяются черезъ эфиръ и могутъ такимъ образомъ посылать волны вдаль безъ посредства проволоки. Отсюда мы должны заключить, что, какъ мы это знали и раньше, каждый движущійся электронъ приводитъ въ движеніе лежащій близь него эфиръ и, наоборотъ, самъ приходитъ въ движеніе подъ вліяніемъ движущагося эфира. Распространеніе электрическихъ волнъ въ проволокахъ мы должны себѣ представлять слѣдующимъ образомъ. Прежде всего въ колебаніе приводится первый слой электроновъ (лежащихъ въ искровомъ промежуткѣ); они приводятъ въ колебаніе окружающій эфиръ, и эти послѣднія колебанія распространяются со скоростью свѣта уже въ эфирѣ, слѣдовательно внѣ проволокъ и по ихъ поверхности. Эти, распространяющіяся по поверхности проволокъ, эфирныя волны въ свою очередь заставляютъ колебаться электроны, находящіеся повсюду въ металлѣ, а потому и происходитъ, что электрическія волны распространяются вдоль проволокъ съ той же самой скоростью, какъ и въ эфирѣ.

ГЛАВА XII.

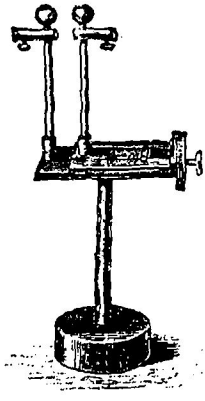
Прохожденіе электричества черезъ газы. Лучи Рентгена.

Во всѣхъ предыдущихъ главахъ упоминалось лишь вскользь о взаимоотношеніяхъ между электричествомъ и воздухомъ или другими газами. Мы подробно разбирали свойства металловъ, жидкостей и діэлектриковъ по отношенію къ прохожденію тока, но вовсе не касались свойствъ газовъ. На это у насъ были основательныя причины. Дѣло въ томъ, что газы оказываются въ очень сложномъ отношеніи къ электричеству; они обнаруживаютъ цѣлый рядъ весьма разнообразныхъ явленій, и лишь мало-по-малу удалось провести объединяющую точку зрѣнія посреди путаницы частностей и подчинить эти явленія простымъ закономѣрностямъ.

Одно изъ наиболѣе извѣстныхъ электрическихъ явленій въ газахъ есть электрическая искра. Если приближать другъ къ другу два противоположно наэлектризованныхъ проводника, то, прежде чѣмъ они придутъ въ соприкосновеніе, т. е. пока ихъ еще будетъ раздѣлять воздушный промежутокъ, между ними съ трескомъ проскочитъ свѣтлая искра. Эта искра производитъ разряженіе обоихъ проводниковъ, въ чемъ мы убѣждаемся, изслѣдуя ихъ послѣ прохожденія искры и находя ихъ ненаэлектризованными. Слѣдовательно, электричество переходитъ черезъ воздухъ съ одного проводника на другой въ то время, пока продолжается эта искра. Но этотъ переходъ, простой на первый взглядъ, есть въ сущности явленіе колебательное, какъ мы это уже видѣли на стр. 306; это обстоятельство, однако, мы пока не будемъ принимать во вниманіе.

Разстояніе, на которомъ должны находиться другъ отъ друга оба проводника, для того, чтобы между ними появилась искра, зависитъ, главнымъ образомъ, отъ разности напряженій между ними, а частью и отъ формы проводниковъ. То разстояніе между двумя заряженными проводниками, при которомъ проскакиваетъ искра, называютъ длиною искры при данной разности напряженій. Чѣмъ больше разность напряженій обоихъ проводниковъ, тѣмъ больше и длина искры. Для из-

Черт. 290.



мѣренія длины искры пользуются обыкновенно искромѣромъ (черт. 290); онъ состоитъ изъ двухъ шариковъ, установленныхъ на стеклянныхъ подставкахъ, одинъ изъ которыхъ можетъ при помощи микрометреннаго винта придвигаться къ другому. Шарики эти соединяются съ проводниками при помощи проволокъ. Разстояніе между двумя шариками, при которомъ перескакиваетъ между ними искра, можетъ служить, слѣдовательно, мѣрою разности напряженій, существующей между ними. Сэръ В. Томсонъ (лордъ Кельвинъ) первый измѣрилъ разность напряженій въ абсолютной мѣрѣ—въ вольтахъ, соотвѣтствующую извѣстной длинѣ искры; изъ результатовъ его изслѣдованій, а также и другихъ, вытекаетъ слѣдующая таблица:

Длина искры между шариками.	Разность напряженій въ вольтахъ.
0,5 мм.	2910
1,0 „	4830
3,0 „	11460
6,0 „	20470
10,0 „	25410
15,0 „	29340
20,0 „	31350

Отсюда мы видимъ, что для полученія искры длиною въ полъ-миллиметра необходимо уже напряженіе почти въ 3000 вольтъ, и что съ увеличеніемъ длины искры въ началѣ быстро растетъ и соотвѣтствующая разность напряженій. Итакъ воздухъ представляетъ для прохожденія электричества очень большое сопротивленіе, которое могутъ преодолѣть лишь весьма высокія напряженія.

Невольно возникаетъ вопросъ: при всѣхъ-ли обстоятельствахъ эти явленія въ воздухѣ происходятъ одинаковымъ образомъ. Такъ, напр., при помощи воздушныхъ насосовъ, въ извѣстномъ пространствѣ можно разрѣдить воздухъ до желаемой степени; будутъ ли въ разрѣженномъ воздухѣ происходить тѣ же явленія? Этотъ вопросъ былъ изслѣдованъ впервые въ 1854 г. Гассіо во Франціи; затѣмъ въ 1858 году Плюккеръ въ Боннѣ изслѣдовалъ этотъ вопросъ еще болѣе обстоятельно. Послѣдній пользовался услугами извѣстнаго стеклодува Гейсслера въ Боннѣ, благодаря искусству котораго производство опытовъ было существенно облегчено. Для того, чтобы производить опыты съ разрѣженнымъ воздухомъ, изъ сосуда (стекляннаго, если желаютъ что-нибудь видѣть) выкачиваютъ при помощи воздушнаго насоса находящійся въ немъ воздухъ до желаемаго разрѣженія. Когда требуемое въ сосудѣ разрѣженіе достигнуто, его или закрываютъ кра-

номъ, или запаиваютъ. Если желательно наполнить сосудъ не воздухомъ, а другимъ разрѣженнымъ газомъ, то необходимо сперва совершенно выкачать воздухъ изъ сосуда, затѣмъ наполнить его другимъ газомъ и тогда вторичнымъ выкачиваніемъ разрѣдить послѣдній до желаемой степени.

Извѣстно, что давленіе газа измѣряется высотою, выраженною въ миллиметрахъ ртутнаго столба, которымъ оно уравновѣшивается. Газъ подъ давленіемъ одной атмосферы, подъ каковымъ давленіемъ находится и окружающій насъ воздухъ, имѣетъ давленіе въ 760 мм. (ртути) на уровнѣ моря и болѣе слабое давленіе въ мѣстахъ, расположенныхъ выше. Итакъ, если посредствомъ выкачиванія давленіе въ сосудѣ доведено до 1 мм., то въ сосудѣ находится только 760-я часть того количества воздуха, которое въ немъ было раньше.

Для того, чтобы пропустить электрическій токъ черезъ разрѣженный газъ, нужно въ сосудъ съ газомъ ввести (впаять или вмазать) двѣ проволоки, которыя можно было бы потомъ соединять съ источникомъ электричества. Эти проволоки называютъ и въ данномъ случаѣ электродами, причемъ положительный электродъ называютъ

Черт. 291.



анодомъ, а отрицательный—катодомъ. Электродами могутъ быть обыкновенныя проволоки, или же въ случаѣ надобности къ проволокамъ могутъ прикрѣпляться плоскія или изогнутыя пластинки. На черт. 291 изображена запаянная трубка, въ концы которой впаяны электроды, изъ которыхъ одинъ остроконечный, а другой оканчивается пластинкой.

Если въ такой трубкѣ постепенно разрѣжать воздухъ посредствомъ воздушнаго насоса и при этомъ соединить электроды трубки съ электрической машиной, или аккумуляторной батареей высокаго напряженія, или, наконецъ, съ вторичной обмоткой индукціонной катушки, то произойдетъ цѣлый рядъ замѣчательныхъ и отчасти весьма красивыхъ явленій. Предположимъ, что разстояніе между электродами столь велико, что въ воздухѣ, при примѣняемой нами разности напряженій; между ними не будутъ проскакивать искры. До тѣхъ поръ, пока давленіе въ трубкѣ будетъ равняться 760 мм., мы не замѣтимъ никакихъ явленій въ ней; ничто существенно не измѣнится и дальше, пока мы постепенно понижаемъ давленіе съ 760 мм. до 10 мм. Начиная съ давленія около 50 мм., мы увидимъ лишь слабые голубоватые короткіе лучи, которые будутъ исходить изъ электродовъ. Когда мы достигнемъ, однако, сравнительно небольшого давленія, при-

близительно 10 мм., то между обоими электродами появится свѣтло-фіолетовая полоса свѣта, которая заполняетъ не всю ширину трубки и распространяется не прямолинейно, но всегда непосредственно отъ одного электрода къ другому. Если еще понизить давленіе до 1—3 мм., то этотъ фіолетовый свѣтъ между электродами будетъ становиться все шире и шире и мало-по-малу заполнитъ всю ширину трубки. При этомъ можно замѣтить, что отрицательный электродъ окруженъ не фіолетовымъ, а синеватымъ свѣтомъ и что фіолетовый свѣтъ, идущій отъ положительнаго электрода, подходитъ близко къ этому синеватому, но все же отдѣленъ отъ него темнымъ про-

Черт. 292.



странствомъ. Такимъ образомъ свѣтящійся разрядъ исходитъ изъ положительнаго электрода, но не вполнѣ доходитъ до отрицательнаго. Этотъ яркій, въ случаѣ воздуха фіолетовый, свѣтъ называютъ положительнымъ свѣченіемъ или положительнымъ разрядомъ. Синій свѣтъ, появляющійся на катодѣ, при высокихъ давленіяхъ покрываетъ не весь катодъ, а появляется лишь въ отдѣльныхъ точкахъ; вмѣстѣ съ увеличеніемъ разрѣженія газа, свѣтъ этотъ закрываетъ постепенно все большую и большую часть катода и наконецъ покрываетъ его весь. Когда достигнуто извѣстное разрѣженіе, величина котораго зависитъ отъ формы трубки и положенія и рода катода, то можно замѣтить, что положительное свѣченіе не однородно, а состоитъ изъ

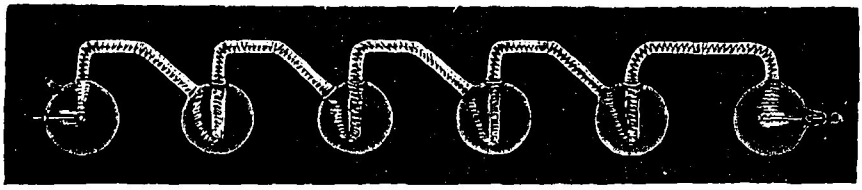
Черт. 293.



слоевъ. На всемъ протяженіи трубки находятся попеременно свѣтлые и темные слои, или страты (черт. 293), расположенные приблизительно на одинаковомъ другъ отъ друга разстояніи. Черт. 293 приблизительно передаетъ это явленіе такимъ, какимъ оно представляется въ трубкѣ. Эти трубки, весьма различныя и часто весьма изящныя по формѣ, наполненныя газомъ, разрѣженнымъ настолько, что давленіе въ нихъ равно 1 мм., впервые появились въ продажѣ у Гейсслера въ Боннѣ и потому и называются гейсслеровыми трубками. Разрядъ электричества проходитъ въ этомъ свѣтящемся разрѣженномъ воздухѣ. Если трубка изогнута, какъ на черт. 294, то положительный разрядъ будетъ слѣдовать по всѣмъ изгибамъ трубки,

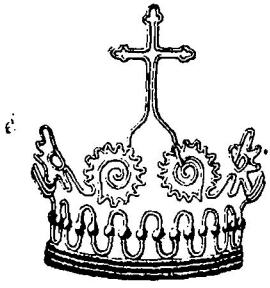
и по нимъ электричество перейдетъ черезъ разрѣженный воздухъ отъ одного электрода къ другому.

Черт. 294.



Цвѣтъ свѣтящагося газа зависитъ отъ его природы. Такъ, напр. трубки, наполненныя водородомъ, азотомъ, геліемъ, хлоромъ, свѣтятся иначе, чѣмъ трубки, наполненныя воздухомъ; изслѣдованіе свѣченія этихъ газовъ въ трубкахъ при помощи спектроскопа представляетъ благодаря этому вѣрнѣйшее средство для опредѣленія природы газа.

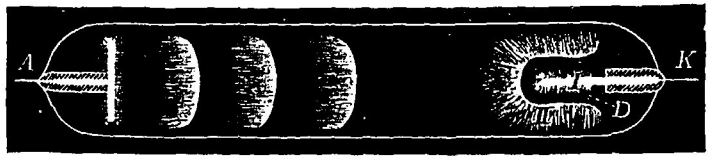
Черт. 295.



Ввиду яркости и необыкновенной красоты переливовъ положительнаго свѣченія въ гейсслеровыхъ трубкахъ, послѣдними часто пользуются для полученія блестящихъ свѣтовыхъ эффектовъ. Такъ, напр., діадемы (черт. 295) для балетныхъ представленій изготовляютъ изъ стеклянныхъ трубокъ, наполняемыхъ различными газами, дѣйствующихъ, какъ гейсслеровы трубки.

Свѣтовыя явленія, происходящія въ гейсслеровыхъ трубкахъ, оказываются при внимательномъ изученіи болѣе сложными, чѣмъ это представляется на первый взглядъ. Въ самомъ дѣлѣ, около отрицательнаго электрода находится не просто синеватое свѣченіе, какъ это кажется сначала, а три отдѣльныхъ слоя. Эти слои изображены въ нѣсколько увеличенномъ видѣ на черт. 296. Въ непосредственной близо-

Черт. 296.



сти отъ катода K, имѣющаго форму проволоки, находится свѣтящійся слой I, который обыкновенно имѣетъ золотисто-желтую окраску. Его называютъ первымъ катоднымъ слоемъ. Свѣченіе II, имѣющее собственно синеватую окраску и называемое вторымъ или отрицательнымъ катоднымъ слоемъ, отдѣлено отъ перваго узкимъ темнымъ промежуткомъ D. Промежутокъ D, находящійся между этими

двумя слоями, называется темнымъ пространствомъ или, по имени ученаго, открывшаго его, темнымъ пространствомъ Гитторфа. Эти три слоя—*I*, *D* и *II*—называютъ отрицательнымъ свѣченіемъ. Ко второму катодному слою *II* примыкаетъ темное пространство, отдѣляющее отрицательное свѣченіе отъ положительнаго, изображеннаго на черт. 296 въ видѣ стратъ; это пространство называютъ фарадеевскимъ темнымъ пространствомъ.

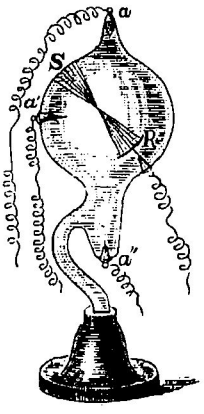
Гейсслеровы трубки содержатъ, какъ уже было упомянуто выше, воздухъ или другіе газы въ такомъ разрѣженіи, что давленіе въ нихъ равно приблизительно 1—3 мм. Если продолжать выкачивать воздухъ или газъ изъ этихъ трубокъ, то въ началѣ явленія остаются тѣ же. Ближайшимъ результатомъ дальнѣйшаго выкачиванія будетъ то, что темное фарадеевское пространство между катодомъ и положительнымъ свѣченіемъ будетъ непрерывно увеличиваться. При выкачиваніи можно непосредственно наблюдать, какъ это темное пространство, которое въ началѣ было едва въ 1 мм. длиною, быстро увеличивается до 5, 10, 20 мм. по мѣрѣ того, какъ мы выкачиваніемъ уменьшаемъ давленіе до долей миллиметра. Итакъ трубка у катода все еще остается покрытой синеватымъ свѣченіемъ, тогда какъ положительное свѣченіе вокругъ анода все меньше и меньше распространяется внутрь трубки. Такимъ образомъ это темное пространство по мѣрѣ увеличенія разрѣженія все увеличивается. Вслѣдствіе этого такая трубка всегда съ увеличеніемъ разрѣженія теряетъ въ своей яркости, такъ какъ положительное свѣченіе заполняетъ все меньшую часть трубки, а также теряетъ въ своей яркости и самый свѣтъ ея. Вмѣстѣ съ тѣмъ исчезаютъ и страты. Продолжая такимъ образомъ выкачиваніе, можно достичь того, что темное пространство совершенно заполнитъ трубку до самаго анода, и положительное свѣченіе почти совершенно исчезнетъ. Однако, одновременно съ этимъ возрастаніемъ темнаго пространства постепенно возникаетъ другое явленіе, которое впервые было замѣчено Гитторфомъ въ 1869 году.

При этихъ сильныхъ разряжѣніяхъ отъ отрицательнаго электрода—катода—начинаютъ исходить лучи, которые вызываютъ яркое свѣченіе (фосфоресценцію) стекла въ тѣхъ мѣстахъ трубки, на которыя они попадаютъ. Стекла, употребляемыя для этихъ трубокъ въ Германіи, свѣтятся обыкновенно зеленымъ свѣтомъ, другія стекла (англійскія) свѣтятся голубымъ, а стекла, содержащія дидимъ,—краснымъ. Мы получаемъ такимъ образомъ слѣдующее замѣчательное явленіе: при продолжительномъ выкачиваніи внутренность трубки дѣлается совершенно темной, но зато стекло трубки начинаетъ фосфоресцировать ярко зеленымъ свѣтомъ. Наиболѣе сильная фосфоресценція наблюдается въ тѣхъ мѣстахъ, которыя лежатъ непосредственно противъ катода. Если измѣнить направленіе тока и катодомъ сдѣлать

другой электродъ, то тогда наиболѣе сильно будетъ фосфоресцировать часть стекла, противолежащая этому электроду. Явленіе это проще всего объясняется тѣмъ,—и это объясненіе подтверждается всѣмъ послѣдующимъ,—что изъ катода исходятъ лучи, вызывающіе въ стеклѣ, на которое они падаютъ, фосфоресценцію, невидимые внутри трубки, или видимые очень слабо. Эти лучи называются катодными лучами. Послѣ открытія этихъ лучей Гитторфомъ, они долгое время не подвергались особеннымъ изслѣдованіямъ, пока снова въ 1879 году на нихъ не обратилъ вниманіе Круксъ. Онъ значительно облегчилъ наблюденія надъ катодными лучами, устроивъ трубки цѣлесообразной формы, съ достаточнымъ разрѣженіемъ, которыя по его имени называются круксовыми трубками. Въ круксовыхъ трубкахъ воздухъ настолько сильно разрѣженъ, что давленіе въ нихъ равно приблизительно $^1/_{1000}$ мм., между тѣмъ какъ въ гейсслеровыхъ трубкахъ, какъ сказано выше, давленіе равно приблизительно 1 мм.

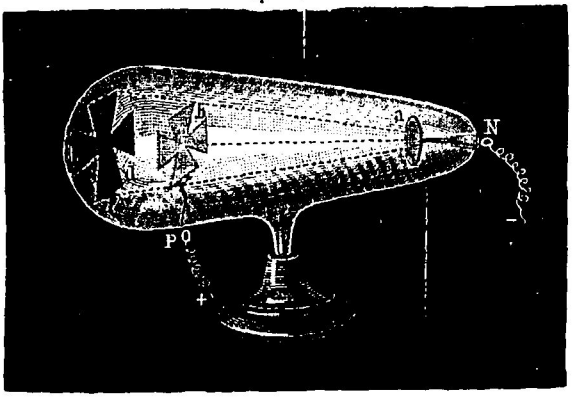
Катодные лучи обладаютъ цѣлымъ рядомъ весьма замѣчательныхъ свойствъ. Во-первыхъ, совершенно независимо отъ того, гдѣ находится анодъ, катодные лучи распространяются всегда перпендикулярно къ катоду. Между ними и анодомъ нѣтъ рѣшительно никакой зависимости. Мы можемъ помѣстить анодъ, относительно катода, какъ угодно — или противъ катода, или сбоку отъ него, или же за катодомъ, или наконецъ расположить его въ видѣ кольца вокругъ катода—во всѣхъ случаяхъ, независимо отъ взаимнаго положенія электродовъ, лучи будутъ распространяться перпендикулярно къ катоду. Такъ какъ катодные лучи исходятъ изъ каждой части поверхности катода перпендикулярно къ ней, то ихъ, можно, слѣдовательно сконцентрировать въ одномъ фокусѣ. Если катодомъ будетъ служить не плоская пластинка, а пластинка въ видѣ вогнутаго зеркала, какъ R на черт. 297, то лучи, исходящіе изъ него, должны соединиться въ одномъ фокусѣ и затѣмъ снова разойтись. При этомъ совершенно безразлично, будетъ ли положительный полюсъ соединенъ съ a, a' или a''; во всѣхъ трехъ случаяхъ стеклянная стѣнка S, лежащая противъ катода, будетъ фосфоресцировать наиболѣе ярко.

Черт. 297.



Наиболѣе рѣзкимъ доказательствомъ того, что катодные лучи распространяются по прямой линіи, служитъ приборъ Крукса, изображенный на черт. 298. На этомъ приборѣ мы видимъ, что, если помѣстить на пути катодныхъ лучей непрозрачное тѣло—напр. металлическій крестъ b,—то оно будетъ отбрасывать рѣзкую тѣнь. Въ трубкѣ

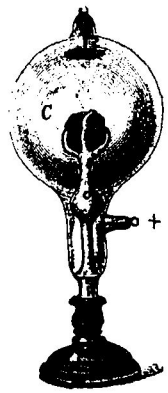
Черт. 298.



у a находится катодъ, у P—анодъ. Катодные лучи, исходящіе изъ a, вызываютъ на противолежащей стѣнкѣ, всюду, гдѣ они на нее падаютъ, яркую фосфоресценцію. Но тѣ мѣста стекла, на которыя катодные лучи, задержанные крестомъ, не попадаютъ, остаются темными. Поэтому на зеленомъ фонѣ стеклянной стѣнки мы видимъ темный крестъ d.

Второе свойство катодныхъ лучей состоитъ въ томъ, что они вызываютъ фосфоресценцію не только въ стеклянныхъ стѣнкахъ трубки, но и въ каждомъ (не металлическомъ) тѣлѣ, на которое они попадаютъ. Для нагляднаго ознакомленія съ этими явленіями по примѣру Крукса изготовляютъ трубки разныхъ конструкцій, внутри которыхъ на пути катодныхъ лучей помѣщаютъ различные минералы. На черт. 299 изображена круксова трубка, посерединѣ которой въ c закрѣпленъ кусокъ минерала, положимъ, сталактита. Катодные лучи, исходящіе сверху, вызываютъ въ сталактитѣ яркую синевато-розовую фосфоресценцію. Окраска фосфоресценціи зависитъ исключительно отъ природы освѣщаемаго тѣла: нѣкоторыя тѣла свѣтятся голубымъ свѣтомъ, другія краснымъ, фіолетовымъ, зеленымъ; такимъ способомъ можно получать очень красивыя и яркія свѣтовыя явленія. Фотографическія пластинки, подвергнутыя дѣйствію катодныхъ лучей (внутри трубки), темнѣютъ и притомъ въ чрезвычайно короткій промежутокъ времени. Если же наложить на пластинку, напримѣръ, металлическія буквы, которыя будутъ задерживать катодные лучи, то на пластинкѣ получится изображеніе этихъ буквъ (на негативѣ свѣтлыя буквы на черномъ фонѣ, на позитивѣ—обратно).

Черт. 299.

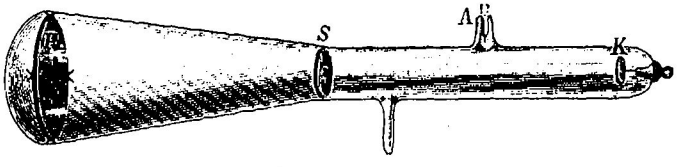


Третье свойство катодныхъ лучей заключается въ томъ, что они очень сильно нагрѣваютъ тѣ мѣста, на которыя попадаютъ. Такъ, напр., тѣ мѣста круксовыхъ трубокъ, въ которыя бьютъ лучи, такъ быстро и сильно нагрѣваются, что часто стекло размягчается и продавливается подъ вліяніемъ давленія воздуха. Металлическіе листочки, подверженные дѣйствію катодныхъ лучей внутри трубки, накаливаются

до красна, а при болѣе сильномъ токѣ накаливаются даже до бѣла и, наконецъ, расплавляются.

Четвертое свойство катодныхъ лучей, одно изъ самыхъ замѣчательныхъ, было, какъ и всѣ предыдущія, открыто еще Гитторфомъ. Катодные лучи легко отклоняются магнитомъ. Если приблизить магнитъ къ трубкѣ, заполненной катодными лучами, то лучи эти можно отклонить въ какомъ угодно направленіи. Передвигая магнитъ въ разныхъ направленіяхъ, мы замѣчаемъ, что и фосфоресценція стекла появляется то въ одномъ, то въ другомъ мѣстѣ и слѣдуетъ за движеніемъ магнита. Такъ какъ катодные лучи не обладаютъ замѣтной массой, то они безъ всякаго замедленія слѣдуютъ за магнитными силами, дѣйствующими на нихъ. Магнитное отклоненіе катодныхъ лучей легче всего обнаружить, а также измѣрить количественно, если воспользоваться для этого трубкой такой формы, какая изображена на чертежѣ 300; она была сконструирована Брауномъ и носитъ названіе брауновской трубки. Катодные лучи исходятъ изъ катода K по прямой линіи (анодомъ служитъ A). Бо́льшая часть катодныхъ лу-

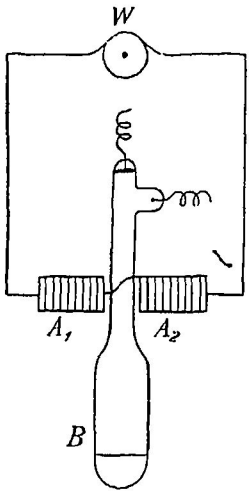
Черт. 300.



чей задерживается металлической ширмой S, имѣющей небольшое отверстіе; только узкій пучекъ этихъ лучей проходитъ черезъ отверстіе и падаетъ на фосфоресцирующій экранъ P, расположенный въ концѣ трубки, и вызываетъ на немъ свѣченіе въ видѣ круглаго пятнышка голубоватаго цвѣта. Если къ S поднести магнитный стержень, то пятнышко передвигается, въ зависимости отъ положенія и знака приближаемаго магнитнаго полюса, направо или налѣво, вверхъ или внизъ. Направленіе отклоненія пучка катодныхъ лучей всегда можетъ быть опредѣлено по правилу лѣвой руки (стр. 205), если только за направленіе тока считать не направленіе катодныхъ лучей (отъ катода), а противоположное (къ катоду). Слѣдовательно, указательный палецъ лѣвой руки мы должны направить вдоль магнитныхъ силовыхъ линій, а средній палецъ по направленію тока катодныхъ лучей,—къ катоду; тогда большой палецъ укажетъ направленіе, въ которомъ отклонится пучекъ лучей.

Вслѣдствіе того, что пучекъ катодныхъ лучей, не имѣя замѣтной массы, тотчасъ же слѣдуетъ за дѣйствующей на него магнитной силой, можно также пользоваться быстро мѣняющимися магнитными силами и тогда отклоненіе катодныхъ лучей будетъ мѣняться также быстро. По-

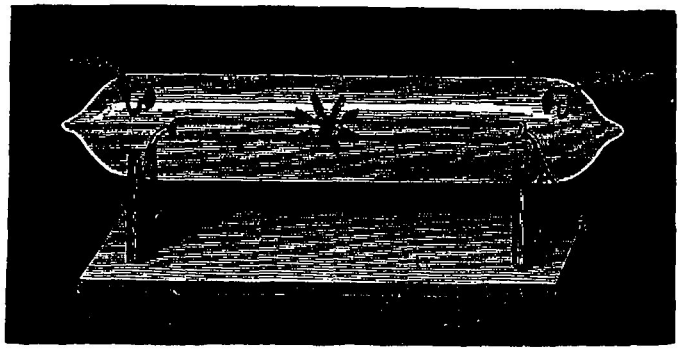
Черт. 301.



этому, если къ S приблизить стержень изъ мягкаго желѣза и пропускать вокругъ него перемѣнный токъ, то пятнышко будетъ двигаться въ ту и въ другую сторону съ тѣмъ же періодомъ, какой у даннаго перемѣннаго тока. Способъ примѣненія брауновской трубки для изслѣдованія перемѣнныхъ токовъ и электрическихъ колебаній виденъ изъ чертежа 301. Трубка B находится между двумя катушками A_1A_2, снабженными желѣзными сердечниками (при сильныхъ токахъ сердечники могутъ отсутствовать). Перемѣнные токи въ цѣпи, возбуждаемые генераторомъ W, отклоняютъ свѣтлое пятнышко, образующееся на экранѣ трубки, въ ту и въ другую сторону. Во вращающемся зеркалѣ, въ которомъ наблюдается изображеніе пятнышка, видна тогда голубоватого цвѣта кривая линія, которая и представляетъ собой кривую перемѣннаго тока.

Наконецъ пятое свойство катодныхъ лучей было открыто не Гитторфомъ, а уже Круксомъ. Эти лучи дѣйствуютъ механически на легко подвижныя тѣла. Въ трубкѣ (черт. 302) помѣщено легко подвижное колесико, перемѣщающееся на стеклянныхъ рельсахъ. Если черезъ трубку пропустить разрядъ, то катодные лучи, встрѣтивъ на

Черт. 302.

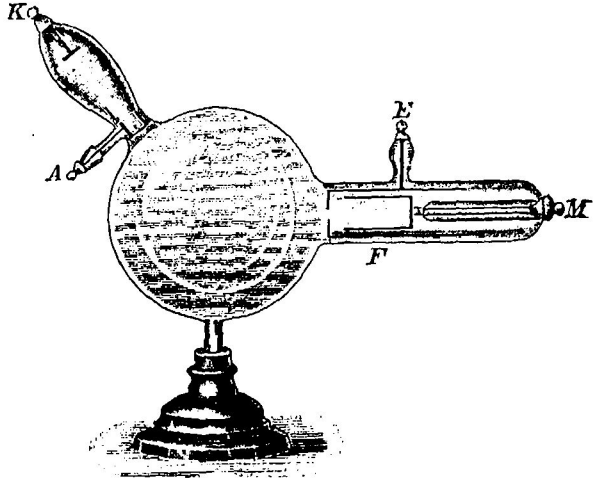


своемъ пути лопасти колесика, находящіяся наверху, будутъ вращать ихъ и гнать колесико по рельсамъ. При измѣненіи направленія тока измѣнится и направленіе перемѣщенія колесика, если только электроды расположены симметрично другъ относительно друга, какъ это показано на чертежѣ.

Еще одинъ новый фактъ, являющійся шестымъ свойствомъ катодныхъ лучей, былъ гораздо позднѣе установленъ французскимъ изслѣдователемъ Перреномъ. Каждое тѣло, на которое падаютъ

катодные лучи, пріобрѣтаетъ отрицательный электрическій зарядъ. Эти лучи какъ будто несутъ съ собой отрицательное электричество. Для того, чтобы это доказать, можно воспользоваться трубкой, изображенной на черт. 303. Въ этой трубкѣ катодъ находится въ K, а анодъ въ A. Анодъ представляетъ собой полый металлическій цилиндръ, имѣющій на днѣ небольшую дырочку, расположенную какъ разъ противъ катода; такимъ образомъ внутрь стекляннаго сосуда проникаетъ узкій пучекъ катодныхъ лучей, который и производитъ на противолежащей стеклянной стѣнкѣ фосфоресцирующее пятно. Кромѣ того, въ боковой трубкѣ расположенъ приборъ, называемый цилиндромъ Фарадея. Онъ состоитъ изъ двухъ металлическихъ цилиндровъ, оси которыхъ совпадаютъ; внѣшній цилиндръ соединенъ въ E съ землей, тогда какъ внутренній хорошо изолированъ и соединенъ съ зажимомъ M, къ которому присоединяется электроскопъ или электрометръ. Въ днѣ внѣшняго цилиндра имѣется отверстіе, черезъ которое лучи могутъ проникать во внутренній цилиндръ. Если въ такой трубкѣ произвести катодные лучи, то они, сообразно положенію катода, не проникаютъ внутрь фарадеевскаго цилиндра, и электроскопъ не даетъ никакого отклоненія. Однако, если катодные лучи отклонить магнитомъ отъ ихъ первоначальнаго направленія такъ, чтобы они вошли внутрь цилиндра, то электроскопъ тотчасъ же дастъ сильныя отклоненія, и изслѣдованіе покажетъ, что фарадеевскій цилиндръ зарядился отрицательно.

Черт. 303.

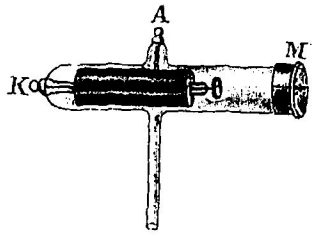


Итакъ, катодные лучи несутъ вмѣстѣ съ собой отрицательный зарядъ.

Какъ ни замѣчательны свойства катодныхъ лучей, тѣмъ не менѣе въ теченіи долгаго времени они представлялись чѣмъ то не болѣе простого курьеза. Они казались по необходимости заключенными внутри сильно разрѣженной трубки, и ничто отъ нихъ, казалось, не проникало наружу. Въ самой трубкѣ лучи задерживаются уже тонкимъ слоемъ вещества. Тонкая стеклянная пластинка, поставленная

на ихъ пути, фосфоресцируетъ съ той стороны, на которую попадаютъ лучи, но вовсе не пропускаетъ ихъ. Точно такъ же и стеклянная стѣнка трубки не пропускаетъ катодныхъ лучей наружу. Она фосфоресцируетъ внутри, и кажется, что вся энергія катодныхъ лучей расходуется на вызываніе фосфоресценціи и на нагрѣваніе стеклянной стѣнки. Однако наблюденія Герца, столь плодотворно работавшаго какъ въ этой области, такъ и во многихъ другихъ, показали, что катодные лучи могутъ проходить черезъ весьма тонкіе слои алюминія. На основаніи этихъ наблюденій Ленарду удалось, вставивъ небольшой листочекъ алюминія въ стеклянную стѣнку трубки, выпустить катодные лучи изъ трубки во внѣшнюю атмосферу. Такая трубка Ленарда изображена на черт. 304. Стеклянная трубка, которая можетъ быть присоединена къ воздушному насосу, имѣетъ внутри катодъ K и цилиндрическій анодъ A. Одинъ конецъ трубки закрытъ латуннымъ наконечникомъ M, въ которомъ сдѣланы небольшія дырочки, прикрытыя тонкимъ алюминіевымъ листикомъ. Этотъ тонкій слой алюминія играетъ роль окошечка, черезъ которое катодные лучи могутъ выйти изъ трубки въ воздухъ. При этомъ обнаружился новый фактъ, а именно что катодные лучи могутъ существовать при обычномъ атмосферномъ давленіи, тогда какъ возникать они могутъ лишь въ сильно разрѣженномъ воздухѣ. Кромѣ того Ленардъ доказалъ, что катодные лучи могутъ вызывать флюоресценцію и дѣйствовать на фотографическія пластинки и внѣ трубки. Онъ наблюдалъ уже въ полученныхъ имъ катодныхъ лучахъ важнѣйшія изъ тѣхъ свойствъ, которыя впослѣдствіи привлекли на себя большое вниманіе при изслѣдованіи рентгеновскихъ лучей. Опыты Ленарда ясно подтвердили высказанную уже раньше Герцемъ мысль, что въ трубкѣ имѣются катодные лучи разныхъ сортовъ, которые магнитомъ отклоняются неодинаково, аналогично свѣтовымъ лучамъ различныхъ цвѣтовъ, преломляемымъ призмою въ неодинаковой степени.

Черт. 304.



Какова же природа этихъ удивительныхъ лучей? Какъ объяснить ихъ замѣчательныя свойства, въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ подобныя свойствамъ свѣтовыхъ лучей, въ другихъ же — не имѣющія съ ними ничего общаго?

Круксъ первый далъ объясненіе катодному потоку, сдѣлавшее дѣйствительно понятнымъ многое, но не все.

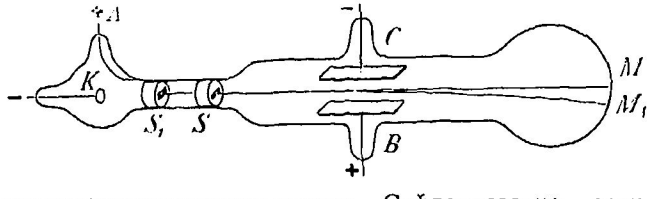
Круксъ полагалъ, что сущность катодныхъ лучей заключается въ томъ, что изъ катода выбрасываются небольшія частички, которыя представляютъ собой или частички находящагося тамъ газа, или частички самого катода, или, наконецъ, электролитическія составныя

части молекулъ газа. При помощи этой гипотезы легко объясняется прямолинейное распространеніе катодныхъ лучей. Также легко понять, почему лучи эти вызываютъ въ мѣстахъ своего паденія фосфоресценцію и нагрѣваютъ тѣла, на которыя они падаютъ. Молекулы стеклянной стѣнки, или впаянныхъ въ нее тѣлъ, подъ вліяніемъ бомбардировки частичками, приходятъ въ сотрясеніе, что и вызываетъ свѣтовое явленіе—фосфоресценцію. Такимъ же образомъ подъ вліяніемъ ударовъ частицъ развивается и теплота. Движеніе легкихъ тѣлъ тоже объясняется ударами частичекъ. Однако, при помощи этой гипотезы нельзя объяснить свойство катодныхъ лучей отклоняться подъ вліяніемъ магнита. Какъ дѣйствуетъ магнитъ на движущіяся газовыя частички? Простая гипотеза Крукса не объясняетъ также и отрицательнаго заряда, присущаго катоднымъ лучамъ.

Если, однако, ввести въ эту теорію одно небольшое измѣненіе, то она объяснитъ всѣ явленія; измѣненіе это было внесено въ нее на основаніи современныхъ изслѣдованій.

Въ настоящее время, на основаніи описаннаго выше шестого свойства катодныхъ лучей, допускаютъ, что эти лучи представляютъ собой отрицательно заряженныя небольшія массы—далѣе мы увидимъ, что это суть сами отрицательные электроны — которыя движутся съ большой скоростью прямо отъ катода по направленію лучей. Введя это допущеніе, легко понять, что каждый металлическій экранъ, каждое тѣло, на которое попадаютъ катодные лучи, должны заряжаться отрицательно. Если же лучи эти состоятъ изъ движущихся наэлектризованныхъ массъ, то они должны отклоняться отъ своего пути

Черт. 305.



также и электростатическими силами. Слѣдовательно, если катодные лучи, образующіеся въ трубкѣ, заставить проходить въ пространствѣ между двумя металлическими пластинками, изъ которыхъ одна заряжена положительно, а другая отрицательно, то, подъ вліяніемъ электростатическихъ силъ притяженія, отрицательно заряженныя частички должны отклониться къ положительной пластинкѣ; въ дѣйствительности это такъ и происходитъ. На черт. 305 изображено служащее для этого опыта расположеніе приборовъ. Брауновская трубка имѣетъ катодъ въ K, а анодъ въ A. Катодные лучи исходятъ изъ K, проходятъ черезъ два прорѣза въ металлическихъ экранахъ S_1 и S и въ видѣ узкаго пучка достигаютъ пространства между двумя пластин-

ками конденсатора B и C, впаянными въ трубку. Одна изъ пластинъ C соединена съ отрицательнымъ, другая же B — съ положительнымъ полюсомъ аккумуляторной батареи. Пучекъ лучей, падавшій до заряженія конденсатора въ M, теперь падаетъ въ M_1, т. е. претерпѣваетъ отклоненіе. Мы можемъ прослѣдить это явленіе нѣсколько ближе и въ количественномъ отношеніи. Дѣйствительно, такой летящій электронъ можетъ обладать нѣкоторой массой. Чѣмъ больше, далѣе, живая сила каждой частички, т. е. чѣмъ больше половина произведенія изъ ея массы на квадратъ скорости, тѣмъ меньше отклонитъ ее электростатическое поле. Съ другой стороны,—чѣмъ больше электростатическій зарядъ каждой частички, тѣмъ больше она должна будетъ отклониться при прочихъ равныхъ условіяхъ. Итакъ, величина отклоненія зависитъ, съ одной стороны, отъ квадрата скорости частички (отклоненіе обратно пропорціонально этому квадрату), а съ другой— отъ отношенія количества электричества каждой частички къ ея массѣ, т. е. отъ отношенія числа кулоновъ къ числу граммовъ.

Благодаря допущенію существованія движущагося электрона легко также объясняется то обстоятельство, что катодные лучи отклоняются магнитомъ. Дѣйствительно, электрически заряженныя матеріальныя частицы, движущіяся съ нѣкоторою опредѣленною скоростью, представляютъ собою настоящій электрическій токъ. Такъ какъ сила тока равна количеству электричества, проходящаго въ секунду чрезъ каждое поперечное сѣченіе, то въ данномъ случаѣ сила тока зависитъ отъ количества электричества, которое несетъ частица, и отъ ея скорости. Какъ мы знаемъ, токъ въ магнитномъ полѣ испытываетъ дѣйствіе силъ этого поля и стремится двигаться (по правилу лѣвой руки). Поэтому и движущіяся частицы, составляющія катодный пучекъ, также должны подвергаться дѣйствію магнитныхъ силъ. Этимъ объясняется отклоняемость катодныхъ лучей магнитными силами, а вмѣстѣ съ тѣмъ объясняется и то обстоятельство, почему при примѣненіи правила лѣвой руки мы должны направлять средній палецъ не въ направленіи катодныхъ лучей, а въ противоположномъ (стр. 345); причина та, что пучекъ этихъ лучей состоитъ изъ отрицательныхъ частицъ. Чѣмъ больше живая сила частицы, тѣмъ меньше будетъ это отклоненіе; чѣмъ больше сила тока, т. е. произведеніе заряда на скорость, тѣмъ будетъ больше отклоненіе. Отсюда видно, что отклоненіе катоднаго пучка въ магнитномъ полѣ, съ одной стороны, зависитъ (обратно пропорціонально) отъ скорости (не отъ квадрата ея), съ другой же стороны,—снова отъ отношенія числа кулоновъ къ числу граммовъ каждой частицы.

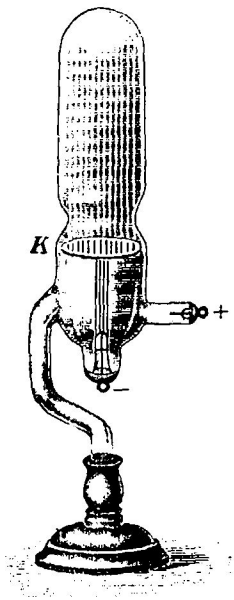
Итакъ, отождествленіе катодныхъ лучей съ быстро движущимися частицами, заряженными отрицательно, позволяетъ объяснить всѣ явленія, извѣстныя намъ въ этой области. Даже болѣе того. Измѣ-

ривъ величины отклоненій катодныхъ лучей въ двухъ случаяхъ, именно подъ вліяніемъ извѣстныхъ электростатическихъ и магнитныхъ силъ, можно на основаніи вышесказаннаго вычислить, во-первыхъ, какова скорость движенія этихъ частицъ и, во-вторыхъ, какъ велико число кулоновъ, переносимыхъ однимъ граммомъ подобныхъ частицъ. Эту послѣднюю величину называютъ удѣльнымъ зарядомъ частицъ. Такія измѣренія въ дѣйствительности были произведены и привели къ совершенно неожиданнымъ результатамъ. Во-первыхъ, они показали, что скорость движенія частицъ въ катодныхъ лучахъ весьма велика. Эта скорость въ сильно разрѣженныхъ трубкахъ больше, чѣмъ въ трубкахъ менѣе разрѣженныхъ, и въ первомъ случаѣ доходитъ до одной трети скорости свѣта, т. е. по своей колоссальной величинѣ далеко превосходитъ все, что до сихъ поръ извѣстно было относительно скоростей движенія различныхъ тѣлъ въ природѣ. Во-вторыхъ, оказалось, что на каждый граммъ частицъ, составляющихъ пучекъ катодныхъ лучей, приходится электрическій зарядъ приблизительно въ 170 милліоновъ кулоновъ. Мы уже знаемъ изъ ученія объ электролизѣ (стр. 160), что одинъ граммъ водорода несетъ съ собой лишь 96540 кулоновъ.

Слѣдовательно, въ данномъ случаѣ удѣльный зарядъ частицы приблизительно въ 2000 разъ больше, чѣмъ въ жидкостяхъ, подвергающихся электролизу. Это можетъ происходить, съ одной стороны, потому, что движущимися частичками въ газахъ являются, какъ и въ электролизѣ, іоны, т. е. заряженные атомы, но что въ данномъ случаѣ они имѣютъ зарядъ въ 2000 разъ болѣе сильный, чѣмъ въ электролизѣ. Предположеніе это было опровергнуто геніальными опытами Дж. Дж. Томсона. Съ другой стороны возможно, что заряженныя частички имѣютъ въ данномъ случаѣ тотъ же зарядъ, что и въ электролизѣ, но обладаютъ массой значительно, меньшей приблизительно въ 2000 разъ, чѣмъ атомъ водорода. Это второе предположеніе подтвердилось впослѣдствіи. Такъ какъ далѣе оказалось, что удѣльный зарядъ частицъ катодныхъ лучей совершенно не зависитъ отъ того, какой газъ—воздухъ, кислородъ, азотъ, водородъ, гелій и т. д.—наполняетъ трубку, то изъ этого заключили, что въ трубкахъ съ катодными лучами находятся въ постоянномъ движеніи наименьшія частицы отрицательнаго электричества, т. е. сами отрицательные электроны. Въ явленіяхъ электролиза мы всегда находили, что электроны связаны съ атомами матеріи и двигаются лишь вмѣстѣ съ ними. Въ разрѣженныхъ же газахъ электроны могутъ двигаться свободными, несвязанными съ матеріею, и такъ какъ они обладаютъ очень небольшой массой, а въ трубкѣ дѣйствуютъ значительныя электрическія силы, то благодаря этому электроны пріобрѣтаютъ тѣ большія скорости, о которыхъ мы говорили выше.

Естественно возникаетъ вопросъ: гдѣ же находятся положительные электроны, если катодные лучи состоятъ лишь изъ движущихся отрицательныхъ электроновъ? Вѣдь, до прохожденія тока газъ былъ ненаэлектризованъ, слѣдовательно, кромѣ отрицательныхъ частичекъ должны быть и положительныя. Въ такой разрѣженной трубкѣ движутся дѣйствительно и положительно заряженныя частички. Въ то время какъ отрицательныя частички движутся отъ катода, положительныя частички должны, наоборотъ, двигаться по направленію къ нему. Поэтому положительныя частички легче всего обнаружить, снабдивъ катодъ трубки дырочками или каналами. Если теперь пропустить черезъ трубку токъ, то катодные лучи будутъ, какъ извѣстно, прямолинейно распространяться отъ катода въ ту сторону трубки, гдѣ находится анодъ, но при этомъ оказывается, что въ противоположномъ имъ направленіи идутъ также слегка свѣтящіеся лучи; эти лучи были открыты Гольдштейномъ и называются закатодными лучами. На черт. 306 изображена такая трубка съ закатодными лучами. Эта трубка имѣетъ электродъ K въ видѣ круга, въ которомъ сдѣланы прорѣзы. Этотъ электродъ употребляется въ качествѣ катода. Анодъ находится справа. Тогда катодные лучи идутъ въ трубкѣ отъ катода внизъ — въ ту часть, въ которой находится анодъ. Кромѣ того видно, что сквозь щели вверхъ трубки идутъ лучи, окрашенные въ розовый цвѣтъ. Это и есть закатодные лучи. Они отклоняются магнитомъ гораздо слабѣе, чѣмъ катодные лучи, но какъ разъ въ противоположную сторону, изъ чего слѣдуетъ, что они заряжены положительно.

Черт. 306.

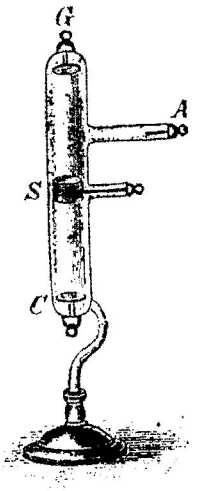


Скорость и удѣльный зарядъ этихъ лучей можно было опредѣлить тѣмъ же методомъ, какимъ пользовались для катодныхъ лучей; оказалось, что они обладаютъ значительно меньшими скоростями, чѣмъ катодные лучи, и что ихъ удѣльный зарядъ приблизительно тотъ же, что и при электролизѣ, т. е. что при одинаковомъ зарядѣ ихъ масса приблизительно равна, или нѣсколько больше массы атома водорода. Итакъ, въ то время какъ отрицательные электроны могутъ двигаться независимо отъ матеріи, положительные электроны и въ разрѣженныхъ газахъ всегда оказываются связанными съ бо́льшими массами матеріи. Какъ разъ благодаря этимъ большимъ массамъ, которыми отягчены частички закатодныхъ лучей, ихъ скорость гораздо меньше, чѣмъ скорость катодныхъ лучей. Поэтому правильнѣе гово-

рить, что въ закатодныхъ лучахъ двигаются положительные іоны, а не положительные электроны.

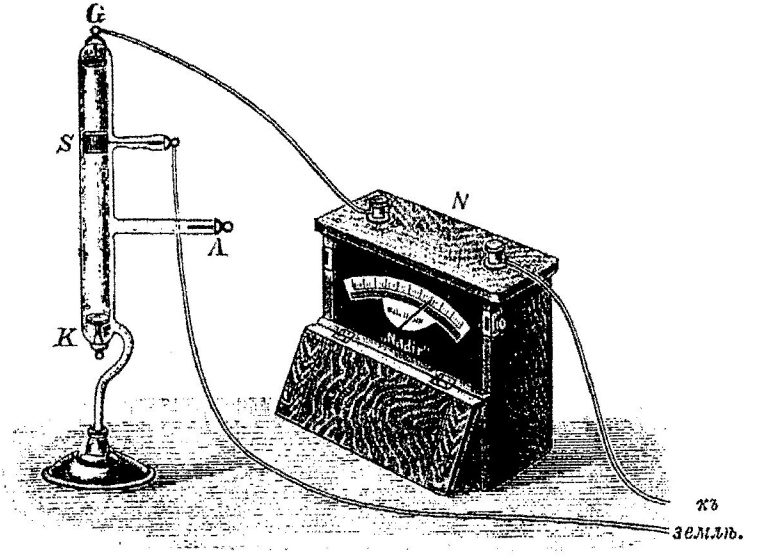
Можно отчетливо различить другъ отъ друга катодные и закатодные лучи вслѣдствіе того, что оба рода лучей производятъ иногда флюоресценцію разной окраски. Напримѣръ, хлористый литій флюоресцируетъ синимъ цвѣтомъ, когда на него падаютъ катодные лучи, и краснымъ подъ дѣйствіемъ закатодныхъ лучей. Въ трубкѣ, изображенной на черт. 307, въ C находится слюдяная пластинка, покрытая хлористымъ литіемъ. Въ S находится рѣшетообразный электродъ, а въ A и G — другіе впаянные въ трубку электроды. Если G сдѣлать катодомъ, а A анодомъ, то катодные лучи идутъ отъ G внизъ, проходятъ черезъ рѣшето и вызываютъ въ хлористомъ литіи флюоресценцію синяго цвѣта. Обратно, если катодомъ сдѣлать S, а анодомъ попрежнему A, то катодные лучи пойдутъ отъ S наверхъ, закатодные же отъ S внизъ, достигнутъ хлористаго литія и вызовутъ въ немъ флюоресценцію краснаго цвѣта.

Черт. 307.



При помощи трубки такой же конструкціи (только безъ пластинки C, покрытой хлористымъ литіемъ) можно легко опредѣлить

Черт. 308.

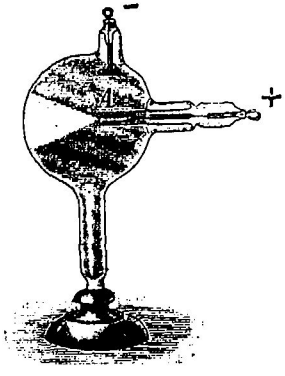


чувствительнымъ гальванометромъ отрицательный зарядъ катодныхъ и положительный зарядъ закатодныхъ лучей. Для этого можно вос-

пользоваться установкой, изображенной на черт. 308. Трубка въ S снова имѣетъ рѣшетчатую металлическую пластинку. Если ее соединить съ землей, A сдѣлать анодомъ, а K — катодомъ, то катодные лучи идутъ отъ K наверхъ, проходятъ сквозь рѣшето и падаютъ на пластинку G. Далѣе, если G соединить съ чувствительнымъ гальванометромъ, напр., съ гальванометромъ Надира (стр. 213), второй полюсъ котораго соединенъ съ землей, то отрицательныя частички будутъ проходить по проволокѣ гальванометра, и послѣдній покажетъ существованіе тока съ положительнымъ полюсомъ въ G. Съ другой стороны, если отрицательный полюсъ индукціонной катушки соединить съ S (одновременно съ этимъ, S остается соединеннымъ и съ землей), то катодные лучи пойдутъ отъ S внизъ, закатодные же наверхъ, и соединенный съ G, гальванометръ обнаружитъ токъ противоположнаго направленія.

Представляется чрезвычайно страннымъ то рѣзкое различіе между положительными закатодными лучами и катодными, что въ послѣднихъ отрицательные электроны несомнѣнно находятся въ свободномъ состояніи, тогда какъ въ закатодныхъ лучахъ положительные электроны всегда связаны съ матеріей. Возникаетъ даже такой вопросъ: да существуютъ ли вообще положительные электроны, аналогичные отрицательнымъ? Представляетъ ли собой положительное электричество особое вещество, подраздѣленное на атомы, или же то, что мы называемъ положительнымъ электричествомъ, является лишь нѣкоторымъ свойствомъ, присущимъ при извѣстныхъ обстоятельствахъ обыкновенной матеріи? Для того, чтобы рѣшить утвердительно вопросъ о существованіи особаго вещества, необходимо было бы наблюдать какія-нибудь явленія, въ которыхъ положительные электроны существовали бы свободными отъ матеріи. Однако до сихъ поръ ни въ одномъ случаѣ не удалось этого наблюдать, и даже представляется очень сомнительнымъ, чтобы это могло удаться. Можно заставить положительные іоны образовать лучи еще другого рода, чѣмъ закатодные. Герке и Рейхенхеймъ устроили трубки, въ которыхъ изъ анода исходятъ лучи, называемые анодными. Такая трубка изображена на черт. 309.

Черт. 309.



Анодомъ A служитъ впаянная стеклянная трубочка, содержащая іодистые соли металловъ: литія, стронція, кальція или натрія. Катодъ расположенъ наверху. Если эти электроды соединить съ индукціонной катушкой, то изъ анода въ видѣ лучей будутъ исходить частички, какъ на то указываетъ на чертежѣ свѣтлый конусъ; эти лучи окра-

шены при литіевой соли въ красный цвѣтъ, при натріевой — въ желтый, а при двухъ остальныхъ соляхъ въ розовый и красный цвѣта. Лучи эти состоятъ изъ частичекъ, заряженныхъ положительно. Если измѣрить ихъ магнитное и электрическое отклоненія, то оказывается, что эти положительныя частички обладаютъ такимъ же удѣльнымъ зарядомъ, какъ и іоны при электролизѣ; слѣдовательно, мы здѣсь имѣемъ дѣло не съ электронами, а съ іонами. Итакъ, положительные электроны не найдены ни въ закатодныхъ, ни въ анодныхъ лучахъ, ни при какихъ-либо иныхъ явленіяхъ.

Такъ какъ въ разрѣженныхъ газахъ, при прохожденіи чрезъ нихъ тока, обнаружено присутствіе, внѣ всякаго сомнѣнія, отрицательныхъ и положительныхъ зарядовъ, чѣмъ и объясняются явленія, наблюдаемыя въ катодныхъ и закатодныхъ лучахъ, то естественнымъ является предположеніе, что подобнымъ же образомъ можно объяснить и удивительныя явленія, происходящія въ гейсслеровыхъ трубкахъ. Дѣйствительно это и удается, если только ввести еще одно предположеніе, которое само по себѣ очень вѣроятно и которое ниже мы непосредственно докажемъ. Въ самомъ дѣлѣ, если въ газѣ образуются какимъ либо способомъ отрицательные электроны и положительные іоны, то первые должны двигаться отъ катода, а послѣдніе—по направленію къ катоду, и притомъ ихъ скорость тѣмъ больше, чѣмъ значительнѣе электрическія силы, дѣйствующія на нихъ.

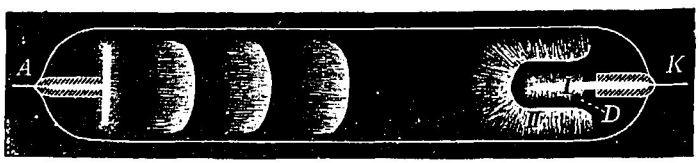
При движеніи такихъ частицъ въ газѣ, онѣ должны часто встрѣчать молекулы газа, сталкиваться съ ними и приводить ихъ въ сотрясеніе, и возможно допустить, что при такомъ соудареніи отъ частицы отдѣляются ея составныя части.

Составными частями молекулы газа мы будемъ считать, во-первыхъ, отрицательный электронъ и, во-вторыхъ, остающійся положительный іонъ. Итакъ, при столкновеніи съ іонами нейтральныя газовыя молекулы могутъ расщепляться на свои составныя части. Говорится, что отъ этого газъ становится іонизированнымъ. Въ дальнѣйшемъ мы познакомимся съ другими способами іонизаціи газовъ; для нашей же цѣли теперь имѣетъ значеніе лишь іонизація, происходящая отъ столкновенія съ іонами. Однако, съ другой стороны, можетъ случиться, что, напримѣръ, отрицательный электронъ сталкивается съ нейтральной газовой молекулой; молекула расщепляется, электронъ же соединяется съ положительнымъ іономъ (поглощается имъ), тогда какъ вновь образовавшійся отрицательный іонъ отдѣляется и получаетъ способность производить дальнѣйшую іонизацію.

Согласно современнымъ понятіямъ такая іонизація отъ столкновенія съ іонами постоянно происходитъ въ разрѣженныхъ газахъ, и свѣтящимися частичками газа являются какъ разъ тѣ, въ которыхъ происходитъ эта іонизація.

Если при разрядѣ въ гейсслеровой трубкѣ, изображенномъ въ общихъ чертахъ на черт. 310, отрицательные электроны, отдѣлившіеся отъ катода, проникнутъ въ газъ, то катодъ ихъ будетъ отъ себя отталкивать, и на нѣкоторомъ разстояніи они достигнутъ опредѣленной скорости, которая дастъ имъ возможность ударами производить іонизацію. Слоемъ, гдѣ это происходитъ, является второе катодное пространство II (выше стр. 341). Здѣсь, пройдя темное пространство Гитторфа, они расщепляютъ газовыя молекулы. Образовавшіеся положительные іоны тотчасъ же начинаютъ двигаться къ катоду и образуютъ первое катодное пространство I, которое, какъ мы знаемъ, окрашено въ воздухѣ въ золотисто-желтый цвѣтъ. Слѣдовательно, оно производится положительными іонами. Когда въ катодѣ сдѣланы отверстія, то положительные іоны пролетаютъ черезъ нихъ и образуютъ, если они летятъ достаточно быстро, закатодные лучи. Слѣдовательно, первое катодное пространство въ гейсслеровыхъ трубкахъ соотвѣтствуетъ закатоднымъ лучамъ при болѣе сильномъ разрѣженіи. Образовавшіеся во второмъ катодномъ пространствѣ отрицательные іоны движутся дальше по направленію къ аноду и, пройдя

Черт. 310.

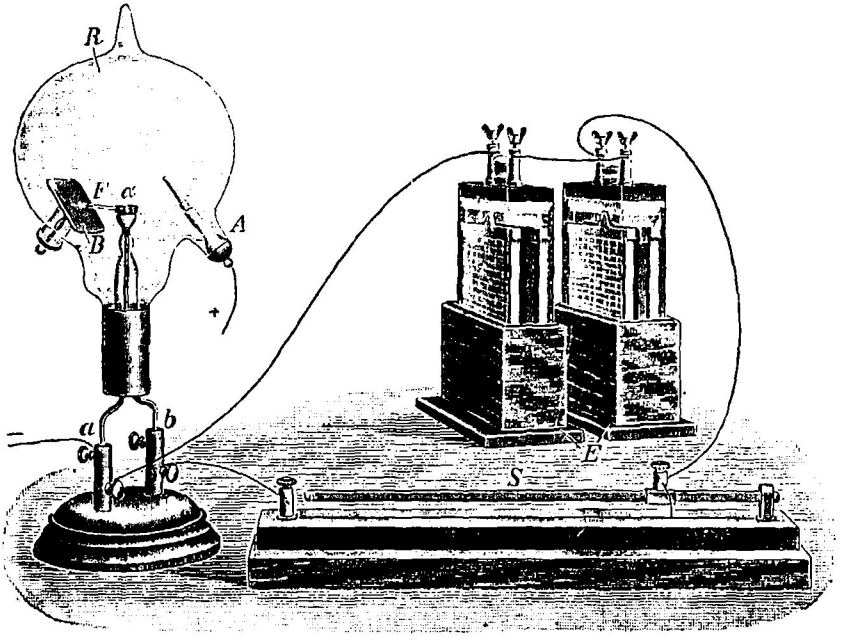


опредѣленное разстояніе, а именно темное пространство Фарадея, пріобрѣтаютъ достаточную скорость для того, чтобы снова производить іонизацію. Впервые они производятъ эту іонизацію въ концѣ положительнаго свѣченія, а именно въ томъ концѣ его, который дальше всего отстоитъ отъ анода. При достаточномъ разрѣженіи отрицательные электроны могутъ имѣть столь большую скорость, что производятъ іонизацію не только на концѣ положительнаго сѣченія, но и во всемъ пространствѣ, лежащемъ за нимъ. Въ такомъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ непрерывнымъ положительнымъ свѣченіемъ. При другихъ же разрѣженіяхъ они вызываютъ іонизацію лишь на концѣ положительнаго свѣченія, отщепляя отрицательные электроны отъ находящихся тамъ газовыхъ молекулъ. Эти электроны сперва, однако, не обладаютъ достаточной скоростью, чтобы производить іонизацію; они должны сначала пройти въ трубкѣ нѣкоторое разстояніе подъ вліяніемъ электрическихъ силъ, пріобрѣтая при этомъ все большую и большую скорость, и лишь затѣмъ достигнутъ скорости, достаточной для того, чтобы произвести іонизацію, а вмѣстѣ съ тѣмъ и вызвать свѣченіе газа. Поэтому за свѣтящимся концомъ положительнаго свѣ-

ченія будетъ слѣдовать темный промежутокъ, за которымъ будетъ снова находиться свѣтящійся газъ; такое явленіе будетъ повторяться нѣсколько разъ, чѣмъ и объясняется удивительное и загадочное появленіе слоевъ въ положительномъ свѣченіи.

Мы видимъ, что электронная теорія даетъ полную картину отношенія разрѣженныхъ газовъ къ прохожденію черезъ нихъ электрическаго тока. Причиной того, что для полученія катодныхъ лучей необходимо пользоваться источниками электричества высокаго напряженія, является, какъ показали измѣрительные опыты, то обстоятельство, что въ непосредственной близости отъ катода токъ встрѣчаетъ повидимому большое сопротивленіе. Потеря напряженія, происходящая при прохожденіи тока черезъ трубку, особенно велика непосредственно вблизи катода. Эту потерю напряженія между катодомъ и вторымъ (отрицательнымъ) свѣченіемъ называютъ катоднымъ паденіемъ. Величина эта составляетъ бо́льшую часть всей потери напряженія, происходящей въ трубкѣ. Катодное паденіе происходитъ вслѣдствіе того, что отрицательные электроны должны быть подъ дѣйствіемъ большой электрической силой для того, чтобы вообще выйти изъ металла въ газъ. Разъ электроны уже вышли изъ металла, то они быстро отлетаютъ отъ катода. Слѣдовательно въ газѣ, находящемся вблизи катода, будетъ нѣкоторый недостатокъ въ отрицательныхъ электронахъ, увеличивающійся до тѣхъ поръ, пока вызванная уменьшеніемъ числа электроновъ бо́льшая разность напряженій между катодомъ и вторымъ катоднымъ пространствомъ не заставитъ новые электроны отдѣлиться отъ катода. Величина этой разности напряженій зависитъ отъ металла, изъ котораго сдѣланъ катодъ, и отъ газа, находящагося въ трубкѣ. Отрицательные электроны, при прочихъ равныхъ условіяхъ, отъ однихъ металловъ отдѣляются легко, а отъ другихъ съ большимъ трудомъ. Венельтъ нашелъ, что легче всего электроны отдѣляются отъ раскаленныхъ окисей металловъ. На основаніи этихъ наблюденій, Венельтъ построилъ такія трубки, что въ нихъ можно получить катодные лучи при разности напряженій даже въ 100 вольтъ, тогда какъ при обыкновенныхъ электродахъ для этого необходимо нѣсколько тысячъ вольтъ. Такую трубку съ катодомъ Венельта и способъ ея примѣненія изображаетъ черт. 311. Въ серединѣ разрѣженной трубки R впаянъ тонкій платиновый листикъ, покрытый въ α окисью кальція. Черезъ зажимы a и b пропускаютъ въ платиновую пластинку токъ отъ 2 аккумуляторовъ, который кромѣ того проходитъ черезъ реостатъ S со скользящимъ контактомъ, т. е. проволоку, длину которой можно измѣнять; это служитъ для того, чтобы получить такую силу тока, которая привела бы платину въ состояніе краснаго каленія. Въ A находится анодъ трубки, платиновый же кружокъ служитъ катодомъ.

Черт. 311.



Если мы соединимъ *A* и *a* съ источникомъ тока въ 100 вольтъ напряженія, то увидимъ, что изъ *a* исходитъ узкій синій пучекъ катодныхъ лучей *F*. Этотъ пучекъ катодныхъ лучей падаетъ на металлическій дискъ *B*. Если зарядить этотъ дискъ отрицательно (соединивъ его съ *a*), то пучекъ лучей будетъ имъ отталкиваться и отклонится отъ своего пути. Пучекъ этихъ лучей кромѣ того сильно отклоняется и магнитомъ, такъ какъ электроны имѣютъ, вслѣдствіе незначительнаго напряженія въ трубкѣ, относительно небольшую скорость, почему и могутъ быть легко отклоняемы со своего пути.

Интересъ къ катоднымъ лучамъ, охватившій физиковъ послѣ кропотливыхъ и давшихъ громадные результаты изслѣдованій Герца и Ленарда, сдѣлался въ началѣ 1896 года всеобщимъ, благодаря случайному открытію, произведенному Рентгеномъ, которое тотчасъ же дало возможность сдѣлать удивительныя практическія примѣненія. Оказалось, что въ трубкѣ, въ которой получаютъ катодные лучи, образуются также лучи, выходящіе сквозь стекло наружу и далеко распространяющіеся въ воздухѣ.

Изъ того мѣста стекла круксовой трубки, на которое попадаютъ лучи, и въ которомъ они вызываютъ фосфоресценцію, исходитъ, какъ нашелъ Рентгенъ, новый родъ лучей, которые онъ назвалъ X-лучами и которые въ настоящее время обыкновенно называются рентгеновскими лучами.

Существованіе этихъ новыхъ лучей обнаруживается тѣмъ, что они дѣйствуютъ на фотографическую пластинку, находящуюся внѣ трубки, и кромѣ того тѣмъ, что они вызываютъ свѣченіе (флюоресценцію) во флюоресцирующихъ тѣлахъ. Если накрыть круксову трубку чернымъ картономъ или чернымъ сукномъ во избѣжаніе всякаго дѣйствія лучей видимаго свѣта, и затѣмъ приблизить къ тому мѣсту трубки, на которое попадаютъ катодные лучи, бумажный картонъ, покрытый слоемъ двойной синеродистой соли платины и барія, то мы увидимъ, что этотъ слой будетъ свѣтиться ярко зеленымъ свѣтомъ. Точно также, если приблизить фотографическую пластинку, то и она подвергается дѣйствію этихъ лучей, такъ какъ послѣ проявленія ея по обыкновенному способу она оказывается совершенно почернѣвшей.

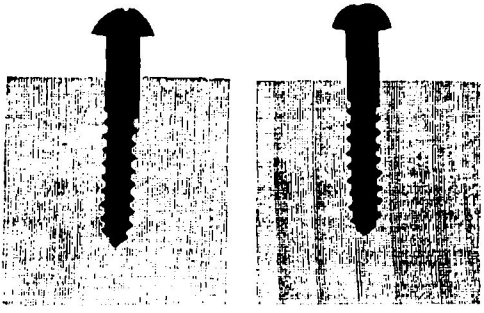
Эти невидимые лучи исходятъ какъ разъ изъ того мѣста круксовой трубки, на которое попадаютъ катодные лучи. Это можно легко доказать, отклонивъ при помощи магнита катодные лучи внутри трубки и направивъ ихъ на другое мѣсто стеклянной стѣнки. Тогда это мѣсто будетъ источникомъ Х-лучей.

Наиболѣе замѣчательное свойство этихъ лучей состоитъ въ томъ, что они легко проходятъ черезъ большинство неметаллическихъ тѣлъ, непроницаемыхъ для обыкновеннаго свѣта. Дерево особенно проницаемо для нихъ. Лучи Рентгена проходятъ черезъ дерево такъ же легко, какъ обыкновенные свѣтовые лучи черезъ стекло. Слѣдовательно, если намъ желательно освѣтить лучами Рентгена фотографическую пластинку, то мы спокойно можемъ ее экспонировать въ деревянной кассеткѣ. Подобно дереву и другія непрозрачныя тѣла, какъ-то: эбонитъ, каучукъ, воскъ, пробка, уголь, графитъ, а также и металлъ алюминій, легко пропускаютъ лучи Рентгена. Тяжелые металлы значительно менѣе прозрачны для нихъ, но все-таки они не являются вполнѣ непроницаемыми. Эти лучи проходятъ также черезъ тонкіе слои желѣза, серебра, золота, мѣди; свинецъ наиболѣе непроницаемъ. Вообще можно сказать, что чѣмъ меньше удѣльный вѣсъ тѣла, тѣмъ легче оно пропускаетъ лучи Рентгена и, наоборотъ, чѣмъ больше удѣльный вѣсъ, тѣмъ менѣе оно проницаемо. Что же касается оптической (для свѣтовыхъ лучей) прозрачности, то она не имѣетъ здѣсь никакого значенія. Алюминій и стекло—приблизительно одинаковой плотности; они имѣютъ и одинаковую проницаемость. Дерево же, особенно сосна, гораздо легче и потому несравненно болѣе проницаемо. Разница въ плотности различныхъ тѣлъ даетъ и различіе въ ихъ проницаемости. На этомъ и основанъ опытъ, столь быстро доставившій популярность лучамъ Рентгена. Удалось сфотографировать содержимое завернутыхъ или заключенныхъ въ оболочкѣ тѣлъ, когда содержимое плотнѣе окружающей его оболочки. Такимъ образомъ мы можемъ фотографировать монеты въ закрытомъ портмоне, винты, ввинченные въ кусокъ дерева, нако-

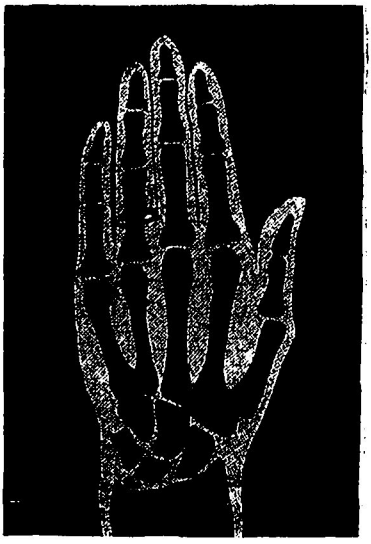
нецъ кости руки, такъ какъ мышцы менѣе прозрачны, чѣмъ кожа, дерево прозрачнѣе винтовъ, а мышцы прозрачнѣе костей.

На черт. 312 представлена фотографія двухъ металлическихъ винтовъ, ввинченныхъ въ два куска различнаго дерева. Мы видимъ рѣзкое изображеніе винтовъ, а также и волокнистое строеніе дерева, которое въ силу различной въ разныхъ мѣстахъ плотности имѣетъ и различную проницаемость.

Черт. 312.



Черт. 313.



На черт. 313 видно изображеніе скелета руки съ кольцомъ на пальцѣ; понятно, что кольцо наиболѣе непроницаемо.

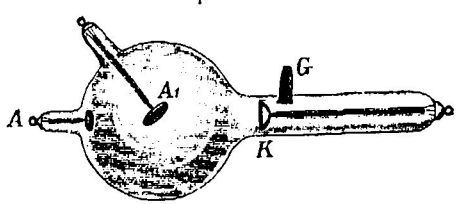
Самое поразительное свойство лучей Рентгена и состоитъ въ томъ, что они такъ легко проходятъ черезъ всевозможныя непрозрачныя вещества. Они, однако, отличаются отъ свѣтовыхъ лучей и другими свойствами. Послѣдніе, какъ извѣстно, правильно отражаются отъ зеркала, между тѣмъ лучи Рентгена правильно не отражаются, а лишь небольшая часть ихъ отбрасывается назадъ, какъ разсѣянные лучи. Точно также, въ противоположность обыкновеннымъ свѣтовымъ лучамъ, лучи Рентгена, пропущенные черезъ призму, совсѣмъ не преломляются. Отъ катодныхъ лучей они отличаются тѣмъ, что не отклоняются подъ вліяніемъ магнита, хотя правда существуютъ и катодные лучи, совершенно не подчиняющіеся дѣйствію магнита.

Со времени открытія лучей Рентгена, въ виду ихъ важнаго значенія въ медицинѣ, старались конечно найти такія конструкціи трубокъ и электродовъ, которыя были бы наиболѣе цѣлесообразны для фотографированія. При этомъ оказалось, что вовсе не такъ удобно заставлять форфоресцировать стѣнки трубокъ и получать рентгеновскіе лучи отъ нихъ, какъ это дѣлали первое время. Напротивъ того, выяснилось, что каждое тѣло, на которое попадаютъ катодные лучи, находится ли оно внутри трубки или около ея стѣнокъ,

является источникомъ лучей Рентгена. Тѣло можетъ фосфоресцировать видимыми лучами, какъ напр. стекло трубки или вплавленные внутрь ея минералы, но можно взять и металлы, которые видимыми лучами не фосфоресцируютъ. Металлы тоже испускаютъ рентгеновскіе лучи, когда на нихъ попадаетъ катодный потокъ, и нѣкоторые даже особенно сильно. Теперь общепринято то тѣло, на которое попадаютъ катодные лучи и отъ котораго исходятъ лучи Рентгена, называть антикатодомъ.

Для полученія возможно рѣзкихъ фотографическихъ снимковъ или флюоресцирующихъ изображеній необходимо, чтобы лучи Рентгена исходили по возможности изъ одной точки, а не изъ цѣлой поверхности. Если лучи исходятъ изъ большого числа точекъ цѣлой поверхности, то получаются снимки съ расплывчатыми контурами и полутѣнями. Вышеприведенному требованію можно просто удовлетворить, устроивъ трубку, катодъ которой имѣетъ форму вогнутаго зеркала. Тогда, какъ мы уже знаемъ (стр. 343), катодные лучи соберутся въ одной точкѣ—въ фокусѣ вогнутаго зеркала. Если помѣстить въ этомъ фокусѣ внутри трубки металлическую пластинку, то послѣдняя сдѣлается антикатодомъ и будетъ испускать изъ себя лучи Рентгена. Въ настоящее время рентгеновскія трубки устраиваются почти исключительно такого типа. Ихъ называютъ трубками съ фокусомъ. Внутри такой трубки впаяны три металлическія части. Одна часть въ формѣ вогнутаго зеркала служитъ катодомъ, другая плоская—анодомъ, третья играетъ роль антикатода и устанавливается въ фокусѣ катодныхъ лучей. На черт. 314 изображена такого рода трубка, которой часто пользуются при небольшихъ индукціонныхъ катушкахъ. Справа виденъ катодъ K, имѣющій форму вогнутаго зеркала, слѣва анодъ A, а посерединѣ антикатодъ A_1, состоящій изъ алюминіевой пластинки, къ которой приклепанъ листикъ платины. Черезъ G трубка была эвакуирована воздушнымъ насосомъ. Затѣмъ этотъ боковой отростокъ запаивается и на него надѣвается резиновая трубка; имъ можно впослѣдствіи пользоваться, хотя и съ большою осторожностью, при закрѣпленіи трубки въ штативъ. Антикатодъ можно снаружи присоединить, какъ показано, къ аноду посредствомъ проволоки. Въ этомъ случаѣ антикатодъ является въ то же время и анодомъ и лучи Рентгена исходятъ изъ анода. Испускаемые лицевой поверхностью платиноваго антикатода лучи Рентгена распространяются сквозь находящуюся передъ антикатодомъ часть шара, которая при этомъ флюоресцируетъ красивымъ зеленымъ свѣтомъ. Обыкновенно шарообразныя трубки, въ

Черт. 314.



которыхъ имѣется антикатодъ, дѣлаютъ довольно большого объема, такъ какъ такія трубки болѣе прочны.

Разрѣженіе воздуха въ трубкахъ за послѣднее время стали дѣлать все больше и больше. Степень его разрѣженія обыкновенно точно опредѣлить не удается; о ней можно судить только по величинѣ разряднаго промежутка въ искромѣрѣ, присоединенномъ къ трубкѣ параллельно. Въ то время, какъ въ началѣ пользовались разряднымъ промежуткомъ всего въ 15—30 мм., теперь начали доходить до такихъ степеней разрѣженія, что нуженъ разрядный промежутокъ минимумъ въ 50—100 мм. для того, чтобы вызвать прохожденіе тока черезъ трубку. Въ настоящее время почти всюду, при примѣненіи на практикѣ (въ медицинѣ) рентгеновскихъ трубокъ, параллельно съ ними включается искровой промежутокъ, проводники котораго расположены вертикально одинъ надъ другимъ. Верхній проводникъ проходитъ черезъ обойму и можетъ быть легко приподнятъ или опущенъ.

Рентгеновскіе лучи, получающіеся въ трубкахъ, бываютъ различнаго рода въ зависимости отъ степени разрѣженія трубки. Трубка, имѣющая сравнительно небольшое разрѣженіе, испускаетъ лучи, легко поглощаемые тѣлами съ большой плотностью; такая трубка называется мягкой. Небольшая разница въ плотности тѣлъ, черезъ которыя проходятъ лучи, испускаемые такой трубкой, вызываетъ значительное различіе въ проницаемости ихъ для этихъ лучей. Поэтому такія трубки даютъ на фотографическихъ пластинкахъ очень отчетливыя контрастныя изображенія. Однако, такими трубками нельзя сфотографироватьтолстые слои тѣлъ, именно потому, что лучи, испускаемые ими, не пройдутъ сквозь такія тѣла. Въ противоположность имъ, трубки, въ которыхъ разрѣженіе очень велико, называютъ твердыми. Лучи, испускаемые твердыми трубками, мало поглощаются; они проходятъ сквозь толстые слои тѣлъ, но именно вслѣдствіе малой поглощаемости не даютъ отчетливыхъ изображеній. Они, напримѣръ, пропускаются костями почти съ той же легкостью, какъ и мышцами, и потому при помощи ихъ нельзя получить отчетливаго фотографическаго снимка костей.

Во всѣхъ рентгеновскихъ трубкахъ наблюдается, однако, явленіе, которое очень мѣшаетъ наблюденіямъ, а именно: степень разрѣженія въ трубкахъ сама по себѣ постепенно повышается, и трубка становится все болѣе твердой. Причина этого явленія заключается въ томъ, что находящіяся внутри трубки заряженныя газовыя частички осѣдаютъ на стеклянныхъ стѣнкахъ. Зная это, легко найти и средство, чтобы исправить трубки, сдѣлавшіяся слишкомъ твердыми, или даже пришедшія въ полную негодность. Надо только прилипшіе къ стѣнкамъ слои газа снова сдѣлать свободными. Этого достигаютъ подогрѣваніемъ стекла трубки, въ особенности вблизи катода. Тогда бывшія

раньше негодными трубки вновь хорошо дѣйствуютъ въ теченіе нѣкотораго времени. Но еще дѣйствительнѣе другое средство, состоящее въ томъ, что боковую трубку, въ которой помѣщенъ катодъ, окружаютъ влажной бумагой или какой либо тканью; эту трубку обертываютъ по всей длинѣ: отъ мѣста, гдѣ впаянъ катодъ, вплоть до стекляннаго шара. Тогда статическій зарядъ съ поверхности стекла отводится, и осѣвшія частицы газа вновь дѣлаются свободными. Обратный недостатокъ,—когда давленіе газа въ трубкѣ слишкомъ велико,—также имѣетъ своимъ послѣдствіемъ плохое дѣйствіе трубки; она тогда слишкомъ мягка. Недостатокъ трубки, заключающійся въ ея чрезмѣрной мягкости, легко устранить, пропуская въ теченіе нѣкотораго времени черезъ трубку разрядъ въ обратномъ направленіи, т. е. такъ, чтобы платиновый антикатодъ служилъ катодомъ. Тогда платина нѣсколько распыляется; платиновыя частички поглощаютъ нѣкоторую часть находящагося въ трубкѣ газа, и сама трубка становится нѣсколько тверже. Такое распыленіе антикатода происходитъ и при правильномъ употребленіи трубки, если только катодные лучи такъ сильны, что слишкомъ нагрѣваютъ антикатодъ. Особенно при примѣненіи новыхъ прерывателей—Венельта и турбиннаго—количество проходящей сквозь трубку энергіи столь велико, что антикатодъ накаливается очень быстро. Этому стараются воспрепятствовать или тѣмъ, что металлическій стержень, на которомъ укрѣпленъ антикатодъ, дѣлаютъ очень толстымъ, вслѣдствіе чего нагрѣваніе будетъ слабѣе, или же,—когда къ трубкѣ предъявляются большія требованія,—тѣмъ, что антикатодъ устраивается такъ, чтобы его можно было охлаждать проточной водой; такія трубки называются трубками съ водянымъ охлажденіемъ.

Мало-по-малу нашли другіе болѣе удобные способы для того, чтобы твердыя трубки дѣлать мягче; даже построена такая трубка, которая позволяетъ регулировать разрѣженіе въ извѣстныхъ предѣлахъ, устанавливая его всякій разъ по желанію; такія трубки называются трубками съ регулировкою. Такова, напримѣръ, трубка, изображенная на черт. 315. Регулированіе здѣсь основано на томъ, что водородъ можетъ диффундировать черезъ накаленный до-красна палладій. Поэтому въ трубку (имѣющую толстый антикатодъ A, могущій безъ сильнаго нагрѣванія воспринимать большія количества энергіи) впаивается палладіевая трубочка P, обыкновенно прикрытая колпачкомъ. Если трубка стала слишкомъ твердой, то палладіевую трубку подогрѣ-

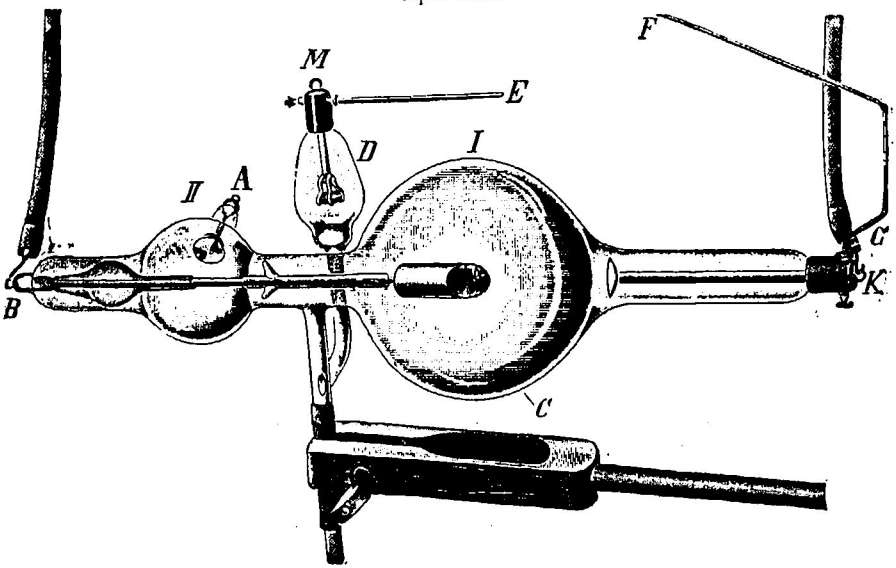
Черт. 315.



ваютъ на спиртовой горѣлкѣ, вслѣдствіе чего водородъ проникаетъ во внутрь шара, и трубка становится болѣе мягкой.

Другой способъ регулированія степени разрѣженія примѣняется въ трубкѣ «Полифосъ», изображенной на черт. 316; трубки такого типа изготовляются электрическимъ обществомъ Полифосъ въ Мюнхенѣ. Здѣсь K катодъ, а B антикатодъ, который состоитъ изъ желѣзнаго цилиндра для того, чтобы трубка могла выдерживать большія количества энергіи. Обыкновенно B служитъ въ то же время и анодомъ, хотя въ качествѣ анода можно употреблять и A. Съ цѣлью регулированія разрѣженія въ трубкѣ, въ нее впаянъ особый сосудъ D, который разрѣжается вмѣстѣ съ самой трубкой. Въ немъ находится спомогательный катодъ (укрѣпленный на M), и противъ него расположенъ

Черт. 316.

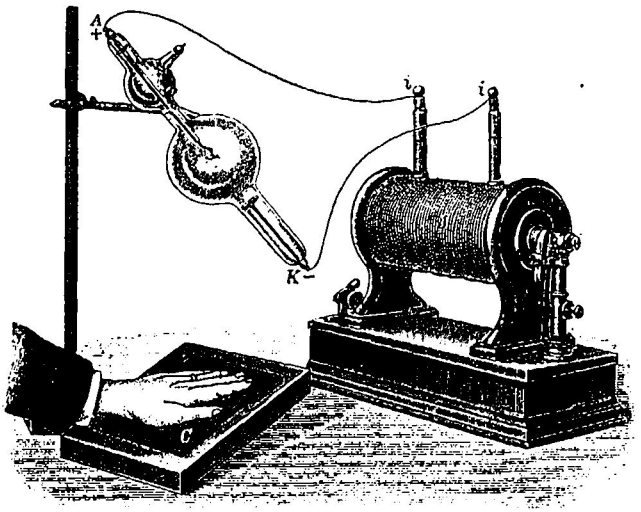


вспомогательный антикатодъ—металлическая пластинка, покрытая составами, выдѣляющими, при нагрѣваніи, воздухъ. Къ K и M прикрѣплены металлическіе стержни, концы которыхъ E и F могутъ находиться на любомъ другъ отъ друга разстояніи. Если разрѣженіе въ трубкѣ слишкомъ велико и разрядъ больше не проходитъ черезъ трубку, то между E и F начинаютъ проскакивать искры. Тогда вспомогательный катодъ D испускаетъ катодные лучи, которые попадаютъ на вспомогательный антикатодъ; послѣдній нагрѣвается и выдѣляетъ изъ себя воздухъ. Вслѣдствіе этого разрѣженіе въ трубкѣ уменьшается и трубка становится мягче; такимъ образомъ, пользуясь вспомогательнымъ катодомъ большее или меньшее время, мы можемъ достигнуть желаемой мягкости трубки. Пропуская черезъ нее токъ въ обратномъ направленіи, трубку можно снова сдѣлать болѣе твердой. Описаннымъ

выше способомъ мы вполнѣ можемъ регулировать степень разрѣженія воздуха въ трубкѣ.

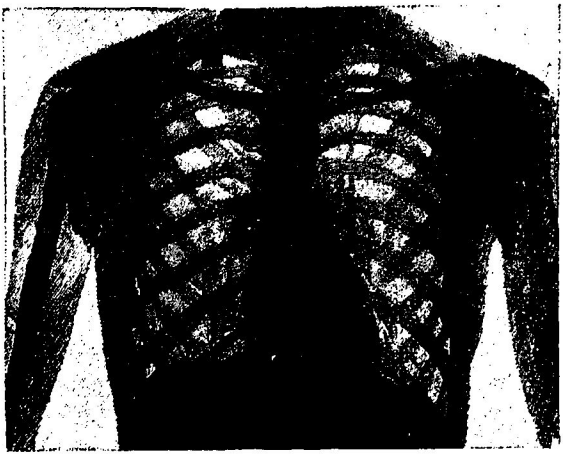
Фотографированіе съ помощью лучей Рентгена весьма просто. Если, напримѣръ, хотятъ получить фотографію костей руки, то рентгеновскую трубку (черт. 317) укрѣпляютъ въ штативѣ такъ, чтобы рентгеновскіе лучи отбрасывались антикатодомъ A внизъ. Индукціонная катушка J соединяется своими полюсами ii съ катодомъ K и анодомъ A. На столѣ подъ трубкой кладется фотографическая пластинка C, завернутая въ черную бумагу (она можетъ быть и въ деревянномъ кассетѣ), свѣточувствительной стороной наверхъ; прямо на бумагу кладутъ руку, которую хотятъ сфотографировать. Если теперь индукціонную катушку заставить работать, то пластинка подвергнется дѣйствію рентгеновскихъ лучей, причемъ болѣе прозрачныя

Черт. 317.



части руки—мускулы—будутъ пропускать ихъ сильнѣе, чѣмъ менѣе прозрачныя, какъ кости и кольцо. Проявивъ затѣмъ пластинку при обыкновенномъ красномъ свѣтѣ и обыкновеннымъ проявителемъ (амидолъ, гидрохинонъ и т. д.), мы увидимъ на темномъ фонѣ свѣтлое изображеніе костей. Продолжительность экспозиціи зависитъ отъ качества трубки и силы и вида кривой тока примѣняемой катушки. Въ началѣ требовалось 5—10 минутъ для фотографированія скелета руки; теперь же съ усовершенствованными трубками и съ усовершенствованными прерывателями для той же цѣли достаточно доли секунды. Пользуясь турбиннымъ или электролитическимъ прерывателями, можно въ 1 секунду снять грудную клѣтку, а 10 секундъ достаточно для фотографированія таза. Кромѣ костей, на фотографической пластинкѣ выходятъ также и мягкія части тѣла, обладающія неодинако-

Черт. 318.



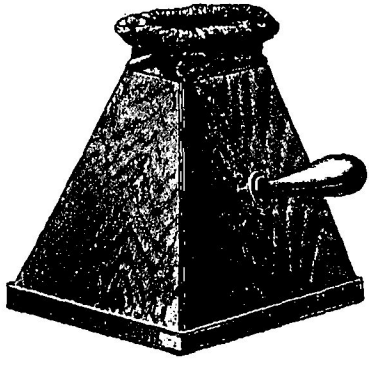
вой способностью пропускать рентгеновскіе лучи. Чертежъ 318 даетъ изображеніе снимка верхней части человѣческаго туловища, на которомъ, кромѣ реберъ посерединѣ и сбоку, видно сердце и (въ видѣ оттѣнковъ) наиболѣе темныя части легкихъ; на этихъ оттѣнкахъ врачи и основываютъ свои заключенія.

Пользуясь современными мощными источниками рентгеновскихъ лучей, можно вмѣсто фотографированія просто просвѣчивать человѣческое тѣло. При этомъ пользуются свойствомъ лучей Рентгена возбуждать флюоресценцію. Для этой цѣли фабрики изготовляютъ такъ называемые флюоресцирующіе экраны. Они состоятъ изъ куска чернаго картона, покрытаго слоемъ двойной синеродистой соли платины и барія въ измельченномъ видѣ и склеивающимъ эту соль веществомъ. Если на подобный экранъ упадутъ лучи Рентгена съ обратной стороны, т. е. черезъ картонъ, то слой этой соли въ темнотѣ сильно свѣтится зеленоватымъ цвѣтомъ. Далѣе, если между рентгеновской трубкой и экраномъ помѣстить, напримѣръ, руку, то мышцы пропустятъ больше лучей, а кости меньше, и мы увидимъ на экранѣ въ видѣ тѣней изображеніе руки вмѣстѣ съ ея скелетомъ, причемъ кости будутъ темными на болѣе свѣтломъ фонѣ. Подобнымъ образомъ можно разсматривать не только кости руки, предплечія и плеча, но даже кости ноги, голени и бедра, ребра грудной клѣтки и кости черепа. Однако, кромѣ костей на флюоресцирующемъ экранѣ ясно видны также и внутренніе мягкіе органы, какъ то: легкія, сердце, грудобрюшная преграда, желудокъ. При этомъ непосредственно глазомъ можно наблюдать движеніе грудобрюшной преграды во время дыханія и безпрестанныя біенія сердца.

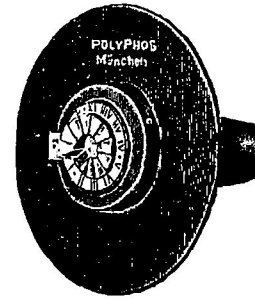
Для этихъ наблюденій съ флюоресцирующимъ экраномъ надо имѣть совершенно темную комнату, такъ какъ свѣченіе экрана, кажущееся весьма яркимъ въ темнотѣ, дѣлается уже незамѣтнымъ при свѣтѣ обычной лампы. Можно однако избѣжать необходимости затемнять комнату, если устроить такъ, чтобы въ глазъ наблюдателя попадалъ только свѣтъ отъ флюоресцирующаго экрана. Для этой цѣли служитъ приборъ, изображенный на черт. 319 и называемый криптоскопомъ.

Въ этомъ свѣтонепроницаемомъ ящикѣ дномъ служитъ флюоресцирующій экранъ, расположенный чувствительнымъ слоемъ, конечно, внутрь. Въ верхнее отверстіе, окаймленное мягкой матеріей, наблюдатель просовываетъ голову и наблюдаетъ изображенія на экранѣ, такъ какъ сквозь дно обыкновенный свѣтъ проходить не можетъ, а проходятъ лишь рентгеновскіе лучи.

Черт. 319.



Черт. 320.



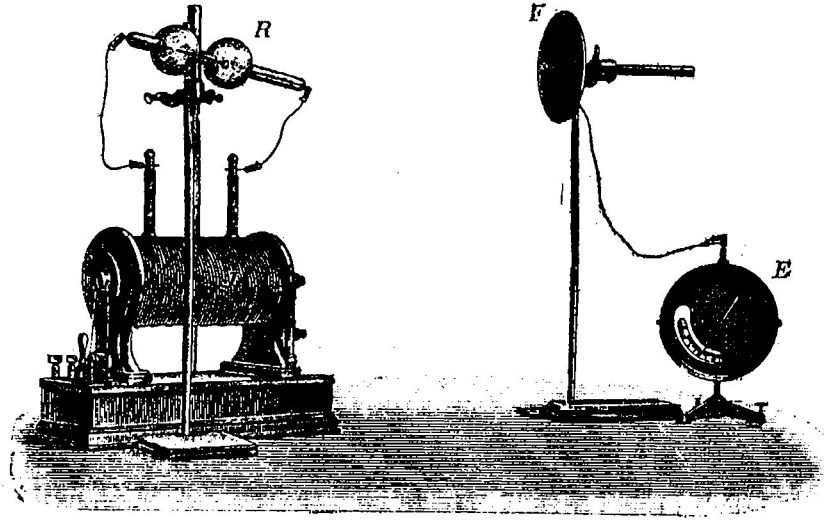
Наблюденія надъ флюоресценціей даютъ удобный способъ для сравненія степени твердости различныхъ трубокъ и опредѣленія градусовъ ея твердости. Въ серединѣ измѣрителя твердости Бенуа (черт. 320) находится тонкая серебряная пластинка, вокругъ которой расположены 12 алюминіевыхъ секторовъ различной толщины—отъ I до XII. Подвергая весь приборъ дѣйствію рентгеновскихъ лучей и наблюдая въ отверстіе воронки, мы замѣчаемъ на флюоресцирующемъ экранѣ изображенія съ тѣнями различной глубины. Наблюденіе состоитъ въ томъ, что сравниваютъ, какой алюминіевый секторъ даетъ тѣневое изображеніе той же глубины, какъ и серебряная пластинка. Лучи отъ твердыхъ трубокъ проходятъ черезъ болѣе толстые алюминіевые секторы такъ же легко, какъ и черезъ серебряную пластинку; лучи же отъ мягкихъ трубокъ съ одинаковой легкостью проходятъ черезъ серебряную пластинку и лишь болѣе тонкіе секторы. Номеръ соотвѣтственнаго алюминіеваго сектора обозначаетъ тогда градусъ твердости трубки.

Всѣмъ хорошо извѣстны успѣхи, которые ежедневно дѣлаетъ медицина, пользуясь рентгеновскими лучами не только для отысканія въ человѣческомъ тѣлѣ постороннихъ предметовъ, какъ-то иголокъ, металлическихъ осколковъ и т. под., но и для изслѣдованія внутреннихъ органовъ, величины сердца и т. д. Однако, кромѣ примѣненія для діагноза, рентгеновскіе лучи оказались очень полезными и при леченіи различныхъ болѣзней, но эти лучи въ нѣкоторыхъ случаяхъ могутъ быть небезопасными для человѣческаго тѣла, такъ какъ у нѣкоторыхъ

людей они вызываютъ очень серьезныя болѣзни; вообще подвергать человѣческое тѣло дѣйствію рентгеновскихъ лучей надо съ большой осторожностью.

Одно свойство лучей Рентгена нами до сихъ поръ совершенно не разсматривалось, хотя съ физической точки зрѣнія оно представляетъ большой интересъ. Оно заключается въ томъ, что рентгеновскіе лучи, падая на электрически заряженное тѣло, быстро его разряжаютъ. Для того, чтобы это доказать, на штативѣ укрѣпляютъ металлическую пластинку F (черт. 321), прикрѣпленную къ хорошо изолирующей стеклянной палочкѣ, и соединяютъ ее съ какимъ либо электроскопомъ, напримѣръ съ тѣмъ, который былъ описанъ на стр. 18. Если теперь металлическую пластинку зарядить натертой

Черт. 321.

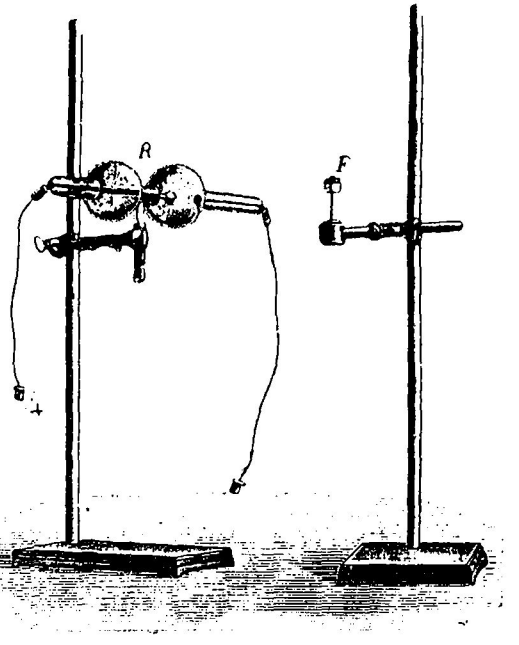


эбонитовой палочкой отрицательно, то указатель электроскопа отклонится и останется въ такомъ положеніи, такъ какъ окружающій воздухъ является изоляторомъ. Но какъ только мы приведемъ въ дѣйствіе рентгеновскую трубку R, расположенную противъ металлической пластинки, указатель электроскопа почти моментально возвращается въ свое первоначальное положеніе, что и служитъ доказательствомъ происшедшаго разряда пластинки. Если повторить этотъ опытъ еще разъ, зарядивъ пластинку положительно посредствомъ натертой стеклянной палочки, то мы получимъ тотъ же результатъ. Положительный зарядъ тоже исчезаетъ подъ дѣйствіемъ лучей Рентгена. Опытъ этотъ проще всего объясняется тѣмъ предположеніемъ, что воздухъ, чрезъ который проходятъ лучи Рентгена, теряетъ свои изолирующія свойства и становится проводникомъ. Предположеніе это

вполнѣ подтверждается спеціально поставленными для его провѣрки опытами. Когда воздухъ дѣлается проводникомъ, то естественно, что зарядъ не можетъ остаться на тѣлѣ, а переходитъ на окружающіе его предметы и затѣмъ въ землю; такимъ образомъ зарядъ тѣлъ уходитъ въ землю. Конечно, подъ вліяніемъ лучей Рентгена воздухъ не становится столь хорошимъ проводникомъ, какъ, напримѣръ, мѣдь или растворъ какой нибудь соли; проводимость такого воздуха все еще чрезвычайно мала, но она уже достаточна для того, чтобы разрядить тѣло, напряженіе котораго на 100 или на 1000 вольтъ отличается отъ напряженія земли.

Эти электрическія дѣйствія могутъ между прочимъ послужить для того, чтобы произвести при помощи рентгеновскихъ лучей механическое движеніе подобно тому, какъ это было описано для катодныхъ лучей. Для этого нужно взять легкія изолированныя тѣла, напримѣръ два парафиновыхъ диска, прикрѣпленныхъ къ поперечнику, снабженному агатовой шляпкой и насаженному на остріе иглы. Если такое легко движущееся тѣло F расположить (черт. 322) вблизи рентгеновской трубки R, то оно, какъ только возникаютъ рентгеновскіе лучи, приходитъ въ быстрое вращеніе. Стеклянная стѣнка трубки Рентгена непрерывно заряжается отрицательно (см. выше стр. 346) и такъ какъ воздухъ вблизи трубки становится проводникомъ, то отрицательное электричество переходитъ на крылья вращающагося тѣла. Такимъ образомъ крылья со стороны, обращенной къ рентгеновской трубкѣ, окажутся заряженными отрицательно и будутъ отъ нея отталкиваться. Когда заряженныя части, вслѣдствіе возникшаго вращенія, перейдутъ на противоположную сторону, ихъ зарядъ, благодаря проводимости воздуха, уйдетъ съ нихъ и онѣ останутся незаряженными, пока вновь не повернутся къ рентгеновской трубкѣ; тогда онѣ снова зарядятся, снова оттолкнутся и такимъ образомъ будутъ непрерывно вращаться. Пови-

Черт. 322.



димому по той же причинѣ происходитъ вращеніе тѣлъ и внутри круксовыхъ трубокъ.

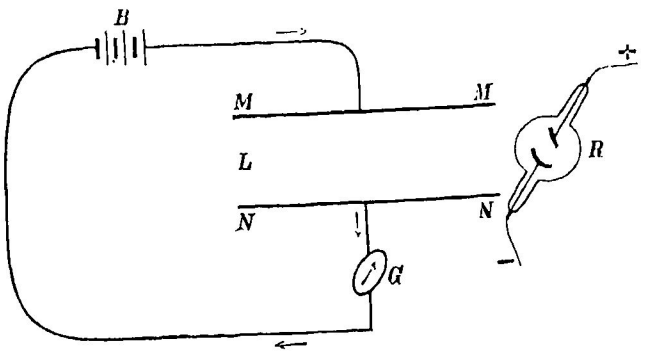
Относительно природы рентгеновскихъ лучей можно пока сдѣлать два предположенія. Первое предположеніе заключается въ томъ, что рентгеновскіе лучи, подобно катоднымъ, состоятъ изъ быстро движущихся частицъ, а именно,—изъ быстро движущихся электроновъ; согласно же второму предположенію, рентгеновскіе лучи, такъ же какъ и лучи свѣтовые, представляютъ собой явленія, происходящія въ эфирѣ, при чемъ лучи эти распространяются въ немъ волнами. Эти два рода лучеиспусканія принято, для краткости, называть электронными и эфирными лучеиспусканіями. Противъ перваго предположенія говоритъ то обстоятельство, что магнитъ не вліяетъ на рентгеновскіе лучи. Однако, это обстоятельство не могло бы быть вполнѣ рѣшающимъ, такъ какъ существуютъ и катодные лучи, въ которыхъ электроны движутся настолько быстро, что не могутъ быть отклонены магнитными силами, находящимися въ нашемъ распоряженіи. Въ дѣйствительности, многія явленія указываютъ на то, что рентгеновскіе лучи представляютъ собой движеніе какихъ-то матеріальныхъ частицъ и имѣютъ, какъ говорятъ, частичное строеніе. Второе предположеніе, по которому лучи эти суть явленія, происходящія въ эфирѣ, т. е. подобны свѣтовымъ лучамъ, также встрѣчается со значительными трудностями, потому что, въ то время какъ свѣтовые лучи правильно отражаются и преломляются, рентгеновскіе лучи не обнаруживаютъ этихъ свойствъ. Предположеніе, наиболѣе соотвѣтствующее наблюдаемымъ явленіямъ и имѣющее вслѣдствіе этого наибольшее число послѣдователей, было высказано Стоксомъ. Онъ предполагаетъ, что эфиръ, находящійся въ трубкѣ, подъ вліяніемъ ударяющихся объ антикатодъ электроновъ, все время испытываетъ сотрясенія и что эти сотрясенія распространяются въ эфирѣ; такимъ образомъ слѣдующіе чрезвычайно быстро другъ за другомъ сотрясенія эфира, падая, напримѣръ, на фотографическую пластинку, приводятъ въ сотрясеніе молекулы свѣточувствительнаго слоя и отщепляютъ отъ нихъ частицы серебра, которыя и выдѣляются при проявленіи пластинки. Если же такія быстрыя послѣдовательныя сотрясенія достигаютъ флюоресцирующаго экрана, то они дѣйствуютъ на частички флюоресцирующихъ тѣлъ такимъ образомъ, что частички эти начинаютъ колебаться со свойственнымъ имъ періодомъ и испускать свѣтъ флюоресценціи. Во всякомъ случаѣ прямого подтвержденія этого предположенія до сихъ поръ не найдено, и хотя практическое примѣненіе рентгеновскихъ лучей уже очень велико, но научное объясненіе ихъ сущности представляетъ собой пока задачу для дальнѣйшихъ изслѣдованій.

Въ освѣщеніи рентгеновскими лучами мы нашли первый и при-

томъ мощный способъ сдѣлать воздухъ, или какой нибудь иной газъ, проводящимъ. Это объясняется тѣмъ, что рентгеновскіе лучи разрываютъ нѣкоторыя газовыя частицы, расщепляютъ ихъ, вслѣдствіе чего образуются положительно и отрицательно заряженныя частички. Лучи эти, какъ говорятъ, ионизируютъ воздухъ. Явленіе это, по нашему представленію, состоитъ въ томъ, что газовая молекула расщепляется, при чемъ освобождается отрицательный электронъ, а остающаяся часть молекулы дѣлается вслѣдствіе этого положительнымъ іономъ. Слѣдовательно, въ ионизированномъ воздухѣ находятся: во-первыхъ,—нейтральныя молекулы, во-вторыхъ,—отрицательные электроны, и въ третьихъ,—положительные іоны. Могутъ, однако, образоваться и болѣе сложныя соединенія, когда, напримѣръ, отрицательные электроны не остаются свободными, а связываются, какъ при электролизѣ, съ атомами газа, или когда нѣсколько газовыхъ атомовъ, связанныхъ другъ съ другомъ, оказываются положительными, вслѣдствіе потери отрицательнаго іона. Положительно и отрицательно заряженныя частички газа, строеніе которыхъ можетъ быть весьма различно, называются газовыми ионами. Когда въ воздухѣ прекращается дѣйствіе рентгеновскихъ лучей, подъ вліяніемъ котораго возникаютъ газовые іоны, само собой начинаетъ происходить соединеніе газовыхъ іоновъ въ нейтральныя молекулы—явленіе, называемое возстановленіемъ.

Воздухъ, ионизированный рентгеновскими лучами или какимъ либо другимъ способомъ, обладаетъ нѣкоторой проводимостью, и поэтому черезъ него, подобно тому какъ черезъ растворъ какой нибудь соли, долженъ проходить электрическій токъ, если въ двухъ какихъ нибудь пунктахъ его вызвать различныя напряженія. Токъ, проходящій черезъ такой ионизированный воздухъ (или иной какой нибудь газъ), обладаетъ нѣкоторыми свойствами, которыя не обнаруживаются при прохожденіи тока чрезъ металлы и жидкости.

Черт. 323.



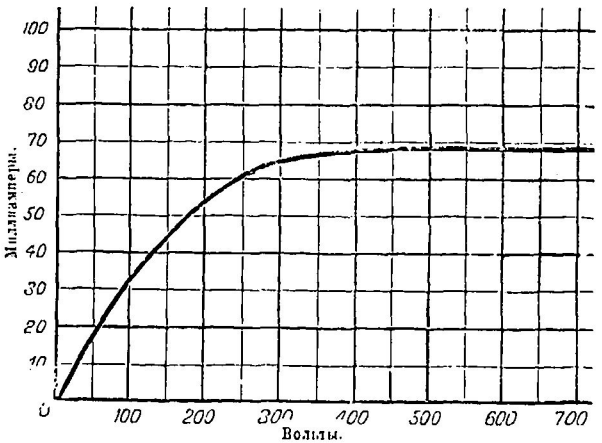
Представимъ себѣ расположеніе приборовъ, изображенное на черт. 323.

Между двумя пластинками MM и NN находится воздухъ, освѣщаемый и іонизируемый рентгеновской трубкой R. Для того, чтобы вызвать разность напряженій, соединимъ пластинку MM съ однимъ полюсомъ, а пластинку NN съ другимъ полюсомъ батареи B (въ нѣсколько сотъ или тысячъ вольтъ). Тогда по всей системѣ будетъ проходить слабый токъ, который мы можемъ измѣрить очень чувствительнымъ гальванометромъ G. При постепенномъ увеличеніи напряженія батареи съ 200 до 400 или 600 вольтъ, сила тока, въ томъ случаѣ, если бы между пластинками находился электролитъ, возрастала бы въ томъ же отношеніи—въ два или въ три раза. Этого, однако, не наблюдается въ случаѣ іонизированнаго газа. Напротивъ того, здѣсь при увеличеніи напряженія сила тока сперва возрастаетъ пропорціонально, затѣмъ все въ меньшей и меньшей степени и, наконецъ, сила тока почти совсѣмъ перестаетъ увеличиваться, несмотря на дальнѣйшее возрастаніе напряженія. Это соотношеніе между силой тока и напряженіемъ изображено на черт. 324, гдѣ по горизонтальной линіи откладываются напряженія между обѣими пластинками, а по вертикальной—сила тока, измѣряемая гальванометромъ. Мы видимъ, что существуетъ извѣстная максимальная сила тока, проходящаго черезъ іонизированный извѣстнымъ образомъ газъ; токъ имѣетъ одну и ту же величину (на чертежѣ—68 миллиамперъ), независимо отъ того, имѣется ли напряженіе въ 400, 500, 600 или 700 вольтъ. Этотъ максимальный токъ называется *токомъ насыщенія*. Величина его существенно зависитъ отъ того, насколько сильно іонизированъ газъ рентгеновскими лучами.

Очень простыми разсужденіями можно убѣдиться въ томъ, что такая зависимость между силой тока и напряженіемъ дѣйствительно существуетъ и что въ іонизированномъ газѣ долженъ быть наблюдаемъ токъ насыщенія. Когда рентгеновскіе лучи имѣютъ опредѣленную силу, то въ каждую секунду они могутъ разлагать опредѣленное число газовыхъ молекулъ на ихъ положительные и отрицательные іоны. Подъ вліяніемъ разности потенціаловъ отрицательные іоны притягиваются къ положительной пластинкѣ, а положительные къ отрицательной и отдаютъ имъ свои заряды, вслѣдствіе чего и образуется токъ. Чѣмъ больше разность напряженій между пластинками, тѣмъ быстрѣе двигаются іоны и тѣмъ большее, слѣдовательно, число іоновъ отдастъ въ единицу времени свои заряды. Вслѣдствіе этого въ началѣ, съ увеличеніемъ напряженія, усиливается и сила тока. Однако, когда напряженіе сдѣлается настолько велико, что въ каждую секунду число іоновъ, отдающихъ свои заряды, станетъ равно числу іоновъ, образующихся подъ вліяніемъ рентгеновскихъ лучей, тогда очевидно будетъ достигнута максимальная сила тока. Токъ не можетъ стать сильнѣе, такъ какъ для болѣе сильнаго тока

недостаточно число свободныхъ іоновъ. Мы видимъ, слѣдовательно, что токъ насыщенія въ то же время является мѣриломъ силы іонизаціи, производимой рентгеновскими трубками. То же разсужденіе примѣнимо, конечно, и къ тому случаю, когда газъ іонизируется не рентгеновскими лучами, а какимъ нибудь другимъ способомъ, въ

Черт. 324.



особенности радіоактивными веществами, о которыхъ мы будемъ говорить въ слѣдующей главѣ.

Токъ насыщенія тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше іоновъ образуется въ газѣ въ каждую секунду. Изъ этого слѣдуетъ, что онъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше освѣщаемый объемъ газа, т. е. чѣмъ толще, при одинаковомъ размѣрѣ пластинокъ, освѣщаемый слой газа, такъ какъ при бо́льшемъ пространствѣ рентгеновскими лучами будетъ іонизировано бо́льшее число молекулъ. Мы пришли такимъ образомъ къ очень важному результату,—что при освѣщенномъ газѣ токъ насыщенія получается тѣмъ сильнѣе, чѣмъ дальше отстоятъ другъ отъ друга электроды, тогда какъ при обыкновенномъ токѣ въ цѣпи, наоборотъ, увеличеніе разстоянія между электродами ведетъ, вслѣдствіе большого сопротивленія, къ уменьшенію силы тока.

Оба рода іоновъ въ газѣ движутся, если имѣется разность напряженій, въ противоположныхъ направленіяхъ: отрицательные іоны къ положительному электроду, а положительные—къ отрицательному. Скорость, съ которой движутся іоны, какъ можно придвидѣть заранѣе, не одинакова для обоихъ родовъ іоновъ. Дѣйствительно, если, напримѣръ, отрицательными іонами являются электроны, то они, вслѣдствіе своей значительно меньшей массы, пріобрѣтутъ значительно бо́льшую скорость, чѣмъ положительные. Скорости обоихъ сортовъ іоновъ можно опредѣлить экспериментальнымъ путемъ. Она, конечно, тѣмъ больше, чѣмъ больше дѣйствующая разность напряженій, и чѣмъ на меньшемъ

разстояніи она дѣйствуетъ. Поэтому скорость газоваго іона опредѣляютъ въ такомъ электрическомъ полѣ, въ которомъ разность напряженій измѣняется на величину 1 вольта на протяженіи одного сантиметра, и которое называется полемъ въ одинъ вольтъ—сантиметръ. Скорость, пріобрѣтаемая іономъ въ такомъ полѣ, называется подвижностью іона. Для измѣренія скорости отрицательныхъ іоновъ, освѣщаемъ тонкій слой газа, находящійся, напр., около нижней пластинки конденсатора, и, сообщивъ этой пластинкѣ высокое отрицательное напряженіе, опредѣляемъ время, въ теченіе котораго движущіеся вверхъ отрицательные іоны достигнутъ верхней пластинки. Тогда намъ будетъ извѣстенъ путь, пройденный іонами и равняющійся разстоянію между обѣими пластинками, и время, въ теченіе котораго ими пройдено это разстояніе, т. е. будетъ извѣстна ихъ скорость. Если, наоборотъ, нижнюю пластинку зарядить положительно, то положительные іоны будутъ отталкиваться ею, и слѣдовательно можно будетъ опредѣлить подвижность положительныхъ іоновъ. Вообще оказалось, что подвижность отрицательныхъ іоновъ больше, чѣмъ положительныхъ. Слѣдующая таблица даетъ подвижность іоновъ въ газахъ, находящихся подъ давленіемъ одной атмосферы, при чемъ подвижность эта выражена сантиметрами въ секунду:

	Подвижность (скорость въ полѣ въ одинъ вольтъ-сантиметръ).			
	въ воздухѣ	въ кислородѣ	въ углекисл.	въ водородѣ
Положительные іоны . .	1,36	1,36	0,76	6,70
Отрицательные іоны . .	1,87	1,80	0,81	7,95

Изъ этихъ чиселъ видно, что хотя отрицательные іоны всегда движутся быстрѣе положительныхъ, но разница эта не столь велика, какой она была бы, если бы отрицательные іоны были электронами. Напротивъ того оказывается, что скорость отрицательныхъ іоновъ въ разрѣженныхъ газахъ значительно больше.

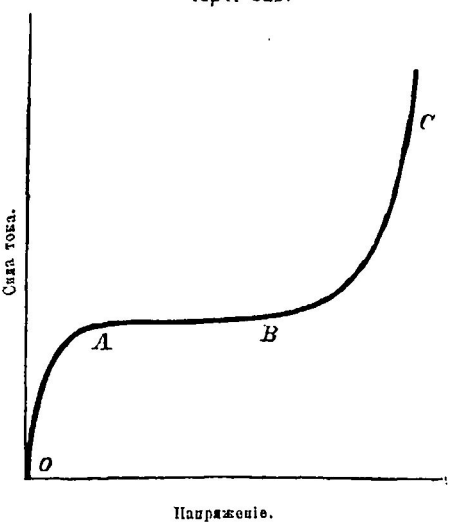
Комбинируя этотъ фактъ съ другими, установимъ слѣдующее, болѣе точное, представленіе объ явленіи іонизаціи газа. Подъ дѣйствіемъ рентгеновскихъ лучей—іонизатора—(выше было упомянуто, что существуютъ еще иные способы іонизаціи газа, т. е. иные іонизаторы), отъ газовой молекулы отщепляется отрицательный электронъ, а остающаяся часть молекулы становится заряженной положительно. Къ этому отрицательному электрону тотчасъ пристаетъ и окружаетъ его большое число нейтральныхъ молекулъ; этотъ то сложный комплексъ, состоящій изъ молекулъ и отрицательнаго электрона, и является

отрицательнымъ газовымъ іономъ. Точно также къ положительно заряженному остатку расщепившейся молекулы тотчасъ пристаютъ нейтральныя молекулы; этотъ комплексъ представляетъ собой положительный іонъ газа. Итакъ газовые іоны суть вообще довольно значительныя тѣла, состоящія изъ нѣкотораго числа молекулъ, присоединившихся къ отрицательному или положительному ядру и окружающихъ его въ видѣ оболочки. При сильномъ разрѣженіи газа молекулы, приставшія уже къ отрицательному ядру, отпадаютъ отъ него, и отрицательный электронъ остается такимъ же свободнымъ, какимъ онъ является въ катодныхъ лучахъ.

Хотя существованіе тока насыщенія и представляетъ собой очень интересное явленіе, но, однако, оно не обнимаетъ собой всѣхъ явленій, происходящихъ при прохожденіи тока черезъ газъ.

Если освѣщенный газъ подвергать дѣйствію все возрастающихъ электродвижущихъ силъ, то вскорѣ можно достичь тока насыщенія, который на чертежѣ 324 изображается горизонтальной частью кривой. Однако, при увеличеніи электродвижущей силы выше 700 вольтъ (которые на этомъ чертежѣ являются высшимъ предѣломъ), напримѣръ до 1000, 2000 или 3000 вольтъ, кривая не остается горизонтальной, а, начиная съ нѣкотораго опредѣленнаго мѣста, снова быстро идетъ наверхъ; такая кривая изображена на черт. 325. Увеличивая постепенно дѣйствующую на газъ разность потенціаловъ, начиная отъ O, мы получаемъ сначала увеличеніе силы тока отъ O до A, а затѣмъ токъ насыщенія, изображенный прямолинейнымъ горизонтальнымъ отрѣзкомъ AB. При дальнѣйшемъ увеличеніи разности потенціаловъ токъ снова значительно возрастаетъ отъ B до C и далѣе. Отчего же происходитъ послѣ насыщенія такое значительное усиленіе тока?

Черт. 325.



Вѣдь подъ вліяніемъ іонизатора, въ газѣ въ каждую секунду образуется какъ разъ столько газовыхъ іоновъ, сколько требуется для полученія тока насыщенія; слѣдовательно сила тока, поскольку она зависитъ отъ дѣйствія іонизатора, не можетъ стать больше, чѣмъ при токѣ насыщенія. Дальнѣйшее усиленіе тока показываетъ, однако, что образуется много новыхъ іоновъ. Они происходятъ подъ вліяніемъ іонизаціи отъ столкновеній. Образовавшіеся первоначально га-

зовые іоны пріобрѣтаютъ, при увеличеніи разности напряженій, все большую и большую скорость, и когда, наконецъ, эта послѣдняя достигнетъ нѣкоторой опредѣленной величины, они будутъ въ состояніи расщеплять на составныя части молекулы, бывшія до тѣхъ поръ нейтральными, и образовывать такимъ образомъ новые газовые іоны; вслѣдствіе этого сила тока снова можетъ возрасти и должна будетъ увеличиться. Когда достигнуто такое состояніе, то примѣнявшійся первоначально іонизаторъ становится совершенно излишнимъ. Тогда можно совершенно удалить дѣйствующую на газъ рентгеновскую трубку, или другой какой либо употреблявшійся первоначально іонизаторъ; проводимость газа останется, такъ какъ дальнѣйшую іонизацію будетъ производить уже самъ газъ вслѣдствіе происходящихъ въ немъ столкновеній частицъ. Поэтому при прохожденіи тока черезъ газы можно различать два рода токовъ: несамостоятельный токъ, происходящій лишь въ присутствіи внѣшняго іонизатора и самостоятельный токъ, продолжающійся даже и тогда, когда нѣтъ внѣшняго іонизатора. Токъ, представленный графически на черт. 325, несамостоятеленъ между O и B, а, начиная отъ B, становится уже самостоятельнымъ.

Такіе самостоятельные токи существуютъ и въ разрѣженныхъ газахъ, въ которыхъ происходятъ явленія, открытыя Гейслеромъ. Если, подъ вліяніемъ высокаго напряженія, находившіеся ранѣе въ трубкѣ газовые іоны пріобрѣтутъ достаточную скорость, то они, вслѣдствіе взаимныхъ столкновеній, уже сами производятъ іонизацію газа; въ немъ начинаетъ проходить самостоятельный токъ, который проявляется въ видѣ свѣченія. Самостоятельные токи всегда связаны со свѣтовыми явленіями. На стр. 355 и слѣдующихъ мы уже описывали дѣйствіе происходящей въ гейслеровыхъ трубкахъ іонизаціи вслѣдствіе столкновеній. Однако, самостоятельный токъ происходитъ не только въ разрѣженныхъ газахъ, но и въ газахъ, находящихся при атмосферномъ давленіи, если только дѣйствующая разность напряженій достаточно велика; токъ этотъ проявляется въ видѣ искрового разряда, т. е. въ видѣ электрической искры. Если при этомъ сила тока настолько велика, что можетъ сильно нагрѣть электроды и газъ, то электрическая искра переходитъ въ вольтову дугу.

Такимъ образомъ движеніемъ газовыхъ іоновъ и іонизаціей вслѣдствіе столкновенія объясняются всѣ разнообразныя явленія, происходящія при разрядѣ въ газахъ. Хотя іоны и играютъ большую роль при прохожденіи тока черезъ жидкости, однако въ газахъ обнаруживается новое чрезвычайно важное явленіе, а именно: іонизація отъ столкновенія,—благодаря которой явленія, происходящія въ газахъ значительно разнятся отъ явленій въ жидкостяхъ при прохожденіи чрезъ нихъ тока.

ГЛАВА XIII.

Лучи Беккереля и радіоактивность.

Чрезвычайно рѣдко бываетъ, чтобы природа обнаружила передъ изслѣдователемъ такія неожиданныя и поразительныя явленія, какъ тѣ, которыя были открыты въ послѣдніе годы. Открытія эти показали, что излученіе,—точнѣе говоря, излученіе электроновъ,—являющееся однимъ изъ проявленій электричества, имѣетъ гораздо болѣе обширное значеніе, чѣмъ можно было думать раньше.

Уже круксовы трубки имѣли важное значеніе для изслѣдованія явленій излученія электричества. Благодаря имъ первоначально были обнаружены удивительныя особенности катодныхъ лучей, обладающихъ, кромѣ своего прямолинейнаго распространенія, свойствами дѣйствовать на фотографическую пластинку, возбуждать флюоресценцію и фосфоресценцію и проникать сквозь тонкіе слои различныхъ тѣлъ и даже металловъ. Эти свойства катодныхъ лучей объясняются, какъ мы говорили уже на стр. 349 и слѣдующихъ, тѣмъ, что они состоятъ изъ чрезвычайно маленькихъ, отрицательно заряженныхъ тѣлъ,—электроновъ или атомовъ электричества, вылетающихъ съ очень большой скоростью изъ катода.

Отрицательные электроны, всегда прочно связанные въ электрическихъ процессахъ съ частицами матеріи, въ катодныхъ лучахъ совершенно свободны. Благодаря тому, что въ круксовыхъ трубкахъ напряженіе очень значительно, электроны движутся по направленію отъ катода съ очень большой скоростью, равной почти $^1/_3$ скорости свѣта. На основаніи такого представленія о сущности явленій легко объясняются преимущественно слѣдующія два свойства катодныхъ лучей: во-первыхъ, что лучи эти заряжаютъ отрицательно каждое тѣло, на которое они падаютъ, и, во-вторыхъ,—и это особенно замѣчательно,—что катодные лучи, подъ вліяніемъ магнита или электрически заряженнаго тѣла, отклоняются отъ своего пути. Свѣтовые лучи не заряжаютъ тѣлъ, на которыя они падаютъ, и совершенно не чувствительны къ дѣйствію магнита; въ этомъ и состоитъ существенное различіе между катодными и свѣтовыми лучами.

Въ дальнѣйшемъ мы обнаружили въ круксовыхъ трубкахъ закатодные лучи; оказалось, что они состоятъ изъ движущихся частицъ, заряженныхъ положительно. Дѣйствительно, закатодные лучи отклоняются магнитомъ какъ разъ въ противоположную сторону, по сравненію съ катодными лучами. Ихъ скорость приблизительно въ 1000 разъ меньше, чѣмъ скорость катодныхъ лучей, и, несомнѣнно, они состоятъ не изъ свободныхъ положительныхъ электроновъ,—если вообще существуютъ положительные электроны,—а изъ большихъ комплексовъ матеріи (газовыхъ частицъ), заряженныхъ положительно, т. е., какъ принято говорить, изъ положительныхъ іоновъ.

Третьимъ родомъ лучей, образующихся въ круксовыхъ трубкахъ, являются лучи Рентгена, которые наиболѣе извѣстны и наиболѣе важны для практическихъ цѣлей. Здѣсь мы напомнимъ, въ виду послѣдующаго, всего лишь два ихъ свойства. Во-первыхъ, рентгеновскіе лучи не подчиняются вліянію на нихъ магнита; въ противоположность катоднымъ и закатоднымъ лучамъ: они не отклоняются магнитомъ ни въ ту, ни въ другую сторону. Во-вторыхъ, они обладаютъ важнымъ свойствомъ дѣлать воздухъ, черезъ который они проходятъ, проводникомъ, т. е. іонизировать его. Для того, чтобы доказать наглядно это свойство лучей Рентгена, возьмемъ электроскопъ съ золотыми листочками и зарядимъ эти листочки при помощи натертой стеклянной или эбонитовой палочки. Тогда листочки, оттолкнутся другъ отъ друга и останутся въ воздухѣ долгое время въ такомъ положеніи. Но, какъ только гдѣ-нибудь вблизи отъ нихъ вызвать появленіе рентгеновскихъ лучей, золотые листочки тотчасъ же сойдутся; это служитъ очевиднымъ доказательствомъ того, что воздухъ потерялъ свое свойство изолировать и сталъ проводникомъ.

Но вѣдь трубки съ сильно разрѣженными газами, которыя производятъ катодные, закатодные и рентгеновскіе лучи, суть приборы, требующіе большого искусства и труда для своего приготовленія, свидѣтельствующіе объ изобрѣтательности человѣческаго ума. Кромѣ того въ этихъ трубкахъ лучи могутъ появляться только лишь тогда, когда онѣ приведены въ дѣйствіе индукціонными катушками или другими какими-либо источниками электричества большого напряженія. Природа же даетъ въ наше распоряженіе, въ видѣ многихъ химическихъ элементовъ, такіе источники этихъ лучей, которые безъ всякой съ нашей стороны помощи и особеннаго искусства постоянно испускаютъ или всѣ три рода этихъ лучей, или только нѣкоторые изъ нихъ и, кромѣ того, обладаютъ еще многими свойствами, которыя до настоящаго времени были совершенно неизвѣстны. Такіе элементы называются радіоактивными веществами, а ихъ свойство испускать лучи—радіоактивностью. Французскій изслѣдователь Беккерель впервые нашелъ, что сѣрнокислая соль урана и калія является именно такимъ

веществомъ; соль эта испускаетъ присущіе ей лучи, совершенно подобные лучамъ трубки Рентгена. Лучи эти такъ же, какъ и рентгеновскіе, проходятъ сквозь дерево, бумагу, алюминій, дѣйствуютъ на фотографическую пластинку и вызываютъ флюоресценцію. Затѣмъ обнаружился цѣлый рядъ другихъ веществъ, которые также испускаютъ эти удивительные лучи, какъ, напримѣръ, сѣрнокислый уранъ, окись урана, гидратъ урановой соли и др. Наконецъ, Беккерель обнаружилъ, что всѣ соли урана, а также и самъ металлическій уранъ, испускаютъ такіе лучи, такъ что это свойство присуще атомамъ урана. Такимъ образомъ Беккерель открылъ особый сортъ лучей, которые первоначально называли урановыми лучами; въ настоящее же время эти и подобные имъ лучи называются лучами Беккереля. Кромѣ урановыхъ соединеній, соединенія другого рѣдкаго элемента—торія—также оказались веществами, испускающими лучи Беккереля.

Лучи, испускаемые такими веществами, отличаются отъ свѣтовыхъ лучей прежде всего тѣмъ, что они проходятъ черезъ черную бумагу и даже черезъ тонкій листикъ алюминія, чего свѣтовые лучи сдѣлать не могутъ; какъ сказано выше, лучи эти, подобно свѣтовымъ, дѣйствуютъ на фотографическую пластинку (правда, послѣ экспозиціи въ нѣсколько часовъ и даже дней), вызываютъ флюоресценцію и обладаютъ удивительнымъ свойствомъ дѣлать воздухъ проводникомъ, т. е. они могутъ разряжать электроскопъ. Чѣмъ больше содержаніе въ тѣлѣ урана, тѣмъ значительнѣе его дѣйствіе на электроскопъ.

Поэтому дѣйствіемъ этихъ лучей на электроскопъ можно пользоваться для того, чтобы количественно сравнивать лучеиспускательную способность этихъ веществъ. Если зарядить электроскопъ съ золотыми листочками такъ, чтобы листочки отклонились на опредѣленную величину, соотвѣтствующую, напр., 500 вольтамъ напряженія, и подносить къ нему послѣдовательно одинаковыя по вѣсу количества различныхъ образчиковъ такихъ солей, то можно измѣрить время, въ теченіе котораго золотые листочки сойдутся до опредѣленнаго разстоянія; такимъ образомъ, представляется возможнымъ опредѣлить время, въ теченіе котораго напряженіе съ 500 вольтъ уменьшится до 400 вольтъ. Чѣмъ короче время, требующееся для такого уменьшенія напряженія, тѣмъ болѣе проводящимъ сталъ воздухъ и тѣмъ, слѣдовательно, сильнѣе лучеиспусканіе соотвѣтствующаго тѣла. Еще проще и точнѣе наблюдать для этой цѣли токъ насыщенія (стр. 372), образующійся въ іонизированномъ, ставшимъ проводникомъ, воздухѣ, находящемся между пластинками заряженнаго конденсатора. Дѣйствительно, выше мы видѣли, что сила тока насыщенія непосредственно является мѣрой для числа іоновъ, образующихся въ каждую секунду, подъ вліяніемъ іонизатора,—въ данномъ случаѣ вещества, испускающаго лучи. Слѣдовательно, чѣмъ сильнѣе оказывается при этомъ токъ

насыщенія, тѣмъ сильнѣе лучеиспусканіе вещества. Итакъ, скорость разряженія электроскопа, или сила возникающаго тока насыщенія являются мѣрой величины радіоактивности различныхъ тѣлъ.

Такими количественными измѣреніями надъ веществами, содержащими уранъ, занималась въ Парижѣ г-жа Кюри. Она нашла, что, такъ называемая, смоляная урановая руда изъ Іоахимсталя въ Богеміи обладаетъ очень сильной лучеиспускательной способностью, которая въ четыре раза больше, чѣмъ у металлическаго урана. Изъ этого она совершенно правильно заключила, что такое дѣйствіе руды происходитъ не отъ урана, а что въ этой рудѣ должно заключаться другое вещество, сильнѣе испускающее лучи, или, другими словами, вещество болѣе радіоактивное. Путемъ различныхъ химическихъ реакцій она попыталась отдѣлить это вещество отъ руды. Послѣ долгой кропотливой работы, при которой присутствіе и сила радіоактивности опредѣлялась помощью электроскопа, ей удалось, наконецъ, выдѣлить изъ руды два вещества, которыя во много сотенъ тысячъ разъ оказались активнѣе руды и самого урана. Въ іоахимстальской урановой рудѣ, кромѣ урана, находится цѣлый рядъ другихъ металловъ, правда въ незначительныхъ количествахъ. Оба столь активныя тѣла не удалось сначала получить совершенно чистыми они всегда оставались въ соединеніи съ двумя другими находящимися въ этой рудѣ металлами, а именно съ висмутомъ и баріемъ. Такимъ образомъ получились радіоактивный висмутъ и радіоактивный барій. Такъ какъ свойства радіоактивныхъ висмута и барія оказались совершенно различными (активность перваго пропадала спустя нѣкоторое время, у второго же она была постоянной), то г-жа Кюри назвала активное вещество, сопутствующее висмуту, полоніемъ, а другое, соединенное съ баріемъ,—радіемъ. Дальнѣйшія изслѣдованія показали во-первыхъ, что полоній не является такимъ же самостоятельнымъ активнымъ веществомъ, какъ радій, но, что онъ, напротивъ того, возникаетъ изъ радія, и во-вторыхъ,—что изъ руды несомнѣнно можно выдѣлить еще одно радіоактивное вещество—актиній, которое въ химическомъ отношеніи проявляетъ тѣ же свойства, что и торій. Впрочемъ, радіоактивный барій выдѣляется изъ урановой руды не въ металлическомъ состояніи, а въ видѣ активныхъ солей металла: хлористаго барія, бромистаго барія или углекислаго барія.

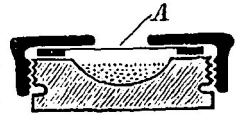
Дальнѣйшими работами удалось, однако, совсѣмъ—или почти совсѣмъ—отдѣлить радій отъ барія. Оказалось, что хлористая, а въ особенности, бромистая соль радія менѣе растворимы, чѣмъ соотвѣтственныя соли барія. При помощи многократныхъ растворенія и выкристаллизовываній радіоактивныхъ хлористыхъ и бромистыхъ солей барія удалось, наконецъ, раздѣлить эти вещества на двѣ части, изъ которыхъ одна часть содержала неактивныя соли барія, а другая—

новое вещество: хлористый или бромистый радій въ очень чистомъ видѣ. Первоначально въ этомъ убѣдились при помощи спектральнаго анализа. Когда очистка активнаго барія была произведена болѣе тщательно, линіи барія совершенно исчезли изъ спектра; получился новый до тѣхъ поръ неизвѣстный спектръ, особенно замѣчательный своими фіолетовыми линіями, который именно и является спектромъ радія. Въ то время какъ пламя окрашивается хлористымъ баріемъ въ зеленый цвѣтъ, хлористый радій окрашиваетъ его въ красный цвѣтъ. Г-жѣ Кюри удалось также опредѣлить атомный вѣсъ радія, который оказался равнымъ 225; при этомъ обнаружилось, что радій, торій и уранъ обладаютъ атомами, имѣющими наибольшій атомный вѣсъ, а именно: радій 225, торій 232, уранъ 240. Въ самое послѣднее время г-жѣ Кюри удалось получить радій въ видѣ металла, т. е. выдѣлить радій изъ его соединеній съ хлоромъ и бромомъ.

Полученіе чистой соли радія требуетъ чрезвычайно большого труда. Изъ нѣсколькихъ тысячъ килограммовъ урановой руды получается лишь нѣсколько дециграммовъ соли радія. Поэтому и цѣна радія громадна: миллиграмъ его стоитъ въ настоящее время болѣе 400 германскихъ марокъ [1]), тогда какъ миллиграммъ золота стоитъ меньше 0,3 пфеннига [2]). Все имѣющееся нынѣ въ свѣтѣ количество чистаго радія не превышаетъ 20 граммовъ. Австрійское правительство совершенно воспретило вывозъ изъ Іоахимсталя въ Богеміи урановой руды, изъ которой добывается радій; руда эта перерабатывается лишь въ самой Австріи за счетъ казны. Кромѣ Богеміи мѣсторожденія урановой руды находятся въ Саксоніи (Іоганнгеоргенштадтъ и др.), въ Корнваллисѣ въ Англіи, въ Колорадо и въ Южной Дакотѣ въ Америкѣ.

Изъ всѣхъ различныхъ радіоактивныхъ веществъ (урана, радія, актинія, торія) радій, вслѣдствіе той чистоты, въ какой онъ можетъ быть полученъ, обнаруживаетъ способность давать наиболѣе сильно дѣйствующіе беккерелевы лучи, такъ что для научныхъ и практическихъ цѣлей преимущественно пользуются радіемъ. (Въ послѣднее время въ продажѣ появился мезоторій, получающійся изъ отбросовъ монацита, остающихся при добываніи торія; это радіоактивное вещество почти одинаковой съ радіемъ силы, но все же скорѣе теряющее свою способность лучеиспусканія). Соли радія обыкновенно сохраняютъ въ капсюлѣ, конструкція которой изображена на черт. 326. Капсюль дѣлается изъ латуни или эбонита и имѣетъ углубленіе, въ которое и помѣщается соль радія. Соль прикрыта слюдяной или тонкой алюми-

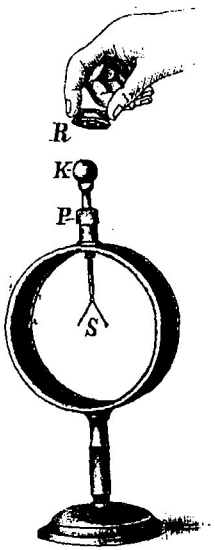
Черт. 326.



[1]) Около 200 рублей.
[2]) 0,15 копѣекъ.

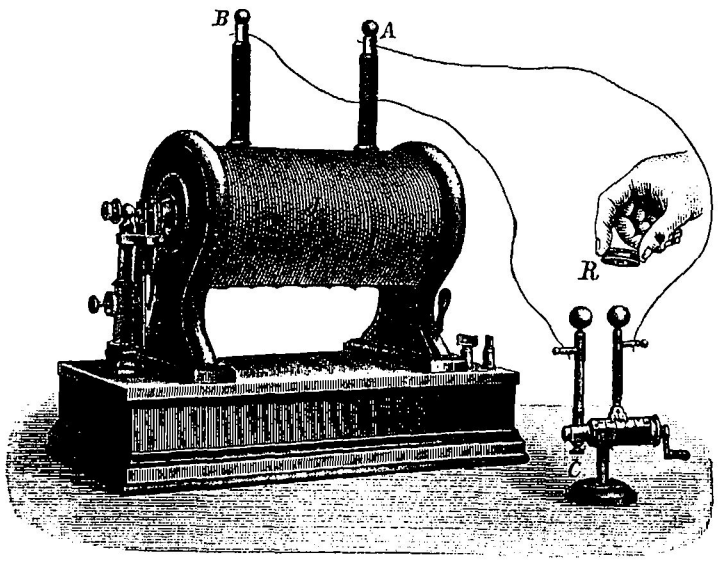
ніевой пластинкой. На капсюль навинчивается латунная крышечка, по серединѣ которой имѣется отверстіе, такъ что лучи могутъ черезъ слюдяную или алюминіевую пластинку A проходить наружу. Лучи Беккереля дѣлаютъ воздухъ, черезъ который они проходятъ, проводящимъ электричество, т. е. они ионизируютъ его; это ихъ свойство является наиболѣе важнымъ. Хотя радій и дѣйствуетъ въ этомъ отношеніи не такъ сильно, какъ рентгеновскіе лучи, но все же гораздо значительнѣе, чѣмъ, напримѣръ, соли урана. Если электроскопъ (черт. 327) зарядить, прикоснувшись къ шарику K заряженной стеклянной или эбонитовой палочкой, то золотые листочки S разойдутся; если поднести въ рукѣ одну десятую долю миллиграмма радія, находящагося въ вышеописанной капсюлѣ, то золотые листочки сойдутся другъ съ другомъ, такъ какъ воздухъ, ставшій проводникомъ, отведетъ зарядъ электроскопа въ землю.

Черт. 327.



Ионизацію воздуха можно обнаружить еще и на другомъ опытѣ (черт. 328). Соединимъ искромѣръ C съ индукціонной катушкой I. Шарики искромѣра отдалимъ другъ отъ друга настолько, чтобы разстояніе между ними равнялось длинѣ искры, производимой индукціонной катушкой. При дальнѣйшемъ увеличеніи разстоянія между шариками прибора C искры, какъ извѣстно, проскакивать уже не будутъ. Если

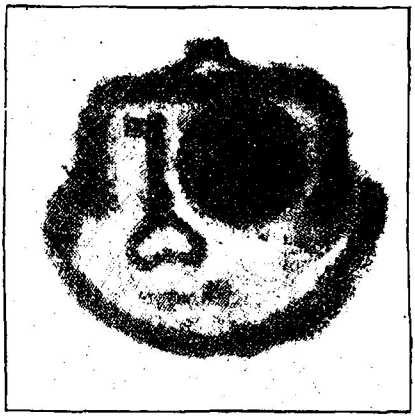
Черт. 328.



же къ C поднести капсюль R, содержащую радій, то искры тотчасъ снова начнутъ проскакивать, вслѣдствіе того, что воздухъ вблизи C сталъ проводящимъ и для преодолѣнія его сопротивленія теперь требуется уже гораздо меньшее напряженіе; вслѣдствіе этого искры снова могутъ проскакивать между шариками, даже при большомъ между ними разстояніи.

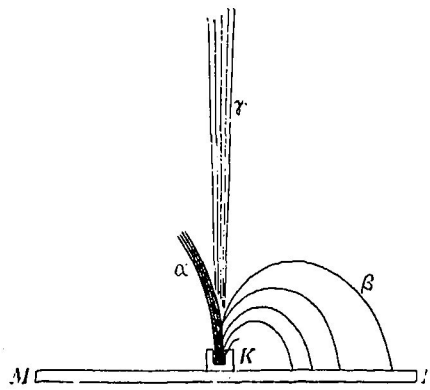
Соли радія дѣйствуютъ на фотографическія пластинки не только непосредственно, но также и черезъ бумагу, дерево и тонкіе слои металловъ. Однако разница въ способности этихъ лучей проникать сквозь различныя тѣла далеко не такъ значительна, какъ у рентгеновскихъ лучей. Напримѣръ, мясо и кости пропускаютъ лучи Беккереля почти совершенно одинаково, такъ что при помощи этихъ лучей невозможно получить фотографію костей руки. На черт. 329 изображенъ сдѣланный г-жей Кюри снимокъ портмоне, въ которомъ находятся монета и ключъ. Какъ видно по этому снимку, отчетливость изображенія здѣсь совершенно несравнима съ той, какою отличаются изображенія, полученныя при помощи рентгеновскихъ лучей.

Черт. 329.



Соли радія заставляютъ также свѣтиться и флюоресцирующіе экраны, однако опять-таки слабѣе, чѣмъ это достигается при помощи рентгеновскихъ лучей. Все-таки, поднеся близко къ радію (свободному, а не закрытому) такое фосфоресцирующее тѣло, какъ виллемитъ, въ немъ можно будетъ вызвать столь сильное свѣченіе, что оно будетъ замѣтно даже въ свѣтлой комнатѣ.

Черт. 330.



Подробное изученіе съ физической точки зрѣнія лучей, испускаемыхъ радіемъ и торіемъ, показало, что составъ ихъ чрезвычайно сложенъ. Радій испускаетъ три сорта лучей, которые называются α, β и γ-лучами. Различіе между этими сортами лучей выступаетъ особенно ясно, если къ сосуду, въ которомъ находится радій, поднести магнитъ.

Пусть K (черт. 330) изображаетъ собой сосудъ, содержащій небольшое количество соли радія; представимъ себѣ, что вплотную къ сосуду придвинутъ одинъ полюсъ сильнаго магнита. Тогда произойдетъ, какъ показываетъ чертежъ, слѣдующее: одна часть лучей, несмотря на присутствіе магнита, распространяется прямолинейно. Эти лучи не отклоняются магнитомъ; ихъ называютъ γ-лучами (гамма-лучами). Остальные лучи отклоняются, при чемъ часть этихъ отклоняющихся лучей сильно отклоняется направо, при данномъ положеніи полюса магнита, тогда какъ другая часть отклоняется въ противоположную сторону, налѣво, и притомъ чрезвычайно слабо; первые изъ отклоняющихся лучей называются β-лучами (бета-лучами), а вторые α-лучами (альфа-лучами). Эти три сорта лучей имѣютъ совершенно тѣ же свойства, что и три рода лучей, образующихся въ круксовыхъ трубкахъ, о которыхъ говорилось выше. Дѣйствительно, β-лучи несутъ съ собой отрицательные заряды и соотвѣтствуютъ катоднымъ лучамъ, α-лучи заряжены положительно и аналогичны закатоднымъ лучамъ, а γ-лучи не отклоняются вовсе и обнаруживаютъ тѣ же свойства, что и рентгеновскіе лучи.

Какъ сказано выше, β-лучи несутъ съ собой отрицательные заряды. Подобно катоднымъ лучамъ они заряжаютъ отрицательно тѣла, на которыя падаютъ, проходятъ сквозь тонкіе слои различныхъ тѣлъ, напр. сквозь тонкую бумагу, стекло и даже сквозь тонкіе слои металловъ и отклоняются магнитами и электростатически заряженными тѣлами въ томъ же направленіи, какъ и катодные лучи; короче говоря, они состоятъ, подобно катоднымъ лучамъ, изъ отрицательныхъ электроновъ. По магнитному и электростатическому отклоненіямъ, испытываемымъ ими, удалось опредѣлить скорость этихъ лучей и ихъ удѣльный зарядъ; оказалось, что удѣльный зарядъ приблизительно тотъ же, что и у отрицательныхъ электроновъ въ круксовыхъ трубкахъ, а скорость почти въ три раза больше скорости катодныхъ лучей, такъ что почти достигаетъ скорости свѣта. Итакъ, β-лучи состоятъ изъ движущихся съ чрезвычайно большой скоростью отрицательныхъ электроновъ.

Второй родъ отклоняющихся лучей—α-лучи—заряжены положительно и вполнѣ соотвѣтствуютъ закатоднымъ лучамъ. Ихъ можно легко отдѣлить отъ β-лучей, отклонивъ послѣдніе въ сторону при помощи магнита. α-лучи также испытываютъ отклоняющее дѣйствіе магнита, однако въ очень слабой степени, такъ что ихъ отклоненіе можно наблюдать лишь въ очень сильныхъ магнитныхъ поляхъ; кромѣ того, отклоненіе ихъ происходитъ въ сторону противоположную, по сравненію съ β-лучами. Это обстоятельство доказываетъ, что α-лучи состоятъ изъ частицъ заряженныхъ и притомъ заряженныхъ положительно. Это доказывается также и тѣмъ фактомъ, что въ элек-

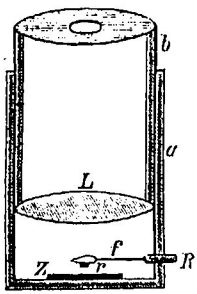
тростатическомъ полѣ, образованномъ заряженными пластинками конденсатора, эти лучи отклоняются, будучи притягиваемы именно той пластинкой, которая заряжена отрицательно. Изъ величины отклоненій α-лучей въ магнитномъ и электростатическомъ поляхъ удалось опредѣлить скорость α-лучей и ихъ удѣльный зарядъ, подобно тому, какъ это было сдѣлано для катодныхъ и закатодныхъ лучей (см. выше стр. 351 и слѣд.). Скорость ихъ оказалась въ 50—100 разъ больше скорости закатодныхъ лучей. Изъ этой большей скорости можно заключить, что α-лучи слабѣе, чѣмъ закатодные лучи, поглощаются посторонними тѣлами; все же они поглощаются значительно больше, чѣмъ β-лучи. Они совершенно поглощаются тонкой бумагой и слоемъ алюминія въ 0,02 мм.; воздухъ и другіе газы также поглощаютъ ихъ довольно сильно. Пройдя въ воздухѣ всего лишь нѣсколько сантиметровъ, они вдругъ теряютъ свои какъ іонизирующія, такъ и фотографическія свойства. Разстояніе, на которое α-лучи могутъ распространиться въ воздухѣ, пока эти ихъ свойства внезапно не исчезнутъ, называется свойственной имъ дальностью полета. Въ зависимости отъ скорости, съ которой выбрасываются α-частички изъ радіоактивныхъ веществъ, дальность ихъ полета имѣетъ величину отъ 3 до 7 см. Изъ измѣреній магнитнаго и электростатическаго отклоненій удалось опредѣлить не только скорость α-частицъ, но и ихъ удѣльный зарядъ, т. е. отношеніе ихъ заряда къ массѣ. А именно Рузерфордъ нашелъ, что величина этого отношенія равна 50700 (кулоновъ на одинъ граммъ). Если мы обратимъ вниманіе на то, что въ электролизѣ удѣльный зарядъ іона водорода равенъ 96540 кулонамъ на одинъ граммъ, то можемъ изъ этого заключить, что положительные заряды въ α-частичкахъ не свободны,—т. е. что частички эти не представляютъ собой положительныхъ электроновъ, а связаны съ массами, имѣющими величину обыкновенныхъ атомовъ. Тогда возникаетъ, однако, слѣдующій важный вопросъ: что представляютъ собой массы, кажущіяся въ данномъ случаѣ положительно заряженными, изъ какого вещества состоятъ α-частички?

На этотъ важный и повидимому крайне трудный для разрѣшенія вопросъ дало отвѣтъ, и притомъ совершенно неожиданный, подробное изслѣдованіе одного очень красиваго явленія, производимаго α-лучами и наблюдавшагося впервые Круксомъ. Сѣрнистый цинкъ представляетъ собою фосфоресцирующее тѣло, въ которомъ фосфоресценція возникаетъ подъ дѣйствіемъ какъ обыкновеннаго свѣта, такъ и лучей радія. Отклоняя магнитомъ β-лучи въ сторону, удалось доказать, что свѣченіе сѣрнистаго цинка вызывается исключительно α-лучами. Если подвергнуть дѣйствію радія картонъ, покрытый слоемъ сѣрнистаго цинка, и разсматривать въ темнотѣ получающуюся фосфоресценцію при помощи лупы, то можно замѣтить, что свѣченіе это не сплошное,

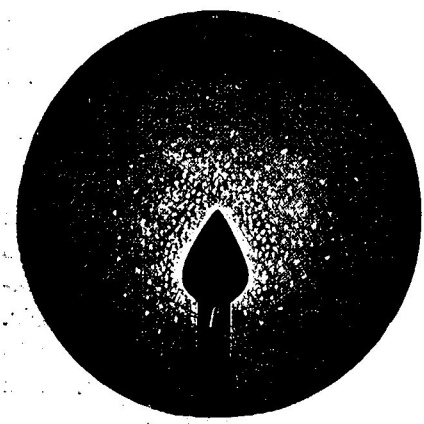
а мерцающее. Части картона свѣтятся попеременно то тутъ, то тамъ, и все явленіе очень похоже на отраженіе луны въ проточной водѣ.

Это явленіе можно хорошо наблюдать на небольшомъ приборѣ, называемомъ спинтероскопомъ (σπινθήρ—искра); разрѣзъ его изображенъ на черт. 331. На днѣ латуннаго сосуда a находится бумага Z, пропитанная сѣрнистымъ цинкомъ. Надъ ней въ разстояніи 1 мм. расположена стрѣлка f, на которой укрѣпляется незначительный кусочекъ радія r. Стрѣлку можно передвигать колесикомъ R, выступающимъ наружу прибора. Лупа L подвижная, и потому ее можно установить точно на экранъ. Если мы будемъ смотрѣть чрезъ отверстіе въ верхней части прибора, то увидимъ явленіе, изображенное на черт. 332. Чертежъ не можетъ, конечно, вполнѣ передать это красивое явленіе, такъ какъ оно особенно красиво благодаря происходящимъ при этомъ быстрымъ перемѣнамъ свѣта — такъ называемому мерцанію. Явленіе это производитъ такое впечатлѣніе, будто каждая α-частица, выбрасываемая радіемъ, вызываетъ свѣтовую вспышку при своемъ паденіи на сѣрнистый цинкъ. Пользуясь нѣкоторыми правилами, можно непосредственно сосчитать, сколько происходитъ такихъ вспышекъ въ каждую секунду подъ дѣйствіемъ опредѣленнаго препарата, т. е. сколько α-частицъ выбрасываетъ этотъ препаратъ въ каждую секунду. Если одновременно съ этимъ измѣрить величину положительнаго заряда, переносимаго въ каждую секунду α-частичками, то мы приходимъ къ любопытному выводу, что непосредственно можно измѣрить величину заряда каждой отдѣльной α-частички. Эти измѣренія привели къ удивительному выводу, а именно, оказалось, что каждая α-частичка обладаетъ вдвое большимъ (но, конечно, положительнымъ) зарядомъ, чѣмъ отрицательный электронъ. Такимъ образомъ, каждая α-частичка несетъ съ собой два элементарныхъ заряда (см. выше стр. 160), такъ что можно сказать, что каждая α-частичка состоитъ изъ двухъ положительныхъ электроновъ. (Это выраженіе справедливо и въ томъ случаѣ, если не существуетъ на самомъ дѣлѣ положительныхъ электроновъ, а тѣла кажутся лишь заряженными по-

Черт. 331.



Черт. 332.



ложительно, вслѣдствіе потери одного или нѣсколькихъ отрицательныхъ электроновъ).

На основаніи только-что установленнаго, можно тотчасъ же отвѣтить на поставленный выше вопросъ о томъ, изъ какого вещества состоятъ α-частички. Если бы зарядъ былъ одинаковъ, то массы α-частички и атома водорода относились бы, какъ 96540 : 50700. Однако, какъ выше было сказано, α-частичка имѣетъ двойной зарядъ, а слѣдовательно, эти массы относятся, какъ 96540 : 25350 или приблизительно, какъ 4 : 1. Слѣдовательно, масса α-частички въ 4 раза больше массы атома водорода, или иначе: атомный вѣсъ α-частички равенъ 4. Изъ химіи мы знаемъ, что атомнымъ вѣсомъ 4 обладаетъ гелій — газообразное вещество, вообще интересное по своимъ свойствамъ. Итакъ, мы должны допустить, что α-частичками являются атомы гелія, соединенные съ двумя положительными электронами.

Этимъ въ высшей степени интереснымъ и важнымъ объясненіемъ наука обязана англійскому изслѣдователю Рузерфорду, который вообще больше другихъ содѣйствовалъ выясненію нашихъ представленій о сложномъ процессѣ радіоактивности.

Главную часть всѣхъ лучей, исходящихъ изъ радіоактивныхъ веществъ, составляютъ α-лучи.

Наконецъ, третій родъ лучей, испускаемыхъ солями радія, γ-лучи имѣютъ свойства, совершенно сходныя со свойствами рентгеновскихъ лучей. Они, какъ и эти послѣдніе, не отклоняются магнитомъ, проходятъ черезъ толстые слои тѣлъ, даже сквозь металлическія пластинки въ нѣсколько сантиметровъ толщины, и слѣдовательно изъ всѣхъ трехъ сортовъ лучей радіоактивныхъ веществъ надѣлены наибольшей проницательностью; они обладаютъ, такимъ образомъ, всѣми свойствами твердыхъ рентгеновскихъ лучей. Подобно рентгеновскимъ лучамъ, γ-лучи, повидимому, представляютъ собой не потокъ электроновъ, но лучи въ эфирѣ. Согласно приведенной выше (стр. 370) теоріи Стокса, γ-лучи возникаютъ всегда въ томъ случаѣ, когда электроны или іоны налетаютъ на препятствіе своему движенію, т. е. когда они претерпѣваютъ быстрое уменьшеніе скорости движенія; это суть сотрясенія въ эфирѣ, производимыя тормаженіемъ электроновъ, и быстро распространяющіяся по эфирной средѣ.

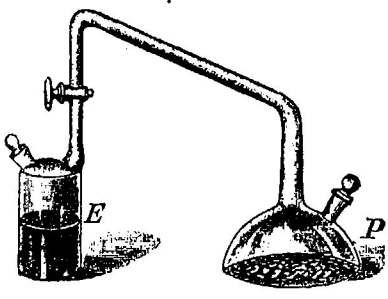
Радіоактивныя тѣла, какъ радій, торій и актиній, кромѣ испусканія лучей, обнаруживаютъ еще другое въ высшей степени поражающее свойство, которое было замѣчено вскорѣ послѣ открытія радіоактивныхъ веществъ, но понято было лишь гораздо позже. Оказалось, что всѣ тѣла, пробывшія нѣкоторое время вблизи радіоактивныхъ тѣлъ, сами становятся на нѣкоторое время радіоактивными. Такую радіоактивность называютъ наведенной радіоактивностью. Но если радій заключенъ въ какой-нибудь сосудъ, то онъ не можетъ сдѣлать

радіоактивными сосѣдніе предметы, находящіеся внѣ этого сосуда. Наведенная радіоактивность тѣлъ съ теченіемъ времени совершенно исчезаетъ. Пока она существуетъ на тѣлѣ, она проявляется тѣмъ, что такія тѣла іонизируютъ воздухъ и дѣйствуютъ на фотографическую пластинку.

Тайна этой наведенной радіоактивности разъяснилась лишь послѣ дальнѣйшихъ наблюденій, произведенныхъ Рузерфордомъ. Этотъ ученый нашелъ, что радій, торій и актиній постоянно выдѣляютъ изъ себя нѣчто, называемое эманаціей (уранъ и полоній этимъ свойствомъ не обладаютъ). Радій въ сухомъ видѣ обладаетъ этимъ свойствомъ въ незначительной степени; если же соль радія растворить въ водѣ, то вблизи этого раствора замѣчаются электрическія дѣйствія, отличающіяся тою особенностью, что на нихъ оказываетъ вліяніе всякое движеніе воздуха, тогда какъ описанные выше три рода лучей исходятъ изъ радія совершенно независимо отъ потоковъ воздуха. То, что производитъ эти дѣйствія, собственно и называютъ эманаціей.

Эманація оказывается очень подвижнымъ газомъ, образующимся изъ радія; электрическія дѣйствія этого газа имѣютъ такой характеръ, какъ-будто бы газъ заряженъ положительно, т. е. состоитъ изъ α-частицъ. Эманація оказываетъ іонизирующее дѣйствіе на воздухъ, къ которому она примѣшана, и обладаетъ способностью вызывать фосфоресценцію въ тѣлахъ, съ которыми находится въ соприкосновеніи. Въ темнотѣ стеклянные сосуды, внутри которыхъ находится эманація, свѣтятся. Для того, чтобы заставить подъ вліяніемъ эманаціи свѣтиться другія вещества, напр. различные минералы, можно воспользоваться приборомъ, изображенномъ на черт. 333. На этомъ чертежѣ E представляетъ собою стеклянный сосудъ, наполненный водой, въ которой растворено небольшое количество соли радія. Надъ водой находится эманація, проникающая по трубкѣ въ сосудъ P; на днѣ этого сосуда находятся минералы, способность которыхъ фосфоресцировать подъ дѣйствіемъ эманаціи мы хотимъ изслѣдовать. Эманація не распространяется, подобно лучамъ, прямолинейно, но, такъ же какъ и газъ, заполняетъ особой все пространство. Однако все же совершенно невозможно обнаружить выдѣленіе газа изъ радія: онъ ничего не теряетъ въ своемъ вѣсѣ. Вѣсъ радія, насколько это возможно установить самыми точными взвѣшиваніями, остается постояннымъ въ теченіе многихъ лѣтъ. Если впустить эманацію въ сосудъ, изъ котораго

Черт. 333.



выкачанъ воздухъ, то нельзя обнаружить при помощи самыхъ лучшихъ манометровъ ни малѣйшаго повышенія давленія. Въ то же время эманація должна быть подобной матеріальному газу, такъ какъ она обладаетъ всѣми его свойствами. Если наполнить эманаціей какой-нибудь сосудъ, соединенный при помощи крана съ другимъ сосудомъ, то эманація, такъ же какъ и всякій газъ, распредѣлится въ нихъ въ томъ же отношеніи, въ какомъ находятся между собой ихъ емкости. Эманація распространяется по узкимъ трубкамъ очень медленно; она диффундируетъ чрезъ нихъ подобно газамъ, что можно обнаружить по ея свѣченію. Ее можно даже заморозить. Если эманацію помѣстить въ стеклянной трубкѣ и охладить жидкимъ воздухомъ до—190° Цельсія, то дѣйствія, свойственныя эманаціи, совершенно прекращаются; она кажется исчезнувшей. Если же трубку подогрѣть, то дѣйствія эманаціи снова появляются; происходитъ совершенно такъ, какъ если бы эманація замерзла, а затѣмъ снова оттаяла. Точныя измѣренія показали, что эманація замерзаетъ уже при температурѣ въ—150° Цельсія.

Черт. 334.



Конденсированіе эманаціи при охлажденіи и испареніе ея при подогрѣваніи можно сдѣлать наглядымъ и видимымъ даже для большой аудиторіи на изящномъ опытѣ, произведенномъ Содди. Для этой цѣли служитъ приборъ, изображенный на черт. 334. Нѣсколько миллиграммовъ бромистаго радія растворяютъ въ водѣ, налитой въ сосудъ A. Надъ жидкостью тотчасъ образуется эманація, которую отводятъ, продувая очень медленно черезъ длинную и узкую трубку CD, въ нѣсколькихъ мѣстахъ которой $\alpha\ \alpha$ положены небольшіе осколки брилліанта. Въ темнотѣ наблюдаютъ свѣченіе брилліантовъ и по этому судятъ о томъ, когда эманація достигаетъ ихъ. Затѣмъ изъ D эманація проникаетъ въ стеклянную спиральную трубку, помѣщенную въ стеклянный же сосудъ G, съ двойными стѣнками. Стеклянный змѣевикъ оканчивается длинной стеклянной трубкой F, внутри которой

укрѣпленъ длинный кусокъ слюды, покрытой слоемъ сѣрнистаго цинка. Когда эманація достигаетъ слюды, то эта послѣдняя подъ дѣйствіемъ ея начинаетъ свѣтиться. Если въ сосудъ G (такъ называемый сосудъ Дьюара) налить жидкій воздухъ (температура котораго —190°), то эманація конденсируется въ змѣевикѣ; несмотря на движеніе воздуха, она не достигаетъ сосуда G и сѣрнистый цинкъ остается темнымъ. Если теперь сосудъ G убрать, то змѣевикъ начнетъ нагрѣваться, эманація растаетъ, и потокъ воздуха увлечетъ ее съ собой въ F. Поднимаясь наверхъ по этой трубкѣ, она вызываетъ на нѣкоторой части экрана, покрытаго сѣрнистымъ цинкомъ, сильную флюоресценцію.

Если оставить эманацію въ сосудѣ въ теченіе долгаго времени, то свѣченіе постепенно совершенно прекращается.

Эта то эманація и является причиной наведенной радіоактивности. Дѣйствительно, если изъ радія выдѣляется газъ, хотя бы даже въ незначительныхъ количествахъ, то онъ можетъ осѣсть на другія тѣла и сдѣлать ихъ активными. Однако, хотя эманація и является причиной наведенной радіоактивности, но все же, какъ мы увидимъ далѣе, она не тождественна съ послѣдней.

Кусочекъ радія постоянно выдѣляетъ изъ себя энергію въ видѣ трехъ различныхъ сортовъ лучей Беккереля и эманацію. Количество этой энергіи, приходящееся на α, β и γ-лучи, очень незначительно. Однако, одно крайне важное наблюденіе показываетъ, что при радіоактивныхъ явленіяхъ дѣло идетъ о гораздо большихъ количествахъ энергіи, чѣмъ это можно было предполагать. Дѣло въ томъ, что радій непрерывно испускаетъ изъ себя теплоту. Кюри открыла интересный фактъ, который съ разныхъ сторонъ былъ подтвержденъ и изслѣдованъ количественно, что кусочекъ радія всегда имѣетъ температуру, которая приблизительно на 1°—2° выше температуры окружающаго пространства. Если радій внести въ пространство, имѣющее температуру въ 20°, то его температура будетъ равна 21°, въ пространствѣ же съ температурою въ 40° онъ имѣетъ 41°. Вслѣдствіе болѣе высокой температуры, радій долженъ излученіемъ или проводимостью постоянно выдѣлять нѣкоторое количество теплоты; точныя измѣренія показали, что 1 граммъ радія выдѣляетъ изъ себя въ теченіе одного часа 118 калорій. Изъ этого слѣдуетъ, что граммъ радія долженъ въ теченіе часа получить извнѣ, исключительно лишь для покрытія такого расхода выдѣляемой имъ теплоты, количество энергіи, эквивалентное 118 калоріямъ, или же это количество энергіи должно освободиться въ немъ самомъ вслѣдствіе какихъ-нибудь внутреннихъ реакцій.

То обстоятельство, что каждый кусочекъ радія непрерывно выбрасываетъ изъ себя отрицательные электроны и положительные іоны, привело къ гипотезѣ, значительно расширяющей наши воззрѣнія на

будущее физики и химіи. Разъ изъ тѣла постоянно выбрасываются электроны, то это по необходимости заставляетъ допустить, что электроны существуютъ уже внутри тѣла, и что сами атомы тѣла состоятъ изъ электроновъ, различнымъ образомъ расположенныхъ. По этой гипотезѣ атомы являются сложными тѣлами; только лишь отъ примѣняемыхъ способовъ будетъ зависѣть, удастся ли намъ атомъ, кажущійся недѣлимымъ, раздѣлить на составныя части.

Идея эта не новая, но она получаетъ большую опредѣленность послѣ допущенія, что электроны суть составныя части атомовъ.

На этомъ основаніи, радіоактивныя вещества можно разсматривать, какъ такія, атомы которыхъ находятся въ неустойчивомъ состояніи, и которыя вслѣдствіе этого переживаютъ длительный процессъ распада. По крайней мѣрѣ то обстоятельство, что β-лучи состоятъ изъ отрицательныхъ электроновъ, проще всего объясняется именно тѣмъ, что эти электроны имѣются уже въ атомѣ радія, изъ котораго и вылетаютъ. α-лучи состоятъ изъ болѣе массивныхъ частей атомовъ, іоновъ, имѣющихъ двойной положительный зарядъ и являющихся, какъ мы видѣли, атомами гелія; эти атомы, слѣдовательно, также должны находиться въ атомахъ радія, или, по крайней мѣрѣ, образовываться изъ него. Отмѣтимъ здѣсь то обстоятельство, что самые большіе и тяжелые атомы (урана, радія, торія) оказываются тѣлами неустойчивыми; аналогично этому, по Канто-Лапласовской теоріи солнечной системы, отъ самыхъ большихъ небесныхъ тѣлъ легче всего отдѣляются части (луны, кольца); они не могутъ сохранять своей цѣлости.

Это конечно, только гипотеза, которая позволяетъ, однако, составить себѣ нѣкоторое представленіе о взаимоотношеніяхъ между замѣчательными свойствами радія; безъ нея нельзя было бы уяснить себѣ всѣхъ запутанныхъ явленій радіоактивности.

Постепенно гипотеза эта нашла себѣ такъ много подтвержденій, иногда чрезвычайно поразительныхъ, что на нее теперь можно уже смотрѣть не какъ на гипотезу, а какъ на дѣйствительное объясненіе явленій, какъ на ихъ теорію. Она извѣстна подъ именемъ теоріи распада атомовъ. Впервые теорія эта была предложена Рузерфордомъ и Содди и впослѣдствіи была подтверждена цѣлымъ рядомъ замѣчательныхъ опытовъ.

Пользуясь этой теоріей, можно легко себѣ представить картину явленій, открытыхъ при изученіи радіоактивныхъ веществъ. Если эманацію радія впустить въ сосудъ, наполненный воздухомъ, и закрыть этотъ сосудъ, предоставивъ такимъ образомъ эманацію самой себѣ, то дѣйствія, производимыя эманаціей (заключающіяся въ томъ, что воздухъ подъ вліяніемъ ея становится проводникомъ), не остаются по своей силѣ на неизмѣнной высотѣ, а постепенно ослабѣваютъ и притомъ такъ, что они уменьшаются въ опредѣленное время на одну и ту

же часть первоначальной величины. Въ 4 дня (точнѣе въ 3,71 дня) дѣйствія эманаціи уменьшаются на половину первоначальной величины; въ слѣдующіе 4 дня они уменьшаются до одной четверти и т. д. Рузерфордъ, напримѣръ, впустилъ въ сосудъ, который можно было разсматривать, какъ конденсаторъ, нѣкоторое количество воздуха, смѣшаннаго съ эманаціей радія. Сосудъ этотъ состоялъ изъ полаго цилиндра съ металлическими стѣнками, въ серединѣ котораго была протянута изолированная проволока. Стѣнки цилиндра являлись одной изъ обкладокъ конденсатора, а проволока—другой; токъ насыщенія, проходившій черезъ воздухъ, постоянно измѣрялся. Если обозначить силу тока въ началѣ числомъ 100, то измѣненія его въ теченіе 787 часовъ выразятся слѣдующими цифрами:

Время въ часахъ.	Сила тока.
0	100
20,8	85,7
187,6	24,0
354,9	6,9
521,9	1,5
786,9	0,19

Отсюда непосредственно видно, что спустя 187,6 часовъ, что приблизительно равно $3{,}71 \times 2$ дня, дѣйствіе эманаціи упало до $^1/_4$ первоначальной величины, а спустя 354,9 часа, которые составляютъ $3{,}71 \times 4$ дня, до $^1/_{16}$. Законъ уменьшенія дѣйствій эманаціи и число 3,71 всегда имѣютъ мѣсто при эманаціи радія, совершенно независимо отъ того, находится ли эманація въ воздухѣ или въ какомъ-нибудь другомъ газѣ, великъ или малъ сосудъ, много или мало эманаціи имѣлось первоначально. Дѣйствіе эманаціи торія спадаетъ до половины своей первоначальной величины уже въ 60 секундъ, а эманаціи актинія—даже въ 3,9 секунды. Эти числа, называемыя радіоактивными постоянными, настолько характерны, что, когда мы имѣемъ дѣло съ неизвѣстной намъ эманаціей, мы можемъ, измѣряя время, въ теченіе котораго дѣйствія ея спадутъ на половину, т. е. при помощи радіоактивныхъ постоянныхъ, съ точностью рѣшить вопросъ, имѣемъ ли мы дѣло съ эманаціей радія, торія, актинія или какой-нибудь еще иной эманаціей.

По нашему представленію о распадѣ атомовъ, атомъ радія распадается на свои составныя части, изъ которыхъ одна представляетъ собой эманацію, а другая—α-частицы. Эманація, однако, не остается неизмѣнной, она въ свою очередь распадается и притомъ такъ, что приблизительно въ 4 дня половина ея превращается въ другое вещество.

Благодаря распаду эманаціи, образуется то вещество, которое сообщаетъ тѣламъ, находящимся вблизи радія, наведенную актив-

ность. Наведенная активность образуется только въ присутствіи эманаціи радія и, слѣдовательно, возникаетъ подъ ея вліяніемъ. Однако, это не сама эманація осаждается на стѣнки сосудовъ и находящихся внутри нихъ тѣлъ. Дѣйствительно, если бы это была эманація, то дѣйствія наведенной активности такъ же, какъ и эманаціи, должны были бы уменьшаться въ своей силѣ на половину въ теченіе 3,71 дней. Этого, однако, не происходитъ; они ослабѣваютъ гораздо скорѣе, а именно, ихъ ослабленіе на половину первоначальной силы происходитъ въ круглыхъ числахъ въ 29 минутъ. Естественно предположить, что эманація радія также не обладаетъ устойчивыми атомами, и что они превращаются въ новое вещество, осаждающееся на твердыхъ тѣлахъ и вызывающее въ нихъ наведенную радіоактивность. Эманація торія, какъ сказано выше, распадается значительно скорѣе (въ 60 секундъ); однако, ея наведенная активность имѣетъ жизнь гораздо болѣе продолжительную, чѣмъ наведенная активность радія; а именно, ей требуется $11^1/_2$ часовъ для того, чтобы сила ея дѣйствія уменьшилась на половину. При образованіи изъ эманаціи наведенной активности возникаютъ α, β и γ-лучи, при образованіи же эманаціи изъ радія—одни лишь α-лучи.

Итакъ, оказывается, что изъ радія, вслѣдствіе послѣдовательнаго распада атомовъ, образуются новыя вещества—сначала эманація, а затѣмъ и наведенная радіоактивность.

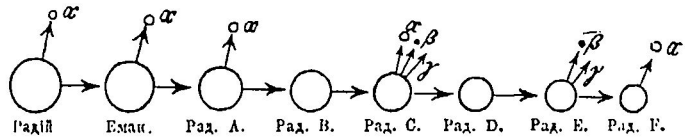
Если имѣется нѣкоторое количество соли радія, то вмѣстѣ съ тѣмъ въ самомъ радіѣ находятся также и продукты его распада—эманація и наведенная активность. При распадѣ непрерывно испускаются лучи и преимущественно α - лучи. Выброшенныя α - частички отчасти вылетаютъ изъ радія въ воздухъ, отчасти же, тѣ, которыя выбрасываются атомами, находящимися внутри препарата, сталкиваются съ другими чистицами радія и теряютъ свое движеніе, сообщая свою энергію молекуламъ. Вслѣдствіе этихъ ударовъ, производимыхъ выброшенными α - частичками, повышается, какъ показалъ Рузерфордъ, температура препаратовъ радія въ сравненіи съ окружающимъ воздухомъ и происходитъ ихъ тепловое излученіе. Излученіе это является слѣдовательно непосредственнымъ результатомъ превращенія энергіи, выдѣляющейся при распадѣ атомовъ.

Наведенная радіоактивность не представляетъ собой, какъ показали дальнѣйшія наблюденія, однороднаго тѣла. Величина ея радіоактивной постоянной не имѣетъ такого опредѣленнаго значенія, какъ у эманаціи; наоборотъ, ея радіоактивная постоянная различна въ зависимости отъ того, долгое или короткое время существуетъ наведенная радіоактивность.

Это обстоятельство, по смыслу теоріи распада атомовъ, указываетъ на то, что вещество, которое мы назвали наведенной радіоак-

тивностью, на самомъ дѣлѣ представляетъ собой смѣсь нѣсколькихъ тѣлъ, происходящихъ одно изъ другого; тѣла эти существуютъ одновременно, но, въ зависимости отъ продолжительности превращенія, количества ихъ измѣняются. Подробныя изслѣдованія показали, что въ наведенной радіоактивности радія заключаются, по крайней мѣрѣ, шесть тѣлъ, переходящихъ одно въ другое и имѣющихъ различныя радіоактивныя постоянныя. Тѣла, образующіяся изъ эманаціи, очень

Черт. 335.



удачно обозначаютъ прибавленіемъ къ начальному названію вещества буквъ въ порядкѣ латинскаго алфавита: *A*, *B*, *C* и т. д. Въ наведенной радіоактивности радія имѣются такимъ образомъ слѣдующія вещества, обладающія радіоактивными постоянными, приведенными въ таблицѣ:

Радій	A	Радіоактивная постоянная	3 минуты.
»	B	»	21 »
»	C	»	28 »
»	D	»	около 40 лѣтъ.
»	E	»	6 дней.
»	F	»	143 »

Эти превращенія одного вещества въ другое идутъ, однако, всегда (или почти всегда) наряду съ испусканіемъ лучей, преимущественно α-лучей, хотя при нѣкоторыхъ превращеніяхъ испускаются также β и γ-лучи. Превращеніе радія въ слѣдующія за нимъ вещества и одновременное съ этимъ испусканіе α, β и γ-лучей наглядно представлены на черт. 335.

Атомъ радія, выбрасывая α-частицы, превращается въ эманацію; послѣдняя при выбрасываніи α-частицы переходитъ въ радій *A*, который, испуская въ свою очередь тѣ же α-частицы, превращается въ радій *B*. Радій *B* не испускаетъ никакихъ лучей, но непрерывно переходитъ въ радій *C*. Этотъ послѣдній испускаетъ не только отрицательные электроны (β-лучи), но также и α и γ-лучи; благодаря потери α-частицы и отрицательныхъ электроновъ, онъ превращается въ радій *D*, который представляетъ собой очень постоянное тѣло, неиспускающее никакихъ лучей. Тѣмъ не менѣе и онъ медленно переходитъ въ новое вещество—радій *E*, у котораго наблюдается испусканіе лишь отрицательныхъ электроновъ и γ-лучей, но совсѣмъ незамѣтно выбрасыванія α-частицъ. Изъ радія *E* образуется, наконецъ, радій *F*, испускающій лишь α-частицы.

Итакъ, то, что мы вообще называемъ наведенной радіоактивностью, состоитъ изъ быстро распадающихся веществъ, *A*, *B*, *C* и медленно распадающихся *D*, *E*, *F*.

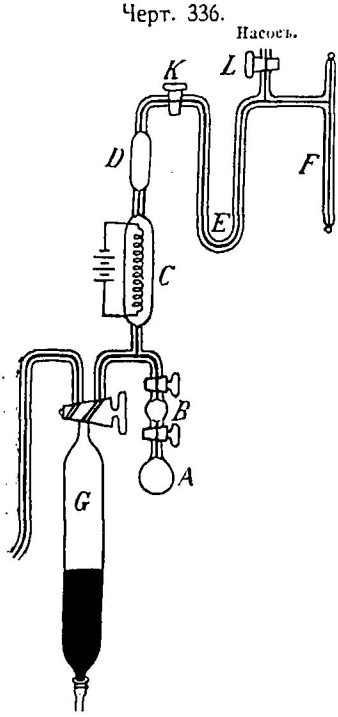
Особенный интересъ представляетъ то обстоятельство, что радій *F* во всѣхъ своихъ свойствахъ сходенъ съ полоніемъ, который въ свою очередь тождественъ съ такъ называемымъ радіотеллуромъ. Полоній такимъ образомъ не представляетъ собой начальнаго радіоактивнаго вещества, а является результатомъ послѣдовательныхъ превращеній радія. Аналогично этому и радій *D*, тѣло весьма постоянное, распадающееся на половину лишь въ теченіе 40 лѣтъ, тождественъ съ радіосвинцомъ, который одно время считался самостоятельнымъ радіоактивнымъ тѣломъ.

Гдѣ же конецъ этимъ послѣдовательнымъ превращеніямъ и что происходитъ въ концѣ концовъ съ составными частями атома радія?

Извѣстный англійскій изслѣдователь Рамзай произвелъ поразительный опытъ, который, казалось, давалъ на эти вопросы опредѣленный и въ то же время совсѣмъ неожиданный отвѣтъ. Рамзай, какъ извѣстно, открылъ въ атмосферѣ новые элементы: аргонъ, ксенонъ, криптонъ, неонъ и гелій; послѣдній элементъ впервые былъ обнаруженъ въ спектрѣ солнечной короны, по замѣченной въ немъ интенсивной желтой линіи; затѣмъ, спустя долгое время, его удалось выдѣлить въ газообразномъ состояніи изъ различныхъ минераловъ. Всѣ эти газы имѣютъ то общее свойство, что до сихъ поръ у нихъ не обнаружено способности вступать въ какія бы то ни было химическія соединенія съ другими элементами; на нихъ не дѣйствуютъ никакіе химическіе реактивы. Поэтому газы эти называютъ инертными элементами. Рамзай впустилъ эманацію радія въ трубку, изъ которой былъ выкаченъ воздухъ; когда черезъ трубку проходилъ электрическій токъ, внутренность трубки свѣтилась и, когда ее наблюдали черезъ призму, давала очень сложный спектръ. Однако, въ этомъ спектрѣ несомнѣнно не было желтой геліевой линіи, характерной для гелія. Если же разрѣженную трубку оставляли въ теченіе трехъ дней и послѣ этого снова подвергали изслѣдованію, то тогда показывалась желтая линія гелія; въ слѣдующіе дни показывались также и другія линіи гелія и кромѣ того еще нѣкоторыя совершенно неизвѣстныя. Этотъ опытъ былъ много разъ повторенъ съ одинаковымъ результатомъ и въ концѣ концовъ пришлось признать, что въ трубкѣ, первоначально несодержавшей гелія, послѣдній появлялся спустя нѣсколько дней. Изъ чертежа 336 ясно виденъ способъ, какимъ производился этотъ опытъ. Въ маленькомъ сосудѣ *A* находится 20 или 30 мгр. бромистаго радія. Въ шарикъ *B*, отдѣленный отъ *A* краномъ и запертый сверху, налита вода, несодержащая примѣси воздуха. Въ другихъ частяхъ прибора находятся: въ *C*—оксидированная мѣдная спираль, которая при про-

хожденіи черезъ нее электрическаго тока сильно раскаляется; въ D—сосудъ, содержащій фосфорный ангидридъ для поглощенія паровъ воды. Въ E находится U—образная трубка, которую можно охлаждать жидкимъ воздухомъ, а въ F—спектральная трубка, изображенная на чертежѣ приблизительно въ $^1/_4$ натуральной величины. Къ L присоединяется воздушный насосъ и, наконецъ, G служитъ для наполненія всего прибора ртутью. Когда все готово и воздухъ изъ прибора выкаченъ, переливаютъ воду изъ B въ A; бромистый радій въ водѣ растворяется и начинаетъ выдѣлять эманацію. Одновременно съ этимъ выдѣляются и окклюдированные газы—водородъ и кислородъ, которые, однако, поглощаются накаленной спиралью C; пары воды задерживаются въ D. Послѣ этого въ приборъ впускаютъ изъ G ртуть и такимъ образомъ заставляютъ эманацію и всѣ остальные газы пройти въ охлажденную жидкимъ воздухомъ трубку E; здѣсь эманація сгущается, тогда какъ имѣющійся тамъ гелій, если онъ уже имѣется, не сгустится и будетъ удаленъ насосомъ, находящимся у L. (Гелій —это тотъ газъ, для ожиженія котораго требуется, по сравненію со всѣми остальными газами, самая низкая температура; при температурѣ жидкаго воздуха [—190°] онъ остается еще вполнѣ газообразнымъ). Если теперь эманацію сдѣлать снова свободной и заставлять, при помощи индукціонной катушки, трубку F свѣтиться, то по прошествіи 3—5 дней въ трубкѣ обнаруживается несомнѣнное присутствіе гелія. Изъ этого опыта мы можемъ съ увѣренностью заключить, что гелій образовался изъ эманаціи радія.

Черт. 336.



Первоначально думалось, что на основаніи этого поразительнаго опыта можно вывести заключеніе, что гелій является конечнымъ продуктомъ превращеній радія, и что, слѣдовательно, одинъ химическій элементъ—радій—превратился въ другой—гелій. Этому результату придавалось громадное значеніе въ виду того, что онъ, повидимому, разрѣшалъ задачу, которая въ теченіе нѣсколькихъ столѣтій являлась конечною цѣлью всѣхъ химическихъ (алхимическихъ) изслѣдованій—превращеніе одного химическаго элемента въ другой; однако въ свое время научная химія признала эту цѣль алхиміи утопіей и совершенно исключила ее изъ круга серьезныхъ научныхъ трудовъ. Казалось, что

вслѣдствіе самопроизвольнаго распада одно вещество—радій (который есть полное основаніе считать за особый элементъ) превращается въ другой несомнѣнный элементъ—гелій, т. е., что одинъ изъ самыхъ тяжелыхъ элементовъ превращается въ очень легкій.

Однако въ скоромъ времени этотъ выводъ вызвалъ сильныя сомнѣнія. Представлялось невѣроятнымъ и даже совершенно невозможнымъ, чтобы гелій былъ конечнымъ продуктомъ превращеній эманаціи радія. Дѣйствительно, мы знаемъ, что превращеніе въ радій F идетъ черезъ радій A, B, C, D, и что радій D существуетъ въ теченіе очень долгаго времени и распадается на половину лишь чрезъ 40 лѣтъ. Поэтому въ нѣсколько дней могутъ образоваться лишь совершенно ничтожныя количества гелія, и во всякомъ случаѣ невозможно, чтобы вся эманація или бо́льшая ея часть превратилась въ гелій. Такъ какъ такое допущеніе невозможно, то для объясненія образованія гелія—факта опредѣленно установленнаго—остается только допустить, что *атомы гелія представляютъ собой α-частицы, выброшенныя* изъ эманаціи и продуктовъ ея распада. Дѣйствительно, на стр. 387 мы видѣли, что масса α-частицы какъ разъ равна массѣ атома гелія. Поэтому представляется вѣроятнымъ, что іонъ гелія является составной частью радія и всѣхъ остальныхъ радіоактивныхъ веществъ, выбрасывающихъ α-частицы. Согласно этому представленію, вездѣ, гдѣ находится радій въ естественномъ состояніи, тамъ долженъ также быть и гелій, если только для него нѣтъ возможности разсѣяться въ атмосферѣ. Ибо изъ радія и его эманаціи постоянно и самопроизвольно образуется гелій. Такъ какъ радій всегда встрѣчается вмѣстѣ съ ураномъ и торіемъ, то становится теперь понятнымъ то, что удивляло Рамзая, выдѣлившаго впервые гелій изъ земныхъ веществъ, а именно, что онъ встрѣчается только въ тѣхъ минералахъ, въ которыхъ содержится уранъ и торій. Если возможно, наоборотъ, изъ присутствія гелія заключить о присутствіи радія, то радій долженъ находиться также и на солнцѣ, такъ какъ гелій былъ обнаруженъ на солнцѣ по своимъ спектральнымъ линіямъ (названіе гелій происходитъ отъ слова ἥλιος—хеліосъ, солнце) еще прежде, чѣмъ онъ былъ найденъ на землѣ.

Если, однако, гелій не представляетъ собой конечнаго продукта преобразованій радія, то во что же въ концѣ концовъ превращается радій? Преобразованія эти мы можемъ прослѣдить до радія F. Дальнѣйшія превращенія уже не могутъ быть обнаружены при помощи электрическихъ методовъ измѣренія. Продукты дальнѣйшаго превращенія радія вообще невидимы для насъ. На черт. 335 видно, что пока радій превратится въ F, за все время, считая при этомъ и излученіе изъ радія F, выбрасываніе α-частицъ происходитъ 5 разъ.

Если сдѣлать вѣроятное предположеніе, что при превращеніи

каждаго атома изъ него выдѣляется непремѣнно одна и только одна α-частица, то тѣло, получающееся изъ радія F, должно имѣть атомы, которые меньше атомовъ радія на 5 α-частицъ. Такъ какъ атомный вѣсъ радія равенъ 225, а гелія $=4$, то слѣдовательно у этого конечнаго продукта атомный вѣсъ долженъ быть $225-(5\times4)=205$. Свинецъ, какъ извѣстно, имѣетъ атомный вѣсъ 205,3 и слѣдовательно возможно, что онъ является концомъ превращеній, т. е. что радій превращается въ концѣ концовъ въ свинецъ.

Всей этой теоріи распада атомовъ необходимо однако разрѣшить одинъ трудный вопросъ о томъ, какимъ образомъ вообще возможно допустить присутствіе на землѣ радія, разъ онъ въ теченіе нѣсколькихъ тысячелѣтій постоянно самъ по себѣ распадается, выдѣляетъ эманацію и гелій и выбрасываетъ β-частицы? Такъ какъ этотъ распадъ происходитъ отъ начала образованія земли, то непонятно, какъ вообще радій, а также торій и уранъ могутъ еще находиться на землѣ. Этотъ вопросъ можно разрѣшить единственно допущеніемъ, что радій и другіе элементы могутъ также и создаваться сами. Къ такому взгляду въ дѣйствительности и приходятъ основатели и послѣдователи этой теоріи, и онъ отчасти уже и нашелъ себѣ подтвержденіе. Допускаютъ, что тяжелые элементы—уранъ, радій, торій—сами являются продуктами распада другихъ элементовъ и въ частности полагаютъ, что радій представляетъ собой продуктъ распада урана, вмѣстѣ съ которымъ онъ дѣйствительно всегда и находится. Такъ какъ эти превращенія происходятъ очень медленно, то возможно, что вмѣстѣ съ большими массами урана встрѣчаются всегда лишь небольшія количества радія вмѣстѣ съ конечнымъ продуктомъ его распада—геліемъ.

Хотя радій и добытъ въ сравнительно небольшомъ количествѣ и преимущественно изъ урановой руды, но все же общій запасъ радія въ землѣ вовсе не такъ малъ. Оказалось, что илъ фанго содержитъ замѣтные слѣды радія. Сама земля, простая пахотная земля, всегда содержитъ радій, который выдѣляетъ свою эманацію. Почти во всѣхъ теплыхъ источникахъ также имѣется эманація радія, и повидимому есть основаніе думать, что значительная часть ихъ цѣлебныхъ дѣйствій обязана какъ разъ присутствію въ нихъ эманаціи. Изъ поверхности земли эманація проникаетъ въ воздухъ и дѣлаетъ его, вслѣдствіе іонизаціи, проводникомъ, хотя и въ незначительной степени.

Изслѣдованія радіоактивности уже создали совершенно новую науку, которая не является ни физикой, ни химіей; ее можно назвать химіею распада атомовъ. Со временемъ дальнѣйшія изслѣдованія будутъ вносить все болѣе ясности въ эту область и, можетъ быть, приведутъ къ новымъ, совершенно неожиданнымъ фактамъ. Здѣсь мы обратимъ вниманіе только на одно слѣдствіе изъ изслѣдованія радія

съ точки зрѣнія его электрическихъ свойствъ. Такъ какъ лучи Беккереля іонизируютъ воздухъ, то въ томъ мѣстѣ, гдѣ долгое время находится радій, электрическій зарядъ совершенно не держится на тѣлахъ и очень быстро уходитъ въ землю. Поэтому, если бы радій былъ сконцентрированъ на землѣ въ большихъ массахъ, чего въ дѣйствительности, конечно, нѣтъ, то никогда не были бы открыты свойства статическаго электричества, такъ какъ не удалось бы удержать какое-нибудь тѣло заряженнымъ. Отсюда можно понять, отъ какихъ случайностей зависятъ иногда наши взгляды на природу, и можно придти къ догадкѣ, отчасти прискорбной, отчасти наполняющей насъ надеждой, что то, чего мы не знаемъ о природѣ и въ частности объ электричествѣ, во много разъ превосходитъ все намъ уже извѣстное.

ГЛАВА XIV.

Электричество и свѣтъ.

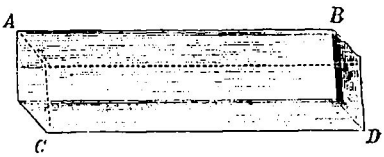
На много лѣтъ раньше, чѣмъ наука объ электричествѣ, благодаря открытіямъ Герца, подвинулась настолько, что удалось обнаружить связь между электричествомъ и эфиромъ, носителемъ свѣтовыхъ явленій, за много лѣтъ и даже десятковъ лѣтъ до этого Фарадей предвидѣлъ уже эту связь и старался доказать ее. Если бы изъ всѣхъ великихъ открытій Фарадея надо было выбрать то, гдѣ ярче всего проявилось его геніальное предвидѣніе въ области физики, то слѣдовало бы указать на то открытіе, о которомъ мы будемъ говорить въ этой главѣ, и которое впервые обнаружило связь между электричествомъ и свѣтомъ. Мы говоримъ такъ не потому, конечно, чтобы это открытіе имѣло уже большое практическое значеніе. Явленія индукціи и законы электролиза, эти два великія открытія Фарадея, имѣютъ безконечно большее значеніе для практики. Однако ни одно открытіе не было такъ глубоко, не касалось такихъ неизслѣдованныхъ областей природы и не имѣло такого важнаго значенія съ чисто научной стороны, какъ открытіе Фарадеемъ магнитнаго вращенія плоскости поляризаціи свѣта. Оно было настолько глубоко, что въ теченіе десятковъ лѣтъ являлось лишь примѣчательнымъ съ научной точки зрѣнія фактомъ, изъ котораго не удавалось вывести никакихъ дальнѣйшихъ заключеній. Надо удивляться только, какъ могъ человѣкъ дойти до этого опыта не случайно, а съ обдуманнымъ намѣреніемъ. Фарадей всегда держался взгляда, что между электричествомъ и свѣтомъ должна существовать связь, такъ какъ онъ считалъ, что оба эти явленія происходятъ въ эфирѣ. Поэтому для него все дѣло сводилось къ тому, чтобы искать и найти эту связь, о которой напередъ нельзя было ничего сказать. Первоначально онъ изслѣдовалъ, не будетъ ли испытывать вліянія свѣтовой лучъ, пропущенный сквозь электролитъ, во время электролиза, когда происходитъ, слѣдовательно, движеніе іоновъ. Онъ пропускалъ свѣтовой лучъ черезъ жидкость и въ направленіи тока, и въ противоположномъ направленіи, и перпендикулярно къ току, но всякій разъ, несмотря на

чувствительные методы наблюденія, не обнаруживалось никакого дѣйствія. Однако, убѣжденіе Фарадея въ существованіи предполагаемой имъ связи было непоколебимо. Въ 1845 году онъ снова принялся за эти опыты, но на этотъ разъ обратилъ свое вниманіе не на электролитическія дѣйствія тока, а на магнитныя его свойства и этимъ путемъ достигъ блестящихъ результатовъ.

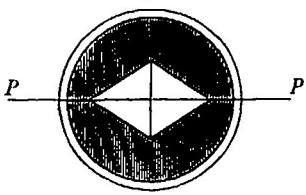
Для того, однако, чтобы понять эту связь, мы должны предварительно остановиться на одномъ явленіи, извѣстномъ изъ ученія о свѣтѣ. Явленіе это заключается въ томъ, что при помощи простого приспособленія въ обыкновенномъ свѣтовомъ лучѣ можно произвести особое видоизмѣненіе, обычно свѣту не присущее; послѣ этого видоизмѣненія свойства свѣта становятся болѣе простыми, чѣмъ были раньше.

Это приспособленіе состоитъ изъ куска прозрачнаго, какъ вода, исландскаго шпата (черт. 337), разрѣзаннаго въ извѣстномъ направленіи, на чемъ болѣе подробно мы останавливаться не будемъ. Такой кусокъ исландскаго шпата называется призмой Николя, или, короче, просто николемъ. Его вставляютъ въ металлическую оправу такимъ образомъ, чтобы черезъ него по направленію его длины можно было пропустить свѣтовой лучъ. Поперечный разрѣзъ шпата виденъ у концовъ его оправы и имѣетъ форму, какъ показываетъ черт. 338, косоугольнаго четыреугольника, одна діагональ котораго значительно больше другой. Плоскость, проходящую черезъ большую діагональ и черезъ пропущенный сквозь николь свѣтовой лучъ, называютъ плоскостью поляризаціи николя; на его оправѣ эту плоскость часто отмѣчаютъ стрѣлкой или флажкомъ. На черт. 339 изображенъ находящійся въ оправѣ николь, установленный на штативѣ, на которомъ имѣется еще вращающійся кружокъ съ отверстіями различной величины, при помощи которыхъ мы можемъ пропускать сквозь николь свѣтовые пучки различной толщины. Прикрѣпленный къ оправѣ николя бумажный флажокъ указываетъ направленіе плоскости поляризаціи, совпадающей съ наиболѣе длинной діагональю николя. Эти флажки

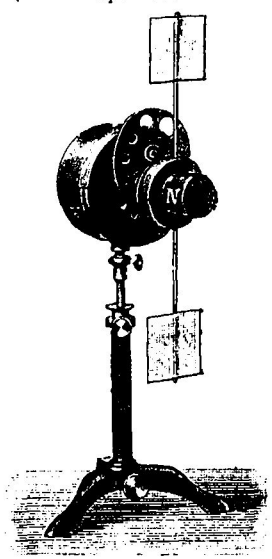
Черт. 337.



Черт. 338.



Черт. 339.



мы будемъ въ дальнѣйшемъ называть просто стрѣлкой. Если черезъ такой николь мы пропустимъ обыкновенный свѣтовой лучъ, называемый также естественнымъ лучемъ, то выходящій изъ николя свѣтъ будетъ нѣсколько видоизмѣненъ; такой свѣтъ называется поляризованнымъ. Пользуясь вторымъ такимъ же николемъ, можно легко убѣдиться, что свѣтъ этотъ дѣйствительно видоизмѣненъ, и даже узнать, въ чемъ состоитъ это видоизмѣненіе. Въ самомъ дѣлѣ, свѣтъ, вышедшій изъ перваго николя, не проходитъ сквозь второй, если его стрѣлка расположена перпендикулярно къ стрѣлкѣ перваго николя. Свѣтъ этотъ проходитъ черезъ второй николь обыкновеннымъ образомъ, когда стрѣлки расположены параллельно, и нѣсколько ослабляется, если стрѣлки находятся въ наклонномъ другъ къ другу положеніи. Это странное свойство, никогда не наблюдающееся у естественнаго свѣта, а только у поляризованнаго, происходитъ отъ того, что въ николѣ свѣтовыя колебанія повсюду и постоянно совершаются только въ одномъ направленіи. Удалось опредѣлить, что эти колебанія всегда перпендикулярны къ плоскости поляризаціи, т. е., что они совершаются въ направленіи короткой діагонали николя. Напримѣръ, если свѣтовой лучъ проходитъ черезъ николь, плоскость поляризаціи котораго расположена горизонтально, то всѣ колебанія въ этомъ лучѣ внутри николя и по выходѣ изъ него происходятъ вертикально вверхъ и внизъ. Если плоскость поляризаціи второго николя расположена перпендикулярно къ плоскости поляризаціи перваго, т. е. вертикально, то внутри него могутъ происходить только горизонтальныя колебанія; такихъ колебаній не имѣется, однако, въ падающемъ на него свѣтѣ, и, слѣдовательно, свѣтъ не можетъ пройти черезъ второй николь. Наоборотъ, если плоскость поляризаціи второго николя горизонтальна, то падающій свѣтъ свободно проходитъ сквозь него; въ томъ же случаѣ, когда плоскости поляризаціи обоихъ николей наклонены другъ къ другу, проходитъ лишь нѣкоторая составляющая падающаго свѣта и онъ оказывается ослабленнымъ.

Поэтому, если смотрѣть черезъ два николя на какое-нибудь свѣтлое тѣло, какъ пламя, бѣлая бумага и т. п., то это тѣло видно только тогда, когда плоскости поляризаціи обоихъ николей имѣютъ одинаковое направленіе. Когда же плоскости поляризаціи перпендикулярны другъ къ другу, то тѣла не видно, оно кажется темнымъ.

Вкратцѣ все это можно формулировать слѣдующимъ образомъ:

Свѣтъ проходитъ сквозь параллельные и не проходитъ сквозь скрещенные николи.

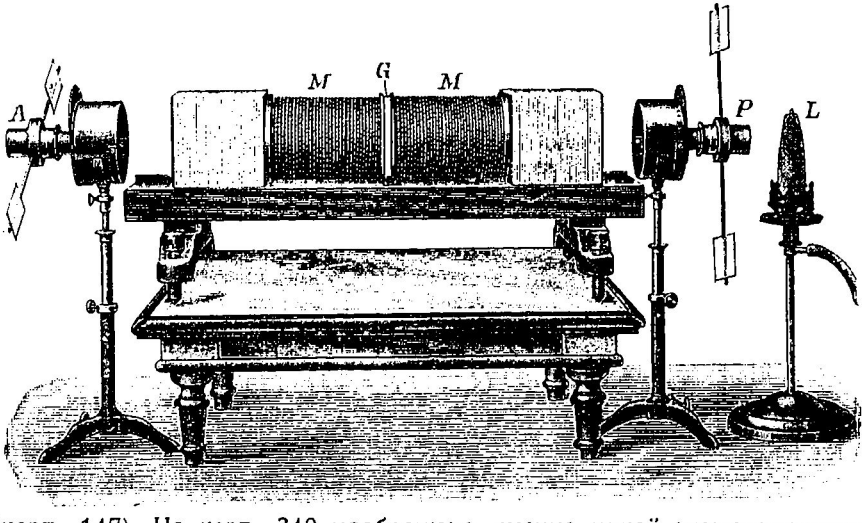
Тотъ изъ двухъ расположенныхъ другъ за другомъ николей, черезъ который свѣтъ проходитъ раньше, чѣмъ черезъ другой, называется поляризаторомъ, въ виду того, что онъ поляризуетъ свѣтъ; второй же николь, позволяющій обнаружить поляризованный свѣтъ,

называется анализаторомъ. Дѣйствительно, если, вращая второй николь, переводить его изъ параллельнаго, по отношенію къ первому николю, положенія въ перпендикулярное, то проходящій черезъ него свѣтъ будетъ постепенно ослабѣвать, пока совершенно не исчезнетъ. Обратно, подобное измѣненіе силы свѣта при вращеніи одного изъ николей служитъ указаніемъ на то, что попадающій въ николь свѣтъ поляризованъ.

Какъ разъ при изслѣдованіи поляризованнаго свѣта Фарадей и сдѣлалъ свое замѣчательное открытіе; поэтому намъ и пришлось здѣсь хотя бы кратко объяснить сущность явленія поляризаціи свѣта. Онъ задался вопросомъ, не испытываетъ ли свѣтъ какихъ-нибудь вліяній вблизи магнита? Его опытъ показалъ, что хотя естественный свѣтъ и не испытываетъ при этомъ никакого вліянія, но на поляризованномъ свѣтѣ это вліяніе обнаруживается. Если расположить близко одинъ противъ другого два противоположныхъ полюса магнита такъ, чтобы между ними образовалось сильное магнитное поле, то, какъ извѣстно, въ немъ особенно сильно выражено направленіе силовыхъ линій, идущихъ по линіи, соединяющей сѣверный и южный полюсы. Открытіе Фарадея обнаружило, что вліяніе магнита на поляризованный свѣтъ происходитъ тогда, когда свѣтъ распространяется по направленію силовыхъ линій.

Для того, чтобы удобно было пропускать свѣтовой лучъ черезъ магнитное поле по направленію силовыхъ линій, просверливаютъ полюсы магнита и пропускаютъ свѣтъ сквозь эти отверстія. Поэтому очень удобенъ электромагнитъ, который былъ изображенъ на стр. 183

Черт. 340.



(черт. 147). На черт. 340 изображенъ именно такой электромагнитъ;

оба его полюса MM расположены близко другъ къ другу съ цѣлью образованія между ними сильнаго магнитнаго поля, и имѣютъ отверстіе во всю свою длину. Расположимъ между полюсами кусокъ стекла G съ плоскими боковыми поверхностями, а по обоимъ концамъ электромагнита установимъ двѣ призмы Николя: впереди поляризаторъ P, а позади—анализаторъ A. Если мы теперь поляризаторъ поставимъ вертикально, а анализаторъ горизонтально, такъ что призмы будутъ скрещенными, и пропустимъ свѣтъ отъ калильной сѣтки L черезъ первый николь P, стекло G и второй николь A, то, какъ мы знаемъ, свѣтъ не пройдетъ черезъ анализаторъ въ виду того, что николи скрещены. Если смотрѣть черезъ анализаторъ на лампу, то передъ нами будетъ только темное поле зрѣнія. Если мы замкнемъ токъ и тѣмъ самымъ возбудимъ электромагнитъ, не измѣнивъ при этомъ ничего остального, то къ нашему удивленію мы замѣтимъ, что поле зрѣнія станетъ свѣтлѣе и мы увидимъ лампу L. Въ этомъ и заключалось открытіе Фарадея, и онъ, конечно, былъ также очень пораженъ этимъ явленіемъ, хотя и надѣялся обнаружить что-либо подобное. Итакъ, скрещенные николи не вызываютъ болѣе темноты. Чтобы снова получить темноту, мы должны вывести николь A изъ скрещеннаго положенія; въ нашемъ опытѣ его надо повернуть приблизительно на 15^0, какъ на это указываетъ положеніе A на чертежѣ. Тогда мы снова получаемъ темноту. Мы знаемъ, что нашъ анализаторъ не пропускаетъ такой свѣтъ, плоскость поляризаціи котораго перпендикулярна къ плоскости поляризаціи самого анализатора. Поэтому, очевидно, что падающій на него свѣтъ, пройдя черезъ стекло, болѣе не обладаетъ уже вертикальной плоскостью поляризаціи, сообщенной ему первымъ николемъ; его плоскость поляризаціи повернулась въ стеклѣ приблизительно на 15^0. Поэтому, не вводя никакой гипотезы, мы можемъ найденное изъ опыта формулировать слѣдующимъ образомъ: въ магнитномъ полѣ плоскость поляризаціи свѣта, распространяющагося по направленію магнитныхъ силовыхъ линій, поворачивается. Величина этого вращенія зависитъ, во-первыхъ, отъ силы магнитнаго поля и, во-вторыхъ, отъ природы и толщины тѣла, находящагося въ магнитномъ полѣ. Стекло, вода, нефть, сѣрнистый углеродъ,—всѣ они на сантиметръ толщины производятъ въ магнитномъ полѣ вращеніе опредѣленной величины. Чѣмъ магнитное поле сильнѣе, тѣмъ вращеніе больше, при прочихъ равныхъ условіяхъ.

Что же касается направленія вращенія, а именно—происходитъ ли оно по направленію движенія часовой стрѣлки, или же въ обратномъ направленіи, то для этого уже Фарадей нашелъ простой и очень точный законъ. Если представить себѣ силовыя линіи окруженными молекулярными токами Ампера (стр. 233), то направленіе вращенія всегда совпадаетъ съ направленіемъ молекулярныхъ токовъ (за исклю-

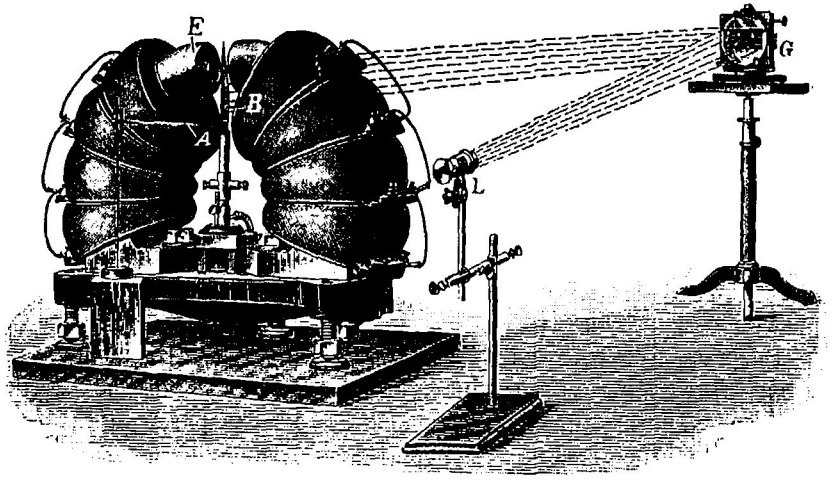
ченіемъ нѣкоторыхъ особенныхъ веществъ). Поэтому, совершенно безразлично, проходитъ ли свѣтовой лучъ отъ сѣвернаго полюса къ южному, или въ обратномъ направленіи отъ южнаго къ сѣверному, направленіе вращенія будетъ въ обоихъ случаяхъ одинаково. Отсюда слѣдуетъ, что если устроить такъ, чтобы свѣтовой лучъ, пройдя черезъ стекло, отразился и прошелъ снова черезъ стекло въ обратномъ направленіи, то въ такомъ случаѣ полное вращеніе плоскости поляризаціи окажется вдвое большимъ.

Это замѣчательное открытіе Фарадея съ несомнѣнностью доказало, что вліяніе магнитныхъ силъ на свѣтъ дѣйствительно существуетъ. Все же, однако, это явленіе и обстановка, при которой оно происходитъ, крайне сложны. Во-первыхъ, надо имѣть поляризованный свѣтъ и, во-вторыхъ, пропустить его черезъ магнитное поле въ направленіи силовыхъ линій, и только тогда можно обнаружить, что свѣтъ самъ по себѣ не испытываетъ никакого вліянія, а вращается только плоскость его поляризаціи. Однако, всѣ дальнѣйшіе опыты, производившіеся съ цѣлью найти другія, быть можетъ, болѣе простыя взаимоотношенія между свѣтомъ и магнитизмомъ или электричествомъ, оставались въ теченіе почти пятидесяти лѣтъ безплодными. Явленіе, открытое Фарадеемъ, оставалось единственнымъ. Съ полнымъ правомъ его можно было понимать, какъ показывающее, что въ магнитномъ полѣ происходитъ что-то, имѣющее характеръ вращенія, но не сдвига. Въ такомъ случаѣ, однако, можно было ожидать, что свѣтъ, проходящій черезъ магнитное поле перпендикулярно къ силовымъ линіямъ, также будетъ испытывать какое-либо вліяніе. Но всѣ производившіеся въ этомъ направленіи—иногда очень остроумные—опыты давали только отрицательные результаты.

Впервые, нѣсколько лѣтъ тому назадъ, одному голландцу, профессору Зееману, удалось обнаружить другое въ высшей степени интересное дѣйствіе магнитизма на свѣтъ. Уже Фарадей изслѣдовалъ свѣтящееся пламя въ отношеніи вліянія магнитизма на испускаемый имъ свѣтъ. Казалось возможнымъ, что колебанія молекулъ въ пламени, вслѣдствіе которыхъ и возникаетъ свѣтъ, могутъ претерпѣвать какія-либо измѣненія подъ вліяніемъ магнитизма. Фарадей при этихъ опытахъ не получилъ никакого результата. Зееманъ же, работая съ лучшими и болѣе чувствительными приборами, открылъ въ этомъ направленіи новое явленіе, называемое явленіемъ Зеемана. Какъ извѣстно, можно получить пламя, дающее свѣтъ одного какого-нибудь опредѣленнаго цвѣта, такъ называемое монохроматическое пламя. Если въ обыкновенное несвѣтящееся пламя газовой горѣлки внести немного соли натрія (поваренной соли), то оно становится желтымъ и испускаетъ свѣтъ, имѣющій вполнѣ опредѣленную продолжительность колебаній и длину волны. Точно такъ же, внося въ пламя соль

литія, мы получаемъ красный свѣтъ опредѣленной длины волны и цвѣта; внося соль таллія, получаемъ зеленый свѣтъ и т. д. Такимъ образомъ мы можемъ получать пламя, испускающее свѣтъ одного, или почти что одного цвѣта. Пропуская свѣтъ отъ такого пламени при помощи линзы черезъ призму, мы получимъ въ опредѣленномъ мѣстѣ спектра одну или нѣсколько рѣзкихъ цвѣтныхъ линій. Удобнѣе для этого пользоваться не призмой, а диффракціонной рѣшеткой, на которую свѣтъ направляется при помощи линзы. Тогда мы находимъ въ отраженномъ свѣтѣ на опредѣленномъ мѣстѣ рѣзкія линіи, характеризующіяся продолжительностью свѣтовыхъ колебаній. Преимущество диффракціонной рѣшетки передъ призмой заключается въ томъ, что она отчетливѣе раздѣляетъ линіи, находящіяся близко одна отъ другой. Напримѣръ, оказывается, что натріевое пламя испускаетъ свѣтъ не одного опредѣленнаго періода колебаній, а двухъ періодовъ, незначительно отличающихся другъ отъ друга. Поэтому,

Черт. 341.



если на такую диффракціонную рѣшетку направить свѣтъ отъ натріеваго пламени и наблюдать рѣшетку съ помощью подзорной трубы или лупы, то видны двѣ близко другъ отъ друга находящіяся желтыя линіи, которыя называются линіями *D*. Все это извѣстно изъ оптики и новаго ничего собой не представляетъ. Зееманъ помѣстилъ натріевое пламя между полюсами сильнаго электромагнита и замѣтилъ, что каждая отдѣльная линія раздѣляется на три линіи, если наблюдать свѣтъ, исходящій перпендикулярно къ силовымъ линіямъ. Расположеніе приборовъ для этого опыта изображено, насколько возможно наглядно, на черт. 341. На этомъ чертежѣ мы видимъ полукруглый электромагнитъ съ закругленными полюсами,

который мы уже описывали выше на стр. 183. Между полюсами находится обыкновенная бунзеновская горѣлка *B*. Въ пламя, при помощи платиновой проволоки *A*, вводится крупинка соли натрія, вслѣдствіе чего оно окрашивается въ желтый цвѣтъ. Лучи свѣта, перпендикулярные силовымъ линіямъ магнита, проходятъ черезъ узкую щель и отбрасываются при помощи линзы на диффракціонную рѣшетку Роуланда *G*. Наблюдая въ подзорную трубу *L* рѣшетку подъ извѣстнымъ угломъ, мы увидимъ въ пламени натрія обѣ линіи *D*. Какъ только мы приведемъ въ дѣйствіе электромагнитъ, мы сейчасъ же замѣтимъ, что каждая изъ двухъ натріевыхъ линій распадается на три линіи, расположенныя очень близко другъ отъ друга. Изъ каждой линіи образуется такъ называемый триплетъ. Таково одно изъ новыхъ явленій, открытыхъ Зееманомъ. Мы видимъ, что въ данномъ случаѣ дѣло идетъ о свѣтѣ, возникающемъ въ магнитномъ полѣ и выходящемъ наружу перпендикулярно къ силовымъ линіямъ магнита. Если повторить тотъ же опытъ, наблюдая тотъ свѣтъ, который исходитъ отъ пламени по направленію линій силъ (для каковой цѣли въ сердечникѣ полукруглаго магнита дѣлаются отверстія), то мы замѣтимъ, что каждая линія раздвоилась; изъ каждой линіи образовался такъ называемый дублетъ. Это явленіе, тѣсно связанное съ вышеописаннымъ, представляетъ собой второе изъ открытыхъ Зееманомъ новыхъ явленій.

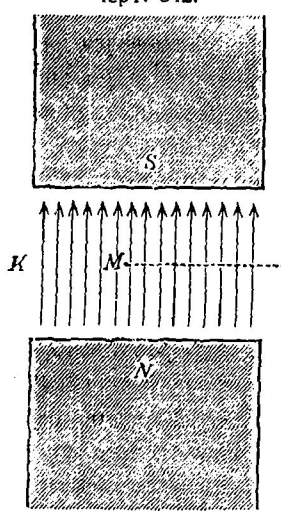
Чтобы обобщить оба явленія, можно сказать, что магнитизмъ вліяетъ на продолжительность колебанія свѣтящихся частицъ въ пламени. Дѣйствительно, каждой опредѣленной линіи, получающейся отъ рѣшетки, соотвѣтствуетъ опредѣленный періодъ колебаній. Слѣдовательно, если какая-нибудь линія распалась на три отдѣльныхъ линіи, расположенныхъ близко другъ отъ друга, но все же раздѣльно, то это значитъ, что подъ вліяніемъ магнитизма, кромѣ первоначальнаго свѣта, возникъ еще новый свѣтъ съ измѣненнымъ нѣсколько періодомъ колебаній; причемъ, съ одной стороны, возникъ свѣтъ съ нѣсколько большимъ, а съ другой—съ нѣсколько меньшимъ періодомъ колебаній, чѣмъ прежде.

Зееманъ далъ на основаніи электронной теоріи объясненіе этому въ высшей степени замѣчательному явленію. Онъ допустилъ, что въ пламени свѣтятся не колеблющіяся молекулы, какъ то думали раньше, а колеблющіеся электроны. Такъ какъ эфиръ распространяетъ электрическія волны, то онъ долженъ быть возбужденъ электрическими колебаніями; такими колебаніями являются какъ разъ колебанія электроновъ, которые находятся въ пламени быть можетъ въ свободномъ состояніи, или въ соединеніи съ матеріей (въ видѣ іоновъ). Если ввести такое пламя съ электронами, колеблющимися въ разныхъ направленіяхъ, въ магнитное поле, то это поле вліяетъ на каждый

отдѣльный электронъ въ томъ отношеніи, что сообщаетъ ему еще импульсъ—двигаться перпендикулярно къ силовымъ линіямъ и къ направленію уже присущаго ему движенія. Мы знакомы съ этимъ уже изъ правила лѣвой руки, о которомъ сказано на стр. 205. Отсюда слѣдуетъ, что скорость отдѣльныхъ частицъ въ направленіи перпендикулярномъ къ линіямъ силъ будетъ отчасти увеличена, а отчасти уменьшена. Между большимъ числомъ частицъ, движущихся во всѣхъ направленіяхъ, найдутся такія, скорость которыхъ останется неизмѣнной; кромѣ того, будутъ частицы, у которыхъ скорость увеличилась на нѣкоторую величину, и частицы, скорость которыхъ уменьшилась на ту же величину. Поэтому въ эфирѣ въ направленіи, перпендикулярномъ силовымъ линіямъ, будутъ распространяться колебанія, періоды которыхъ неодинаковы, но мало отличаются одинъ отъ другого и даютъ наблюдаемый въ дѣйствительности триплетъ Зеемана.

Чтобы еще яснѣе и отчетливѣе понять эти явленія, разсмотримъ ихъ нѣсколько подробнѣе. Магнитное поле, изображенное на черт. 342, образуется между расположенными другъ противъ друга сѣвернымъ N и южнымъ S полюсами магнита. Силовыя линія имѣютъ въ этомъ полѣ направленіе, указанное толстыми стрѣлками. Въ магнитномъ полѣ находятся электроны, колеблющіеся первоначально во всѣхъ направленіяхъ. Пусть M представляетъ собой одинъ изъ такихъ электроновъ. Изслѣдуемъ тѣ свѣтовыя колебанія, которыя распространяются въ эфирѣ въ направленіи X (перпендикулярно къ силовымъ линіямъ). Свѣтовыя колебанія всегда поперечны, т. е. перпендикулярны къ направленію свѣтового луча (стр. 331); поэтому движеніе частицы M по направленію X не можетъ вызвать въ этомъ направленіи свѣтового движенія, такъ какъ это движеніе оказалось бы продольнымъ. Въ виду этого, пока не возбуждено магнитное поле, надо обращать вниманіе лишь на движенія M, происходящія перпендикулярно къ MX, т. е. тѣ, которыя лежатъ въ плоскости, перпендикулярной къ плоскости нашего чертежа.

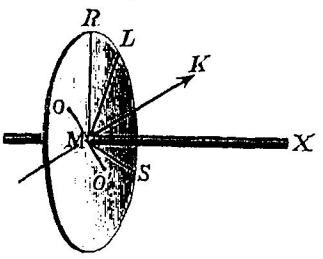
Черт. 342.



Когда возбуждено магнитное поле, то, по правилу лѣвой руки, частица, движущаяся въ направленіи MX, получитъ отклоненіе, добавочную скорость, въ направленіи, перпендикулярномъ MX и направленію силовыхъ линій. На чертежѣ 342 это направленіе перпендикулярно къ плоскости бумаги и идетъ отъ бумаги вверхъ или внизъ,

въ зависимости отъ того, движется ли электронъ въ направленіи отъ M къ X, или отъ X къ M. Въ первомъ случаѣ мы должны направить указательный палецъ правой руки по направленію силовыхъ линій и средній палецъ отъ M къ X; тогда большой палецъ будетъ направленъ отъ бумаги наверхъ. Во второмъ же случаѣ средній палецъ мы должны направить отъ X къ M, а тогда большой палецъ будетъ указывать внизъ. На черт. 343 въ перспективѣ изображена плоскость, перпендикулярная къ лучу MX. Стрѣлка K указываетъ здѣсь направленіе магнитныхъ силъ. Въ нашемъ случаѣ частица M начинаетъ подъ вліяніемъ магнитнаго поля двигаться по направленію MO или MO'.

Черт. 343.



Если частица M движется въ пространствѣ какъ-нибудь, то та слагающая колебаній, которая идетъ по направленію MX, совершенно не вызываетъ свѣта, распространяющагося въ направленіи MX, такъ какъ эта слагающая колебаній является продольной. Другая слагающая колебаній должна, слѣдовательно, находиться вполнѣ на плоскости, изображенной на чертежѣ въ перспективѣ, т. е. должна быть направлена, напримѣръ, по ML, MR или MS. Эти послѣднія направленія могутъ быть въ свою очередь разложены на два слагаемыя, изъ которыхъ одно имѣетъ направленіе MK, т. е. по направленію силовыхъ линій, а другое перпендикулярное къ MK. Это послѣднее слагаемое и претерпѣваетъ измѣненіе въ магнитномъ полѣ, испытывая или увеличеніе MO, или уменьшеніе MO'.

Такимъ образомъ въ дѣйствующихъ направленіяхъ, т. е. въ тѣхъ направленіяхъ, которыми возбуждается движеніе въ эфирѣ, распространяющееся къ X, существуютъ три скорости: неизмѣненная, присущая частицамъ, колеблющимся по направленію MK (въ направленіи силовыхъ линій), увеличенная и уменьшенная, обѣ на одну и ту же величину, имѣющія направленіе OO' (перпендикулярно къ линіямъ силъ). Поэтому-то при преломленіи и долженъ появиться триплетъ Зеемана.

Однако, изъ этого же изслѣдованія мы можемъ сдѣлать гораздо болѣе важный выводъ. Дѣйствительно, средняя линія зеемановскаго триплета происходитъ отъ колебанія электроновъ въ направленіи MK, обѣ же боковыхъ—отъ колебаній въ направленіи OO'. Между тѣмъ выше (стр. 402) мы назвали поляризованными такія свѣтовыя колебанія, при которыхъ всѣ частички въ лучѣ колеблются въ одномъ и томъ же направленіи. Отсюда слѣдуетъ, что:

Свѣтъ трехъ линій, составляющихъ триплетъ Зеемана, поляризованный. Но и это еще не все. Плоскость, проходящую

черезъ лучъ и перпендикулярную къ свѣтовымъ колебаніямъ, мы называемъ плоскостью поляризаціи (стр. 401). Слѣдовательно, плоскость поляризаціи свѣтовыхъ колебаній, производимыхъ MK и образующихъ среднюю линію триплета, перпендикулярна къ линіямъ силъ; плоскость же поляризаціи свѣтовыхъ колебаній, производимыхъ OO', совпадаетъ съ силовыми линіями. Отсюда можно сдѣлать слѣдующій выводъ:

Средняя линія триплета Зеемана поляризована перпендикулярно къ магнитнымъ силовымъ линіямъ, а двѣ боковыя линіи поляризованы параллельно линіямъ силъ.

Этотъ результатъ нашихъ разсужденій былъ вполнѣ подтвержденъ на опытѣ и въ свою очередь является прекрасной провѣркой нашего воззрѣнія, согласно которому свѣтовыя колебанія вызываются колеблющимися въ пламени электронами. Далѣе, изъ величины происходящаго въ магнитномъ полѣ измѣненія скорости можно даже вычислить отношеніе заряда колеблющагося электрона къ его массѣ (стр. 351), т. е. его, такъ называемый, удѣльный зарядъ, о которомъ мы уже много говорили въ главахъ о разрядѣ въ газахъ и о радіоактивности. Это вычисленіе даетъ для удѣльнаго заряда ту же величину, что и въ катодныхъ лучахъ, изъ чего надо заключить, что изслѣдуемыя нами колебанія въ пламени производятся отрицательными электронами.

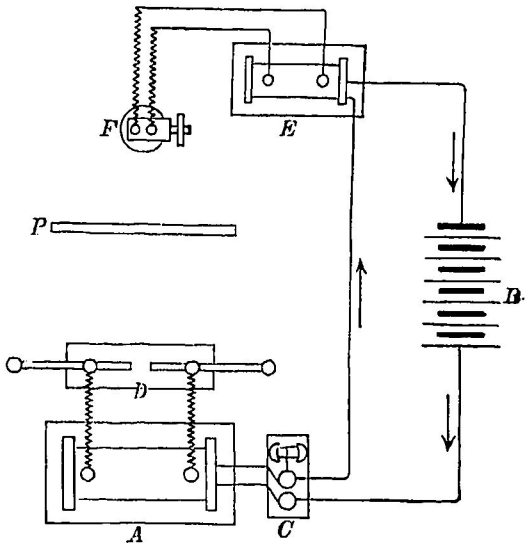
Зеемановскій дублетъ, образующійся при прохожденіи свѣта въ направленіи силовыхъ линій, и его поляризаціонныя свойства объясняются совершенно такъ же; на этомъ мы однако не будемъ здѣсь останавливаться.

Въ явленіяхъ, открытыхъ Фарадеемъ и Зееманомъ, мы познакомились съ вліяніемъ магнитизма на свѣтовыя явленія. Между тѣмъ, было обнаружено и обратное вліяніе свѣта на электрическія явленія, представляющее собой дальнѣйшее развитіе этой интересной зависимости между двумя областями явленій. Уменьшеніе сопротивленія селена при его освѣщеніи, о которомъ мы говорили на стр. 93, является уже воздѣйствіемъ свѣта на электрическія явленія. Однако это воздѣйствіе является косвеннымъ, а именно: селенъ подъ дѣйствіемъ свѣта измѣняется химически, подобно фотографической пластинкѣ; образуются такія его видоизмѣненія, которыя имѣютъ иную удѣльную проводимость. Мы здѣсь не будемъ говорить о такихъ косвенныхъ воздѣйствіяхъ свѣта, а займемся исключительно непосредственными.

Непосредственное электрическое дѣйствіе свѣта было открыто Герцемъ въ началѣ его опытовъ съ быстрыми электрическими колебаніями, давшими въ дальнѣйшемъ столь важные результаты. Когда онъ вызывалъ одновременно искры въ двухъ индукціонныхъ катушкахъ, ему бросилось въ глаза, что искры при этомъ взаимно вліяютъ другъ

на друга. Для болѣе отчетливаго воспроизведенія этого явленія онъ воспользовался расположеніемъ приборовъ, изображенныхъ на черт. 344. Большая индукціонная катушка A и маленькая E были расположены такъ, чтобы искры отъ первой катушки проскакивали въ D между двумя сдвигающимися металлическими стержнями, а искры отъ второй—между подвижными шариками искромѣра F (стр. 338). Черезъ первичныя обмотки обѣихъ индукціонныхъ катушекъ пропускался одинъ и тотъ же токъ, который размыкался и замыкался особымъ прерывателемъ C. Первичный токъ шелъ отъ батареи B черезъ прерыватель C и первичную обмотку A къ первичной же обмоткѣ E, откуда снова возвращался въ батарею. Если стержни D и шарики F раздвинуть насколько возможно далеко, но все же такъ, чтобы въ обоихъ приборахъ происходилъ еще правильный искровой разрядъ (причемъ искры въ D были около 10 мм., а въ F — около 2 мм.), то онъ тотчасъ же прекратится, какъ только мы между D и F помѣстимъ пластинку изъ металла, стекла, дерева, каучука, или слой бумаги, слюды и т. п. Герцъ вскорѣ обнаружилъ, что явленіе это происходитъ подъ вліяніемъ свѣта, исходящаго отъ искровыхъ промежутковъ. Въ каждомъ изъ нихъ разрядъ происходитъ съ большей легкостью, когда его освѣщаетъ другой. Помѣщенный между ними слой вещества, непропускающаго свѣтъ, тушитъ также и искры. Но не всякій свѣтъ оказываетъ такое дѣйствіе, а только свѣтъ съ короткой длиной волны—ультрафіолетовый. Поэтому-то стекло и слюда и производятъ тѣ же дѣйствія, что и непрозрачныя тѣла; они поглощаютъ именно ультрафіолетовые лучи. Наоборотъ, другія тѣла, какъ гипсъ, горный хрусталь, вода, пропускающія ультрафіолетовый свѣтъ, не мѣшаютъ взаимодѣйствію искръ.

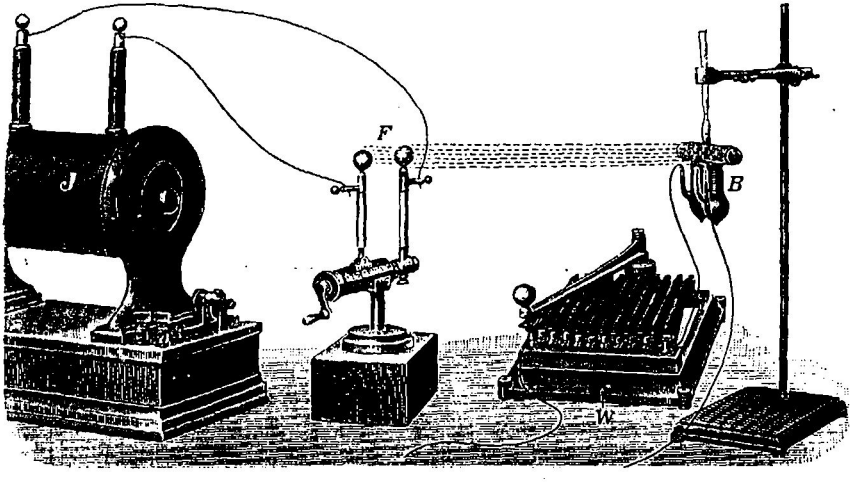
Черт. 344.



Воспользовавшись вмѣсто искрового промежутка дуговой лампой, Герцъ доказалъ съ полной очевидностью, что въ данномъ случаѣ явленіе объясняется дѣйствіемъ именно ультрафіолетоваго свѣта, а не особенными свойствами искры. Это можно очень наглядно показать,

употребляя кварцевую ртутную лампу (стр. 132). Такая лампа даетъ очень много ультрафіолетоваго свѣта. Итакъ, если мы соединимъ индукціонную катушку I (черт. 345) съ искромѣромъ F и раздвинемъ

Черт. 345.



шарики его столь далеко, чтобы между ними не происходило правильнаго искрового разряда, то, заставивъ падать на искровой промежутокъ свѣтъ отъ ртутной лампы B (въ которую токъ впускается черезъ реостатъ W), мы тотчасъ получимъ въ немъ непрерывный потокъ сильныхъ искръ. Свѣтъ отъ дуговой лампы содержитъ гораздо больше ультрафіолетовыхъ лучей, чѣмъ дневной свѣтъ, и потому онъ оказывается гораздо дѣйствительнѣе при этихъ опытахъ.

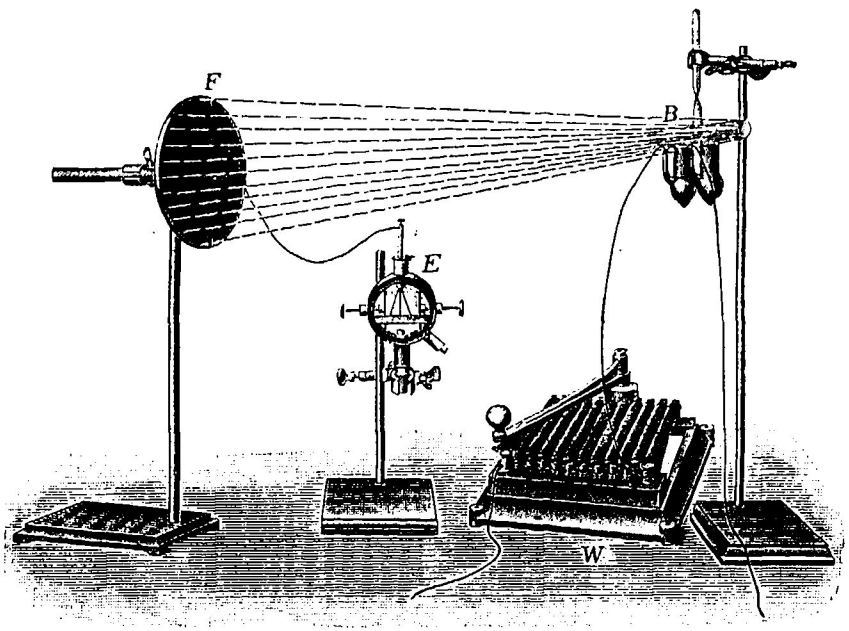
Изъ дальнѣйшихъ изслѣдованій оказалось, что разрядъ можно вызвать, освѣщая только шарикъ, заряженный отрицательно, и вовсе не освѣщая остальныхъ частей искрового промежутка.

Фактъ воздѣйствія свѣта на электрическій разрядъ былъ такимъ образомъ установленъ очень ясно; что же касается причины этого явленія, то она оставалась совершенно невыясненной. Эти явленія получили нѣкоторое объясненіе лишь благодаря опытамъ Гальвакса, показавшаго, что отрицательно заряженное тѣло теряетъ отрицательное электричество при освѣщеніи его ультрафіолетовымъ свѣтомъ. Этотъ опытъ проще всего произвести такъ, какъ показано на черт. 346. Цинковую пластинку F устанавливаютъ на хорошо изолированной подставкѣ, соединяютъ съ электроскопомъ съ золотыми листочками E и заряжаютъ ее отрицательнымъ электричествомъ при помощи натертаго эбонитоваго стержня. Электроскопъ указываетъ своимъ отклоненіемъ величину напряженія заряда, которая остается постоянною, если все хорошо изолировано.

Но какъ только мы освѣтимъ пластинку дуговой лампой B, лучше всего кварцевой ртутной лампой, тотчасъ же листочки электроскопа спадутъ и пластинка разрядится.

Эти явленія называются актиноэлектрическими. Если пластинка F заряжена положительно, то она не разрядится подъ вліяніемъ свѣта; но если пластинка F совсѣмъ не заряжена, то при освѣ-

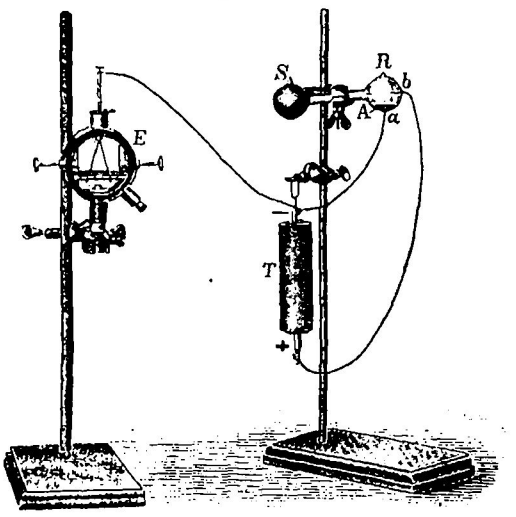
Черт. 346.



щеніи она въ слабой степени заряжается положительно. Опыты эти показываютъ, что отрицательное электричество исчезаетъ изъ металла при освѣщеніи его ультрафіолетовымъ свѣтомъ, и по существу являются совершенно аналогичными съ опытами, которыми было доказано, что заряженныя тѣла теряютъ свой зарядъ подъ вліяніемъ рентгеновскихъ лучей (стр. 368) и радіоактивныхъ веществъ (стр 382). Но между ними есть и существенное различіе. Непосредственное, первичное дѣйствіе лучей Рентгена и радіоактивныхъ веществъ состоитъ въ томъ, что они іонизируютъ воздухъ (стр. 371), и лишь затѣмъ косвенно, вслѣдствіе этого, происходитъ разрядъ заряженныхъ тѣлъ, причемъ уничтожаются какъ положительные, такъ и отрицательные заряды. Здѣсь же, при освѣщеніи ультрафіолетовыми лучами, непосредственное дѣйствіе заключается въ разрядѣ заряженныхъ тѣлъ, причемъ оно распространяется лишь на отрицательные заряды. Отрицательные электроны отдѣляются отъ заряженнаго тѣла, когда оно освѣщается ультрафіолетовыми лучами. Въ актиноэлектрическихъ яв-

леніяхъ играетъ роль также и природа освѣщаемаго вещества. Не всѣ металлы воспріимчивы къ этимъ явленіямъ въ одинаковой степени. Изъ болѣе обычныхъ металловъ цинкъ является для этого наиболѣе подходящимъ; однако, опыты этого рода удаются еще лучше съ амальгамами калія и натрія и съ рубидіемъ. При опытахъ съ ними нѣтъ надобности въ столь сильныхъ источникахъ ультрафіолетоваго свѣта, какъ дуговыя лампы; можно получить явленіе съ обыкновеннымъ дневнымъ свѣтомъ. Очень удобная для такого опыта установка изображена на черт. 347. По указанію Эльстера и Гейтеля, обнаружившихъ сильную чувствительность въ этомъ отношеніи амальгамы натрія, въ продажѣ появились трубки такой формы, какая указана на черт. подъ буквою R; онѣ имѣютъ два впаянныхъ электрода a и b. Въ трубкѣ находится жидкая амальгама натрія, которую можно, нѣсколько наклоняя для этого трубку, перемѣстить или въ зачерненный шарикъ S, или же въ прозрачный R. Для опыта амальгаму надо перелить въ прозрачный шарикъ, такъ чтобы она покрывала собой электродъ a. Соединяя отрицательный полюсъ сухого столба Вольта T (стр. 62) съ амальгамой, ей сообщаютъ отрицательный зарядъ; вмѣстѣ съ тѣмъ амальгама соединяется и съ электроскопомъ съ золотыми листочками Экснера E (стр. 18); расхожденіе листочковъ электроскопа показываетъ величину его заряда. Положительный полюсъ Вольтова столба соединяютъ со вторымъ электродомъ b. Воздухъ изъ трубки выкаченъ до значительнаго разрѣженія. Какъ только на амальгаму попадаетъ дневной свѣтъ, листочки электроскопа тотчасъ же спадаютъ, такъ какъ отрицательное электричество настолько быстро выдѣляется изъ амальгамы, что столбъ Вольта не въ состояніи въ теченіе того же времени покрыть эту потерю. Если дневной свѣтъ заслонить экраномъ, листочки снова расходятся.

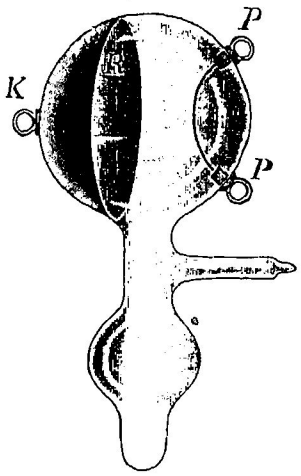
Черт. 347.



При этомъ, какъ сказано, происходитъ непосредственное выдѣленіе отрицательныхъ электроновъ изъ освѣщаемой поверхности амальгамы. Эти постоянно выдѣляющіеся электроны могутъ даже образовать электрическій токъ, который можно измѣрить при помощи

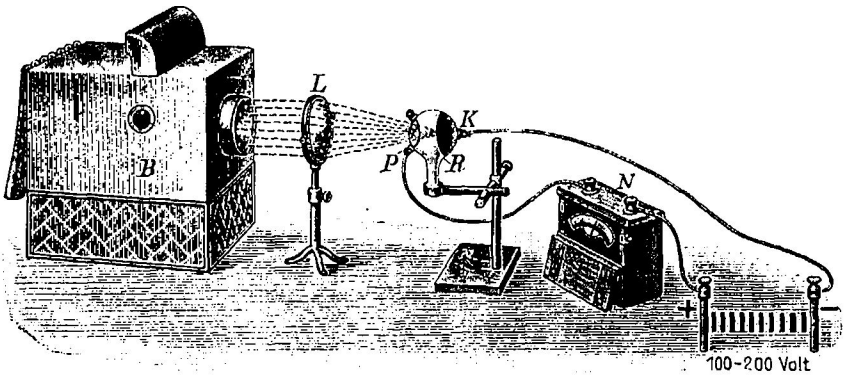
чувствительнаго гальванометра. Для этого удобны трубки съ амальгамой рубидія, выпущенныя въ продажу обществомъ Полифосъ въ Мюнхенѣ; такая трубка изображена на черт. 348. Въ стеклянномъ сосудѣ, внутри котораго находится водородъ или гелій при очень слабомъ давленіи, имѣется зеркальная поверхность R изъ амальгамы рубидія, соединенной съ кольцомъ K. Напротивъ зеркала въ трубку впаяна платиновая проволочка P. Кольцо K соединено съ отрицательнымъ полюсомъ батареи (въ 100—200 вольтъ). При освѣщеніи рубидія дуговой лампой отрицательные электроны выдѣляются изъ R и падаютъ на проволоку; если P соединить черезъ достаточно чувствительный гальванометръ, напр. гальванометръ Надира (стр. 213), съ источникомъ тока, то по отклоненію на гальванометрѣ обнаружится токъ. На черт. 349 изображена установка приборовъ для такого опыта. Въ B находится дуговая лампа, свѣтъ которой при помощи линзы L направляется на рубидіевое зеркало, а въ N—гальванометръ Надира.

Черт. 348.



Если освѣщенная металлическая поверхность находится въ сильно разрѣженномъ пространствѣ, то электроны распространяются въ этомъ

Черт. 349.



пространствѣ прямолинейно и образуютъ катодные лучи. Дѣйствія ихъ, однако, не такъ сильны, какъ дѣйствія обыкновенныхъ катодныхъ лучей, но они обнаруживаютъ тѣ же свойства и подчиняются тѣмъ же законамъ.

Совершенно невѣроятно, чтобы описанными въ этой главѣ явленіями вполнѣ исчерпывалось взаимоотношеніе между электричествомъ или магнитизмомъ съ одной стороны и свѣтомъ съ другой. Пока что, мы знаемъ только вышеописанные факты. Съ усовершенствованіемъ вспомогательныхъ средствъ, вѣроятно, откроются новыя взаимоотношенія, которыя мы отчасти при современномъ состояніи нашего знанія уже можемъ предугадать, но не можемъ лишь пока обнаружить. Но въ будущемъ эти то взаимоотношенія между электричествомъ и свѣтомъ, быть можетъ, и представятъ собой наибольшій интересъ.

Все, что мы разсмотрѣли въ этой первой части сочиненія, показываетъ, что электричество почти безъ всякихъ вспомогательныхъ средствъ превращается во всѣ другія силы природы; это свойство ставитъ электрическую энергію на первое мѣсто среди другихъ видовъ энергіи. Сюда присоединяются еще два преимущества: во-первыхъ то, что электрическій токъ распространяется съ чрезвычайной быстротой и, во-вторыхъ, что онъ идетъ всегда по заранѣе намѣченному пути, по проволокамъ. Поэтому электричество можно въ одно мгновеніе провести всюду, куда хотятъ, и вызвать его дѣйствія въ любомъ мѣстѣ независимо отъ того, гдѣ оно получается. Электричество побѣждаетъ нѣкоторымъ образомъ пространство и время. Ни одна «сила природы» не обладаетъ столь удобнымъ свойствомъ, и поэтому ни одна сила природы, даже теплота, не имѣетъ столь обширнаго примѣненія, какъ электричество.

ГЛАВА XV.

Единицы электрическихъ измѣреній.

Физика стремится все глубже и глубже проникнуть въ тайны природы двоякимъ путемъ. Первый путь состоитъ въ качественномъ изслѣдованіи новыхъ явленій, новыхъ, дотолѣ скрытыхъ силъ и новыхъ проявленій уже извѣстныхъ силъ; второй—основанъ на количественномъ, измѣрительномъ познаваніи законовъ природы, на математическомъ разысканіи зависимостей между различными физическими явленіями. Напримѣръ, открытіе Фарадеемъ индукціонныхъ явленій дало первый шагъ къ расширенію нашихъ знаній въ этой области; установленіе закономѣрной зависимости между электродвижущей силой вторичнаго тока и силой, направленіемъ, формой и относительной скоростью измѣненія первичнаго тока было вторымъ шагомъ, шагомъ не менѣе важнымъ и плодотворнымъ.

Измѣреніе всякой физической величины можетъ быть первоначально произведено во всякой произвольно избранной мѣрѣ, разъ только эта мѣра точно установлена. Силы тока мы можемъ измѣрять и въ кубическихъ миллиметрахъ гремучаго газа, и въ граммахъ мѣди; электродвижущія силы можно измѣрять и въ элементахъ Даніэля, и по отклоненіямъ иглы электрометра и т. д. Новѣйшая физика, однако, все съ большей и большей рѣзкостью и отчетливостью раскрываетъ зависимости, существующія между различными ея областями: она все съ большей и большей полнотой доказываетъ качественно и количественно взаимную способность превращенія другъ въ друга различныхъ формъ энергіи, энергіи механической, тепловой, электрической и химической. Эта зависимость различныхъ величинъ, взятыхъ изъ разнообразнѣйшихъ отдѣловъ физики, указала на возможность, даже на необходимость, примѣнять для измѣренія ихъ не произвольныя величины, а величины, находящіяся въ опредѣленной зависимости другъ отъ друга. Дѣйствительно, оказалось возможнымъ выразить всѣ физическія величины въ единицахъ, выведенныхъ опредѣленнымъ путемъ изъ нѣсколькихъ основныхъ единицъ. Гауссъ и Вильгельмъ Веберъ

первые установили и ввели въ употребленіе такую систему единицъ, и дали ей названіе абсолютной системы измѣреній.

Практическое измѣреніе всѣхъ физическихъ величинъ, къ какому бы отдѣлу явленій онѣ ни относились, сводится къ измѣренію протяженія, времени и массы, и притомъ сводится исключительно только къ этимъ тремъ измѣреніямъ. Поэтому численныя значенія всѣхъ физическихъ величинъ являются вполнѣ опредѣленными, однозначными и неизмѣнными, если только установить опредѣленныя единицы для этихъ трехъ величинъ. Это показываетъ, что за основныя единицы въ абсолютной системѣ мѣръ надо принять единицы длины, массы и времени. Въ научныхъ измѣреніяхъ за единицу длины принимаютъ всегда сантиметръ, за единицу времени—секунду и за единицу массы—граммъ.

Та абсолютная система, въ которой за основныя единицы выбраны сантиметръ, граммъ и секунда, называется и обозначается «C. G. S.-система».

Изъ основныхъ единицъ выводятся единицы для всѣхъ остальныхъ физическихъ величинъ; такія единицы называются производными. Перечисленіе ихъ мы начнемъ съ пространственныхъ и механическихъ величинъ.

1. Площадь. Мѣрою площади служитъ квадратъ со стороною любой длины.

Исходя изъ нашихъ основныхъ единицъ, мы должны за длину стороны взять 1 сантиметръ. Такимъ образомъ, въ C. G. S. системѣ единица площади равна 1 кв. см. Единица площади оказывается уже производною единицею.

2. Объемъ. Мѣрою объема служитъ кубъ, съ ребромъ любой длины. Поэтому въ C. G. S. - системѣ единицею объема служитъ 1 кб. см.

Объемъ въ 3 кб. метра въ системѣ C. G. S. выражается числомъ 3 милліона (въ кб. см.).

Чѣмъ меньше единица, тѣмъ больше число, которымъ данная величина выражается въ этой единицѣ.

3. Скорость. Скорость равномѣрно движущагося тѣла опредѣляютъ, какъ отношеніе пройденнаго имъ пути ко времени, которое ему потребовалось для прохожденія этого пути.

Единица скорости въ C. G. S. системѣ такова, что въ 1 секунду пробѣгается 1 см.

4. Ускореніе. Подъ словами «ускореніе движенія тѣла» разумѣютъ отношеніе увеличенія его скорости ко времени, за которое это увеличеніе произошло.

Абсолютная единица ускоренія есть то ускореніе, при которомъ

скорость тѣла въ единицу времени (1 секунду) увеличивается на единицу скорости (1 см. въ сек.).

5. Сила. Подъ силою, дѣйствующею на массу, разумѣютъ по опредѣленію, даваемому въ механикѣ, произведеніе изъ этой массы на ускореніе, которое ей сообщаетъ дѣйствующая на нее сила.

Единица силы есть такая сила, которая сообщаетъ единицѣ массы единицу ускоренія.

Поэтому въ C. G. S. системѣ единица силы имѣетъ такую величину, что она сообщаетъ массѣ въ 1 граммъ единицу ускоренія (№ 4). Этой единицѣ силы дали особенное названіе «1 динъ». Такимъ образомъ въ системѣ C. G. S. всѣ силы измѣряются въ динахъ.

Вѣса тѣлъ суть силы; они выражаютъ именно тѣ силы, съ которыми сила притяженія земли дѣйствуетъ на массы, носящія тѣ же названія, что и вѣса. Вѣсъ, т. е. сила, одного килограмма равна массѣ одного килограмма, помноженной на ускореніе, сообщаемое силою тяжести этой массѣ, если бы она двигалась совершенно свободно. Такъ какъ масса одного килограмма равна 1000 гр., и вышеуказанное ускореніе равно 981 единицѣ ускоренія въ системѣ C. G. S., то и получается, что сила одного килограмма равна 981000 ($9{,}81.10^3$) динъ.

6. Работа. Если тѣло движется подъ дѣйствіемъ силы, то эта сила совершаетъ работу, величина которой равна произведенію силы на путь, пройденный тѣломъ по направленію дѣйствующей силы.

Поэтому единицей работы въ C. G. S. системѣ мы считаемъ такую работу, которую производитъ сила въ 1 динъ, перемѣстивъ массу, на которую она дѣйствуетъ, на 1 см. Эту единицу работы называютъ обыкновенно словомъ: эргъ.

Если, напр., килограммъ поднятъ на высоту одного метра, то затраченная на это работа $=981000\times100=98100000$ эрговъ.

Работа въ «одинъ килограммометръ», часто употребляющаяся въ техникѣ, равна, слѣдовательно, 98100000 ($9{,}81\times10^7$) эрговъ.

Работа зависитъ лишь отъ величины всего пройденнаго пути, но отнюдь не отъ большаго или меньшаго времени, потраченнаго на совершеніе этого пути.

7. Мощность. Если какая-нибудь сила совершаетъ работу, то отношеніе совершенной работы ко времени, за которое она совершена, называется мощностью.

Абсолютная единица мощности такова, что при ней въ единицу времени совершается единица работы.

Въ системѣ C. G. S. единица мощности такова, что въ одну секунду совершается одинъ эргъ. Въ сравненіи съ обычными величинами мощности эта единица слишкомъ мала, и потому согласились

обозначать мощность въ 10 милліоновъ разъ (10^7) большую особымъ названіемъ, а именно одинъ ваттъ.

Одинъ ваттъ представляетъ, слѣдовательно, такую мощность, при которой въ 1 секунду совершается работа въ 10 милліоновъ эрговъ.

При техническихъ измѣреніяхъ и ваттъ оказывается слишкомъ малою величиною, и потому техники пользуются, какъ единицею мощности, величиною въ 1000 разъ большею, называя ее киловаттомъ. Такимъ образомъ, машина, обладающая мощностью въ 1 киловаттъ, совершаетъ въ каждую секунду работу въ 1000×10 милліоновъ эрговъ. Но и въ настоящее время въ техникѣ мощность машинъ нерѣдко измѣряютъ еще въ лошадиныхъ силахъ, хотя уже теперь это и выходитъ изъ употребленія. Подъ лошадиною силою разумѣютъ такую мощность, при которой въ 1 секунду совершается работа въ 75 килограммометровъ. Такъ какъ, согласно № 6, одинъ килограммометръ равенъ $9{,}81 \times 10^7$ эрговъ, то лошадиная сила, выраженная въ ваттахъ $= 9{,}81 \times 75$. Сокращенно лошадиная сила обозначается знакомъ PS, такъ что мы можемъ написать

$$1 \text{ PS} = 736 \text{ ваттамъ} = 0{,}736 \text{ киловатта.}$$

Изъ того, что мощность нѣкотораго источника силы представляется работою, совершаемою въ каждую секунду, слѣдуетъ, что произведеніе изъ мощности на полный промежутокъ времени, въ теченіе котораго сила дѣйствовала, представляетъ собою величину работы, совершенной силою за это время. Поэтому, говоря о работѣ, умножаютъ названія единицъ мощности и времени и получаютъ выраженія: ваттъ-часы, киловаттъ-часы, лошадь-часы и т. под. Такъ, напр., одинъ киловаттъ-часъ есть работа, равная

$$60 \times 60 \times 10^{10} \text{ эрговъ} = 36 \times 10^{12} \text{ эрговъ} = \frac{36 . 10^{12}}{9{,}81 . 10^7} \text{ килограммометровъ} = 3{,}67 . 10^5 \text{ килограмметровъ.}$$

Такимъ образомъ мы вывели абсолютныя единицы для нѣкоторыхъ важнѣйшихъ механическихъ величинъ, исходя только изъ простого ихъ опредѣленія; теперь мы сдѣлаемъ то же самое для электрическихъ и магнитныхъ вѣличинъ.

Начнемъ съ магнитныхъ единицъ.

8. Количество магнитизма. Каждому магнитному полюсу мы приписываемъ опредѣленное количество магнитизма. Два магнитныхъ полюса притягиваются въ такомъ случаѣ другъ къ другу съ силою, равною произведенію ихъ количествъ магнитизма, раздѣленному на квадратъ разстоянія между ними.

Но мы уже установили единицу силы, а именно динъ, а также и единицу разстоянія (1 см.); поэтому мы можемъ опредѣлить и единицу количества магнитизма.

За единицу количества магнитизма мы будемъ считать такое количество, которое дѣйствуетъ съ силою одного дина на равное ему количество магнитизма, отстоящее отъ него въ разстояніи 1 сантиметра.

Всякій магнитъ имѣетъ два полюса: сѣверный и южный. Произведеніе количества его сѣвернаго магнитизма на разстояніе между полюсами называютъ магнитнымъ моментомъ магнита.

Такимъ образомъ, единица магнитнаго момента такова, что ею обладаетъ магнитъ, полюсы котораго отстоятъ одинъ отъ другого на разстояніи 1 см., и въ которомъ количество магнитизма въ каждомъ полюсѣ равно одной единицѣ.

9. Сила магнитнаго поля. Свободно подвѣшенный въ магнитномъ полѣ магнитный стержень испытываетъ нѣкоторое вращеніе, подъ дѣйствіемъ момента вращенія, равнаго произведенію силы поля на магнитный моментъ стержня. Такъ какъ моментъ пары силъ равенъ произведенію силы на плечо, на которое эта сила дѣйствуетъ, то слѣдовательно единица момента вращенія есть произведеніе 1 дина на 1 сантиметръ. Такимъ образомъ, единицею силы магнитнаго поля будетъ сила такого поля, которое, дѣйствуя на магнитный стержень, имѣющій магнитный моментъ, равный единицѣ (№ 8), сообщаетъ ему единицу момента вращенія.

Вмѣсто выраженія «сила поля» говорятъ также «число силовыхъ линій на 1 кв. сантиметръ»; при этомъ черезъ каждый кв. сантиметръ поля мысленно проводятъ столько силовыхъ линій, чтобы число ихъ было равно силѣ поля въ этомъ мѣстѣ.

Подобно тому, какъ мы вывели опредѣленіе и единицу для количества магнитизма и другихъ магнитныхъ единицъ, исходя изъ закона взаимнаго притяженія, доказаннаго на опытѣ, подобно этому для установленія опредѣленій и единицъ электрическихъ величинъ мы также можемъ и должны исходить изъ извѣстныхъ законовъ. Поэтому, въ виду существованія многихъ соотношеній между электрическимъ токомъ и магнитизмомъ, удобнѣе всего положить въ основаніе тотъ законъ, которому подчиняются эти соотношенія, т. е. законъ Біо-Савара. Систему электрическихъ единицъ, основанную на этомъ законѣ, называютъ электромагнитною системою единицъ. Теперь мы и перейдемъ къ этой системѣ.

10. Сила тока. Исходною точкою служитъ сила, съ которою токъ дѣйствуетъ на магнитъ. Законъ ея дѣйствія изложенъ уже на стр. 200. По этому закону, замкнутый токъ дѣйствуетъ совершенно какъ

магнитъ, магнитный моментъ котораго равенъ силѣ тока, умноженной на площадь, вокругъ которой обходитъ токъ.

Такъ какъ мы имѣемъ уже единицу магнитнаго момента (№ 8), то, пользуясь ею, мы можемъ установить и опредѣленіе единицы силы тока.

Единицей силы тока обладаетъ такой токъ, который, обходя вокругъ площади въ 1 кв. см., производитъ такія же магнитныя дѣйствія, какъ и магнитъ, магнитный моментъ котораго равенъ единицѣ.

Эта абсолютная единица не имѣетъ никакого особеннаго названія. На практикѣ обыкновенно пользуются другою единицею, равною одной десятой этой только что опредѣленной единицы силы тока, и называютъ ее однимъ амперомъ.

Такимъ образомъ 1 амперъ $= \frac{1}{10}$ единицы силы тока въ C.G.S. системѣ.

11. *Количество электричества.* Подъ силою тока всегда подразумѣвается количество электричества, проходящее чрезъ каждое сѣченіе проводника въ единицу времени.

Согласно этому, единицею количества электричества называютъ такое количество, которое, проходя черезъ какое-нибудь сѣченіе въ теченіе 1 секунды, производитъ токъ въ 1 амперъ.

Эту единицу количества электричества называютъ «1 кулонъ».

Такимъ образомъ оказывается что 1 кулонъ = 1 амперъ × 1 секунда.

Одинъ амперъ-часъ соотвѣтствуетъ, слѣдовательно, $60 \times 60 = 3600$ кулонамъ.

12. Электродвижущая сила. Всякій токъ обладаетъ извѣстною мощностью, такъ какъ въ каждую секунду онъ можетъ произвести нѣкоторую работу. Мы знаемъ, что эта мощность равна произведенію электродвижущей силы на силу тока.

Отсюда получается опредѣленіе электродвижущей силы и единица для нея.

За единицу принимается такая электродвижущая сила, которая, посылая чрезъ цѣпь токъ силою, равной единицѣ, производитъ единицу мощности.

Для практическихъ цѣлей пользуются практическою единицей мощности, т. е. 1 ваттомъ, и считаютъ за единицу такую электродвижущую силу, которая, посылая въ цѣпи токъ, равный 1 амперу, производитъ мощность равную 1 ватту. Эта единица электродвижущей силы называется «1 вольтъ». Понятно, что одинъ вольтъ × 1 амперъ = 1 ваттъ. При электрическихъ расчетахъ нерѣдко замѣняютъ слово ваттъ выраженіемъ вольтъ-амперъ, обозначающимъ (при по-

стоянныхъ токахъ) совершенно ту же мощность. Какъ мы видѣли выше (№ 7), $PS = 736$ ваттамъ, поэтому

$$1 \text{ вольтъ} \times 1 \text{ амперъ} = \frac{1}{736} \text{ PS}.$$

13. Напряженіе. Такъ какъ электродвижущая сила есть ни что иное, какъ разность между двумя напряженіями, то a priori очевидно, что единица напряженія тождественна съ единицей электродвижущей силы, т. е. для практическихъ цѣлей—съ 1 вольтомъ.

14. Сопротивленіе. По закону Ома сопротивленіе электрической цѣпи равно отношенію существующей въ ней электродвижущей силы къ силѣ тока, проходящаго по ней.

Практическая единица сопротивленія есть такое сопротивленіе, что единица электродвижущей силы, 1 вольтъ, вызываетъ въ немъ токъ силою въ единицу—1 амперъ.

Эту единицу сопротивленія называютъ 1 омъ. Такимъ образомъ и законъ Ома дѣйствителенъ для единицъ:

$$1 \text{ амп.} = \frac{1 \text{ вольтъ}}{1 \text{ омъ}}, \text{ или также: } 1 \text{ вольтъ} = 1 \text{ амп.} \times 1 \text{ омъ}.$$

15. Емкость. Подъ емкостью конденсатора подразумѣваютъ отношеніе количества электричества на его обкладкахъ къ его напряженію, при чемъ предполагается, что одна изъ обкладокъ соединена съ землей.

Единичною емкостью обладаетъ такой конденсаторъ, который, будучи заряженъ единицей количества электричества, 1 кулономъ, имѣетъ напряженіе равное единицѣ.

Эту единицу емкости называютъ фарадою. Такимъ образомъ получаемъ, что

$$1 \text{ фарада} = \frac{1 \text{ кулонъ}}{1 \text{ вольтъ}}.$$

Милліонную часть этой емкости называютъ микрофарадою.

16. Самоиндукція. Подъ самоиндукціею цѣпи разумѣютъ (стр. 257) ту величину, зависящую отъ формы проводника, на которую слѣдуетъ помножить измѣненіе въ единицу времени силы тока въ этой цѣпи, чтобы получить электродвижущую силу возникающаго въ ней экстратока.

На основаніи этого опредѣленія за единицу самоиндукціи мы должны принять самоиндукцію такой цѣпи, въ которой возбуждается электродвижущая сила какъ разъ въ 1 вольтъ, если сила тока измѣ-

няется въ ней на 1 амперъ въ каждую секунду. Эта единица называется 1 генри. Такимъ образомъ

$$1 \text{ генри} = \frac{1 \text{ вольтъ} \times 1 \text{ секунда}}{1 \text{ амперъ}}.$$

Но такъ какъ

$$\frac{1 \text{ вольтъ}}{1 \text{ амперъ}} = 1 \text{ омъ},$$

то мы можемъ написать также, что

$$1 \text{ генри} = 1 \text{ омъ} \times 1 \text{ секунда}.$$

Поэтому англичане, вмѣсто слова генри, часто употребляютъ неудачное слово секомъ.

Тысячную часть 1 генри называютъ однимъ миллигенри.

Такимъ образомъ, мы свели главнѣйшія электрическія величины къ опредѣленнымъ единицамъ, которыя находятся въ простой связи съ механическими единицами длины, массы, времени, силы, работы и мощности.

Дробныя части и кратныя этихъ практическихъ единицъ часто обозначаются прибавленіемъ особыхъ слоговъ къ ихъ названіямъ, какъ это мы и сдѣлали уже въ нѣкоторыхъ случаяхъ. Приставка мегъ обозначаетъ величину въ милліонъ разъ большую по сравненію съ единицей. Такимъ образомъ:

1 мегомъ = 1 милліону омовъ.

Приставка микро обозначаетъ милліонную часть единицы. Такимъ образомъ:

1 микроамперъ = 1 милліонная часть ампера.
1 микрокулонъ = 1 милліонная часть кулона.
1 микровольтъ = 1 милліонная часть вольта.
1 микрофарада = 1 милліонная часть фарады.

Наконецъ, милли обозначаетъ тысячную часть единицы. Слѣдовательно:

1 милливольть = 1 тысячная часть вольта,
1 миллиамперъ = 1 тысячная часть ампера,
1 миллигенри = 1 тысячная часть генри.

Разумѣется, для практическихъ цѣлей недостаточно было бы дать лишь научное опредѣленіе единицъ для измѣренія величинъ; для обихода необходимы еще опредѣленно нормированныя единицы, которыя легко было бы приготовить, и отношеніе которыхъ къ абсолютнымъ единицамъ было бы разъ навсегда опредѣлено.

Такъ какъ между тремя величинами—сила тока, сопротивленіе и электродвижущая сила—существуетъ связь, выражаемая закономъ Ома, то достаточно установить единицы лишь для двухъ изъ нихъ. Это сдѣлано для силы тока и для сопротивленія. Посмотримъ, какимъ образомъ можно опредѣлить силу тока въ 1 амперъ, съ тѣмъ, чтобы ее легко можно было воспроизвести, а также, какъ опредѣлить сопротивленіе въ 1 омъ.

Силу тока опредѣляютъ тѣмъ, что разъ навсегда измѣрили, какое количество гремучаго газа, или мѣди, или серебра, выдѣляетъ въ вольтаметрѣ токъ силою въ 1 амперъ (опредѣленіе котораго дано подъ № 10) въ теченіе 1 секунды. Это измѣреніе съ большою точностью произвели Ф. и В. Кольрауши; они установили, что 1 амперъ въ 1 секунду выдѣляетъ 0,1740 кб. см. гремучаго газа при нормальномъ давленіи и нормальной температурѣ, или 0,3284 мгр. мѣди, или 1,118 мгр. серебра.

На основаніи этихъ измѣреній составлена слѣдующая таблица:

	Токъ силою въ 1 амп. выдѣляетъ или разлагаетъ				
	Мгр. серебра.	Мгр. мѣди.	Мгр. водорода.	Мгр. воды.	Кб. см. гремучаго газа.
Въ 1 сек. .	1,1181	0,3284	0,01039	0,0933	0,1740
„ 1 мин..	67,09	19,70	0,623	5,60	10,44

Зная это, можно, при помощи вольтаметра, опредѣлить въ амперахъ токъ любой силы.

Подобнымъ же образомъ установили сопротивленіе одного ома, а именно въ видѣ длины столба ртути при 0^0, который при поперечномъ сѣченіи въ 1 кв. мм. имѣетъ сопротивленіе, равное какъ разъ одному ому. Точнѣйшія измѣренія привели къ тому результату, что этотъ столбъ долженъ быть въ 106,3 см. длиною. На практикѣ и въ законодательномъ порядкѣ за омъ принимаютъ сопротивленіе столба ртути длиною въ 106,3 см. и сѣченіемъ въ 1 кв. мм. (0^0 Ц.).

Теперь мы можемъ электродвижущую силу всякаго источника выразить въ вольтахъ, заставивъ ее произвести токъ въ какой-либо цѣпи. На практикѣ, однако, часто пользуются элементами Вестона (стр. 110), такъ какъ оказалось, что ихъ электродвижущая сила постоянно равна 1,019 вольта (при температурѣ между 10^0 и 20^0) или же элементами Латимера-Кларка, электродвижущая сила которыхъ равна 1,438 вольта (при 15^0 Ц.).

Существуютъ еще точные эталоны (образчики) емкости, а

именно микрофарады, изображеніе которыхъ дано на стр. 20. Они представляютъ собой конденсаторы, имѣющіе емкость въ 1 микрофараду. Ихъ часто подраздѣляютъ, подобно разновѣскамъ, на части, такъ что они имѣютъ емкости въ 0,1, 0,2, 0,2 0,5 микрофарады.

Подобно этому существуютъ эталоны и для самоиндукціи, представляющіе собой 1 генри или меньшія и большія его подраздѣленія; изображеніе такихъ эталоновъ дано нами на стр. 258.

Такимъ образомъ опредѣлены всѣ единицы для измѣреній въ области электричества и сведены всѣ къ несомнѣннымъ опытнымъ даннымъ и основнымъ законамъ.

Отдѣлъ II.

Приложенія электричества.

ГЛАВА I.

Динамомашины постояннаго тока.

Электричество особенно удобно примѣняется на практикѣ вслѣдствіе той легкости, съ какой электрическая энергія можетъ переходить почти что во всѣ другія формы энергіи—въ свѣтъ, теплоту, магнитизмъ, химическую энергію и механическое движеніе. Лучъ свѣта постоянно остается свѣтовымъ лучемъ; онъ освѣщаетъ и нагрѣваетъ, но энергія его совсѣмъ не можетъ (или можетъ лишь весьма несовершенно и съ большимъ трудомъ) быть обращена въ энергію какого-нибудь еще другого вида. Напротивъ того, стоитъ только электрическій токъ пропустить между раздвинутыми концами углей, чтобы произвести свѣтъ; пропустить по проволокѣ, чтобы получить тепло и свѣтъ; обходя вокругъ желѣзнаго стержня, токъ вызываетъ магнитныя явленія; проходя вблизи другого тока или магнита, онъ приводитъ ихъ въ движеніе или самъ приходитъ въ движеніе; проходя черезъ химически сложную жидкость, онъ производитъ химическія разложенія и соединенія. Эта способность къ легкому превращенію электрической энергіи представляетъ собой главную причину того, что электричество сдѣлалось важнымъ факторомъ въ нашей культурѣ.

Для полученія электрическаго тока существуютъ различные способы. Въ гальваническихъ элементахъ электрическій токъ производится преобразованною химическою энергіею. Въ термоэлементахъ электрическій токъ производится тепловою энергіею. Въ замкнутой цѣпи изъ проволоки, движущейся какимъ-либо образомъ вблизи магнита или электрическаго тока, возбуждаются электрическіе токи. Эти индуктированные токи возбуждаются при движеніи, производятся затратою энергіи движенія, т. е. затратою механической работы. Изъ всѣхъ этихъ различныхъ способовъ полученія тока, послѣдній

единственно пригоденъ для техническихъ цѣлей, гдѣ дѣло идетъ о дешевомъ и простомъ полученіи токовъ большой силы, а часто и высокаго напряженія.

Употребленіе гальваническихъ элементовъ для полученія большихъ количествъ электрической энергіи весьма невыгодно. Каждый элементъ требуетъ заботливаго ухода, довольно частой перемѣны металловъ и жидкостей. Большое число элементовъ занимаетъ много мѣста. Кромѣ того, нѣкоторые гальваническіе элементы, и именно наиболѣе сильные, выдѣляютъ вредные или непріятные газы. Наконецъ, употребленіе элементовъ требуетъ большихъ издержекъ. Почти во всѣхъ элементахъ, благодаря какимъ-нибудь химическимъ процессамъ, цинкъ растворяется въ кислотахъ, и электрическій токъ, такимъ образомъ, поддерживается окисленіемъ (сгораніемъ) цинка,—слишкомъ дорогого горючаго матеріала. По всѣмъ этимъ причинамъ всѣ попытки пользоваться въ техникѣ такими батареями потерпѣли неудачу.

Въ принципѣ выгоднѣе всего было бы получить электрическій токъ посредствомъ прямого преобразованія тепла въ электричество. Но къ сожалѣнію не найденъ еще для этого дѣйствительно выгодный способъ. До сихъ поръ этого можно достичь лишь помощью термоэлектричества, а это послѣднее, даже при наиболѣе совершенной конструкціи термоэлементовъ, допускаетъ лишь весьма малую отдачу тепловой энергіи; даже самые большіе термоэлементы цѣлесообразно примѣнимы лишь при ничтожномъ расходѣ электричества въ тѣхъ случаяхъ, когда больше вниманія обращается на удобство пользованія, а не на выгодность производства; для техническихъ же установокъ они не могутъ быть принимаемы во вниманіе.

Самымъ мощнымъ и простымъ способомъ полученія сильныхъ электрическихъ токовъ большой энергіи является индукція и въ особенности индукція при помощи магнитовъ, такъ наз. магнитная индукція.

Отъ каждаго магнита распространяются по всѣмъ направленіямъ силы, производящія извѣстныя дѣйствія. Мы можемъ наглядно представить себѣ эти силы въ видѣ силовыхъ линій, которыя какъ бы вытекаютъ изъ сѣвернаго полюса и, пройдя черезъ воздухъ или другія тѣла, втягиваются въ южный полюсъ и проходятъ по тѣсному пути въ желѣзѣ магнита отъ южнаго полюса къ сѣверному. Эти силовыя линіи, встрѣчая на своемъ пути кусокъ мягкаго немагнитнаго желѣза, намагничиваютъ его. Онѣ индуктируютъ магнитизмъ въ желѣзѣ, какъ говорятъ обыкновенно. Силовыя линіи различныхъ, помѣщенныхъ близко другъ отъ друга магнитовъ стремятся оттолкнуться, если онѣ направлены навстрѣчу, и слиться, если ихъ направленія одинаковы, вызывая тѣмъ самымъ движенія самихъ магнитовъ.

Однако, эти силовыя линіи, источникомъ которыхъ служитъ

магнитъ, не только намагничиваютъ желѣзо и заставляютъ его двигаться. Въ извѣстныхъ случаяхъ онѣ производятъ еще и электрическіе токи. Стоитъ лишь какъ-нибудь перемѣстить замкнутую цѣпь изъ проволоки, всего лучше проволочную катушку, вблизи такого магнита, чтобы въ этой цѣпи, въ катушкѣ, появились, какъ это подробнѣе описано въ первой части, мгновенные индуктированные токи. Число силовыхъ линій, пересѣкаемыхъ въ секунду подвижной катушкой въ перпендикулярномъ направленіи, соотвѣтствуетъ величинѣ электродвижущей силы индукціоннаго тока. Выгодно помѣстить внутри катушки сердечникъ изъ мягкаго желѣза, такъ какъ онъ при движеніи вблизи магнита самъ намагничивается то сильнѣе, то слабѣе. Вслѣдствіе такого измѣненія магнитнаго состоянія сердечника, въ катушкѣ, насаженной на сердечникъ, измѣняется число силовыхъ линій и возбуждаются болѣе сильные индукціонные токи.

Форма, придаваемая катушкамъ, не имѣетъ существеннаго значенія. Можно обмотать проволокой плоскій сердечникъ, можно взять длинный желѣзный цилиндръ и обмотать его либо вдоль, либо поперекъ; можно, наконецъ, обмотать проволокой желѣзное кольцо: во всѣхъ этихъ случаяхъ будетъ возбуждаться индукціонный токъ, когда катушки, вмѣстѣ со своими сердечниками, будутъ двигаться вблизи магнитовъ. Конечно, въ зависимости отъ устройства, индукціонный токъ будетъ то сильнѣе, то слабѣе. Само собою разумѣется, что нужно вообще слѣдить за тѣмъ, чтобы проволока, въ которой индуктируется токъ, двигалась въ возможно болѣе сильномъ магнитномъ полѣ.

Очень скоро послѣ открытія Фарадеемъ индукціонныхъ токовъ, всего черезъ нѣсколько лѣтъ, Пиксій уже устроилъ первую машину, въ которой, благодаря вращенію катушки съ желѣзнымъ сердечникомъ передъ магнитами, непрерывно получались индукціонные токи. Собственно у него, изъ чисто конструктивныхъ соображеній, было устроено нѣсколько иначе. Именно, вмѣсто того, чтобы сдѣлать неподвижнымъ магнитъ, вращая катушки съ сердечниками, онъ сообщилъ вращательное движеніе вокругъ оси подковообразному магниту, катушки же съ сердечниками онъ укрѣпилъ неподвижно. Результатъ, естественно, получился тотъ же.

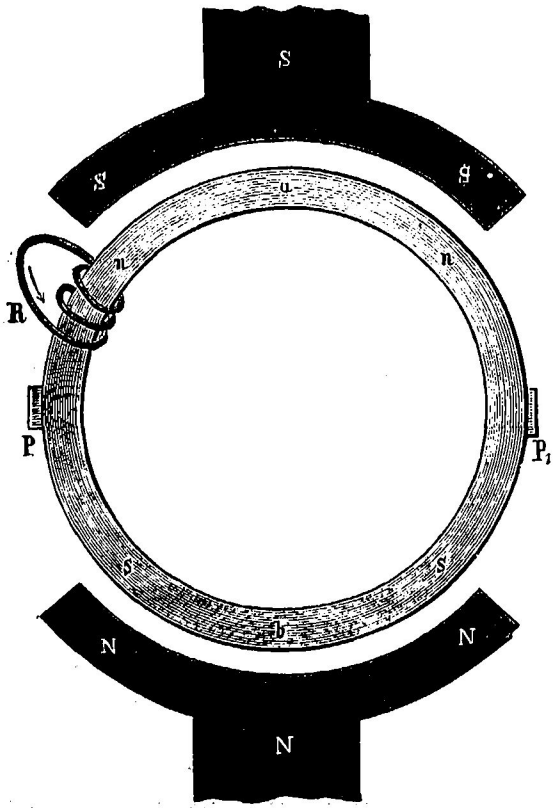
Подобныя машины, въ которыхъ токъ получается вслѣдствіе движенія проволочныхъ катушекъ около магнита (или наоборотъ), называются магнито-электрическими. Магнитъ такой машины, индуктирующей токи, называется индуктирующимъ магнитомъ или просто индукторомъ; катушки съ желѣзнымъ сердечникомъ называются якоремъ или арматурой.

Пиксій сдѣлалъ неподвижнымъ якорь и сообщилъ вращеніе индуктору, такъ какъ при такомъ устройствѣ безъ труда можно присоединить внѣшнюю цѣпь къ неподвижному якорю.

Если же желательно устроить, наоборотъ, чтобы магниты были неподвижны, а катушки двигались, то нужно сдѣлать приспособленіе, которое бы позволяло внѣшней цѣпи, въ которую посылаются возбужденные индукціонные токи, оставаясь неподвижной, быть въ постоянномъ соприкосновеніи съ вращающимся якоремъ. Этого достигаютъ именно тѣмъ, что концы катушекъ якоря ведутся вдоль оси его вращенія и заканчиваются каждый въ одномъ изъ двухъ металлическихъ колецъ, изолированныхъ другъ отъ друга и отъ оси. Такимъ образомъ, эти кольца образуютъ концы катушекъ, и къ нимъ присоединяется внѣшняя цѣпь посредствомъ скользящихъ контактовъ. Въ качествѣ контактовъ употребляютъ щетки изъ мѣдной проволоки или угольныя, которыя скользятъ по этимъ кольцамъ; черезъ нихъ токъ отъ машины проводится во внѣшнюю цѣпь.

Если вращать катушку попеременно то передъ сѣвернымъ, то передъ южнымъ полюсомъ, то всегда въ ней получается прежде всего переменный токъ.

Черт. 350.



Однако, хотя это и кажется удивительнымъ на первый взглядъ, возможно такъ расположить проволоки якоря, что при индукціи будетъ возбуждаться не перемѣнный, а постоянный токъ.

Впервые удалось это сдѣлать итальянцу Пачинотти. А именно, онъ взялъ для сердечника замкнутое желѣзное кольцо и обмоталъ его сплошь проволокой. Концы этой послѣдней онъ спаялъ вмѣстѣ, такъ что проволока была вполнѣ замкнута и не имѣла свободныхъ концовъ. Этотъ якорь называютъ иногда кольцомъ Пачинотти, но чаще грамовскимъ, потому что работы Грамма сдѣлали его общеизвѣстнымъ; такой якорь обнаруживаетъ замѣчательныя явленія, если его вращать

предъ полюсами магнита. Явленія эти легко могутъ быть поняты, если обратиться къ черт. 350.

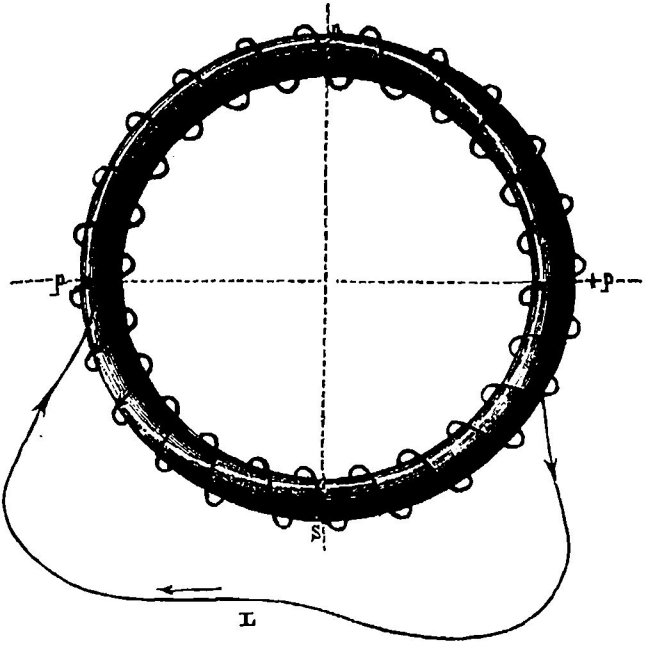
Кольцо все обвито проволокой такъ, какъ это показываютъ три проволочныхъ оборота R, и находится между полюсами S и N сильнаго подковообразнаго магнита, снабженнаго полюсными наконечниками, которые охватываютъ собою часть кольца. Въ той части кольца, приготовленнаго изъ мягкаго желѣза, которая находится противъ южнаго полюснаго наконечника SS, индуктируется сѣверный магнитизмъ nn; сѣверный же полюсъ NN индуктируетъ въ соотвѣтственной части южный магнитизмъ ss. При вращеніи кольца противъ NN и SS становятся все новыя частицы желѣза, и постоянно въ этихъ мѣстахъ индуктируются полюсы s и n. Если кольцо приготовлено изъ вполнѣ мягкаго желѣза, то каждая частица теряетъ свой магнитизмъ, какъ только она выйдетъ изъ непосредственной близости съ индуктирующимъ полюсомъ, и всегда противъ полюса NN кольцо будетъ намагничено южно, а противъ полюса SS—сѣверно. Тѣмъ, что кольцо движется, въ этомъ распредѣленіи ничего не будетъ измѣнено. Кольцо обмотано неподвижно лежащей на немъ проволокою; мы же можемъ съ тою же полнотою разсмотрѣть всѣ явленія, если примемъ, что желѣзный сердечникъ не вращается, но остается совершенно неподвижнымъ, а что обороты проволоки скользятъ вдоль кольца.

Въ движущейся же катушкѣ R возбуждаются индуктированные токи отъ дѣйствія магнитовъ и вмѣстѣ съ ними желѣзнаго сердечника, ставшаго магнитнымъ. Направленіе этихъ индуктированныхъ токовъ удобнѣе всего опредѣлить по правилу правой руки (стр. 243).

Въ верхней половинѣ чертежа отъ p до p_1 должно себѣ представить существующимъ магнитное поле, образованное южнымъ полюснымъ наконечникомъ и частью сердечника, ставшею сѣверномагнитною. Въ верхней половинѣ силовыя линіи идутъ, слѣдовательно, изъ кольца къ полюсному наконечнику. Въ этомъ-то полѣ и движется катушка, причемъ плоскость ея оборотовъ въ положеніи p горизонтальна, затѣмъ поворачивается и становится вертикальною въ a, затѣмъ, продолжая поворачиваться въ томъ же смыслѣ, становится снова горизонтально въ p_1. На всемъ этомъ пути мы должны, слѣдовательно, указательный палецъ правой руки держать кверху, большой палецъ направо, тогда возникающій индукціонный токъ имѣетъ направленіе средняго пальца правой руки, направленъ, слѣдовательно, впередъ, какъ это показываетъ стрѣлка въ катушкѣ R. На всемъ этомъ пути, отъ p черезъ a до p_1, индукціонный токъ въ катушкѣ сохраняетъ свое направленіе, увеличиваясь въ силѣ на пути отъ p до a, и затѣмъ снова уменьшаясь. При дальнѣйшемъ движеніи отъ p_1 внизъ катушка входитъ въ поле, въ которомъ сѣверный полюсъ находится внѣ ка-

тушки, а южный внутри ея. Указательный палецъ имѣетъ то же направленіе. Но такъ какъ движеніе происходитъ теперь справа налѣво, а не слѣва направо, большой палецъ правой руки указываетъ направленіе противоположное, поэтому направленіе тока на этой половинѣ пути обратное и остается такимъ на всемъ пути отъ p_1 черезъ b до p; при чемъ сила тока возрастаетъ на пути отъ p_1 до b и убываетъ на пути отъ b до p. На границахъ между обѣими половинами кольца, въ мѣстахъ p и p_1, токъ долженъ мѣнять свое направленіе, а слѣдовательно, проходить черезъ нулевое значеніе, иными словами, когда катушка приходитъ въ положеніе p и p_1, по ней не проходитъ никакого тока.

Черт. 351.



Такимъ образомъ, катушка K, при своемъ скольженіи вдоль по желѣзному кольцу въ точкахъ p и p_1, не имѣетъ тока, во всѣхъ же остальныхъ положеніяхъ на обѣихъ половинахъ кольца по ней проходитъ токъ; точки, въ которыхъ катушка не имѣетъ тока, носятъ названіе нейтральной зоны.

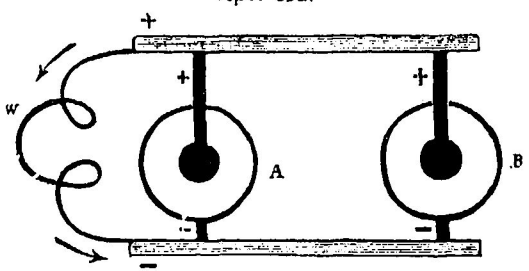
Предположимъ теперь, что все кольцо обвито такими катушками, какъ это показано на черт. 351 въ видѣ ряда оборотовъ, образующихъ замкнутую цѣпь по всему кольцу. Если вся эта обмотка обѣгаетъ вокругъ кольца, то токи, индуктируемые въ верхней половинѣ его, всегда имѣютъ направленіе противоположное направленію въ нижней. Въ мѣстахъ $+p$ и $-p$ эти противоположные токи сходятся.

Но такъ какъ обмотка вполнѣ замкнута, то эти противуположные токи должны вполнѣ уничтожаться, и по обмоткѣ кольца не проходитъ никакого тока. Отъ всѣхъ оборотовъ, находящихся наверху, положительный токъ имѣетъ направленіе къ $+p$ (слѣдовательно, отъ $-p$) и совершенно такъ же отъ всѣхъ оборотовъ, находящихся внизу.

Такую комбинацію токовъ можно получить и иначе. Мѣста $+p$ и $-p$ можно себѣ такъ представлять, какъ это явствуетъ изъ указаній стрѣлками на чертежѣ, а именно, какъ будто постоянно съ обѣихъ половинъ кольца течетъ положительное электричество къ $+p$ и, напротивъ того, съ $-p$ постоянно уходитъ положительное электричество. Поэтому обѣ половины обмотки можно разсматривать, какъ два гальваническихъ элемента, которые оба имѣютъ въ $-p$ свой отрицательный полюсъ и въ $+p$ положительный. Если соединить два гальваническихъ элемента одноименными полюсами, то токи въ нихъ уничтожатся. Но можно, съ другой стороны, какъ это и дѣлается при параллельномъ включеніи двухъ элементовъ, оба соединенные вмѣстѣ положительные полюса и оба соединенные вмѣстѣ отрицательные замкнуть внѣшнею соединительною проволокою. Тогда въ этой внѣшней цѣпи потечетъ токъ отъ одной пары полюсовъ къ другой.

Это соединеніе изображено на черт. 352. Здѣсь A и B изображаютъ два элемента, включенные параллелью, и w изображаетъ внѣшнюю замыкающую цѣпь, по которой и протекаетъ, слѣдовательно, токъ по указанному стрѣлкой направленію. Совершенно то же самое можно сдѣлать съ Граммовскимъ кольцомъ: стоитъ лишь соединить мѣста $+p$ и $-p$ внѣшнею цѣпью L, черт. 351, и положительный токъ непрерывно пойдетъ по направленію стрѣлокъ.

Черт. 352.

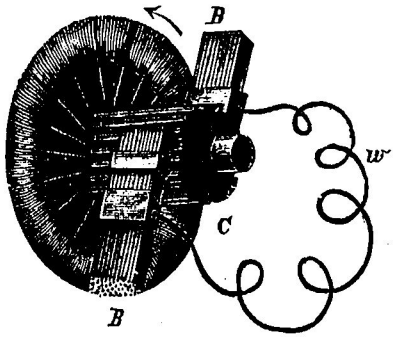


Такимъ образомъ мы имѣемъ простое средство получить во внѣшней цѣпи токъ постояннаго направленія, производимый непрерывнымъ вращеніемъ желѣзнаго кольца, обмотаннаго проволокой.

При практическомъ выполненіи такого кольца Граммъ составилъ обмотку, какъ показываетъ черт. 353, изъ большого числа отдѣльныхъ катушекъ, концы которыхъ шли къ оси и тамъ были присоединены къ мѣднымъ пластинкамъ. Эти пластины всѣ были изолированы одна отъ другой, и каждая образовывала собою соединеніе конца одной катушки съ началомъ сосѣдней. Поэтому всегда пластинъ столько же, сколько катушекъ, и всѣ катушки соединены между собою послѣдо-

вательно, такъ что представляютъ собою обмотку все въ одномъ направленіи, вокругъ всего кольца. На тѣ двѣ мѣдныя пластины, которыя соотвѣтствуютъ мѣстамъ $+p$ и $-p$ и которыя, слѣдовательно, лежатъ на перпендикулярѣ къ линіи, соединяющей полюса магнита, нажимаютъ щетки BB, отнимающія токъ и посылающія его во внѣшній проводъ w. Насаженная на ось, часть машины C, состоящая изъ нѣкотораго числа мѣдныхъ пластинъ и, между ними, изолирующихъ слюдяныхъ пластинъ, называется коммутаторомъ, хотя она и не является коммутаторомъ въ собственномъ смыслѣ, или коллекторомъ (собиратель тока). Устройствомъ обмотки изъ большого числа отдѣльныхъ катушекъ, соединенныхъ между собою пластинками коллектора, достигается слѣдующая цѣль. Пусть вся половина кольца обмотана безъ перерыва одною проволокою, и вся вторая половина обмотана такъ же, и пусть концы каждой изъ этихъ обмотокъ ведутся къ двумъ пластинкамъ на коллекторѣ; тогда щетки каждый разъ, когда пластинки при вращеніи кольца подойдутъ подъ нихъ, будутъ собирать съ нихъ токъ и направлять его во внѣшнюю цѣпь. Но очевидно, что при этомъ происходили бы очень длинные перерывы тока. Токъ во внѣшней цѣпи вновь появлялся бы лишь черезъ каждые полъ-оборота кольца. Очевидно, что чѣмъ больше катушекъ, чѣмъ больще пластинъ на коллекторѣ, тѣмъ быстрѣе слѣдуютъ другъ за другомъ отдѣльные токи все одного направленія, и тѣмъ ближе токъ во внѣшней цѣпи по своему характеру къ постоянному.

Черт. 353.



Однако, если при вращеніи якоря по обмоткѣ его и во внѣшней цѣпи идетъ токъ, то это вноситъ измѣненія въ разсмотрѣнный нами случай: токи, текущіе по проволокамъ кольца, по обмоткѣ якоря, создаютъ свое магнитное поле и стремятся намагнитить желѣзное кольцо.

Нетрудно видѣть изъ правила Ампера (стр. 181), что эти токи стремятся создать сѣверный и южный полюса въ точкахъ p_1 и p (см. черт. 350), тогда какъ внѣшнее поле создаетъ полюса въ точкахъ n и s.

Эти оба взаимно перпендикулярныя поля складываются и образуютъ то, что оба полюса кольца нѣсколько сдвигаются по направленію вращенія. Отсюда понятно, что, вслѣдствіе магнитнаго дѣйствія якорнаго тока, вслѣдствіе такъ называемой реакціи якоря, точки безразличія не остаются въ дѣйствительности на перпендикулярѣ къ

первоначальнымъ силовымъ линіямъ, т. е. въ p и p_1, но тоже перемѣщаются на нѣкоторый уголъ по направленію вращенія кольца. Итакъ, точки безразличія на кольцѣ, въ которыхъ токъ перемѣняетъ направленіе, вслѣдствіе реакціи якоря смѣщаются нѣсколько по направленію вращенія, и потому не слѣдуетъ устанавливать щетки на перпендикулярѣ къ линіи, соединяющей индуктирующіе полюса, но ихъ нужно немного смѣстить съ этихъ положеній по направленію вращенія. Насколько ихъ нужно смѣстить — это зависитъ отъ отношенія между прямымъ магнитнымъ дѣйствіемъ индуктирующихъ магнитовъ и магнитнымъ дѣйствіемъ якорнаго тока, а потому величина смѣщенія измѣняется съ силою тока.

Примѣненіе кольца въ качествѣ якоря позволяетъ, слѣдовательно, непосредственно получать индукціонные токи неизмѣннаго, всегда сохраняющагося направленія, т. е. постоянный токъ.

Изобрѣтеніе Граммовскаго кольца было важнымъ моментомъ въ развитіи электротехники.

Но еще болѣе важнымъ моментомъ было слѣдующее изобрѣтеніе.

Въ качествѣ индукторовъ для такихъ машинъ берутъ обыкновенно электромагниты, такъ какъ они обладаютъ сильнымъ магнитизмомъ. Но тутъ немедленно возникъ слѣдующій важный вопросъ. Вѣдь для того, чтобы создать магнитизмъ въ электро-магнитѣ, нужно уже имѣть токъ, который проходилъ бы вокругъ сердечника электромагнита. Слѣдуетъ ли взять этотъ токъ отъ какого-нибудь внѣшняго источника, напримѣръ отъ батареи, или же можно прямо воспользоваться токомъ, возбуждающимся въ якорѣ, для того, чтобы намагнитить индукторы?

Уже самая постановка этого вопроса была дѣломъ огромной важности, успѣшное же рѣшеніе его является однимъ изъ важнѣйшихъ пріобрѣтеній, которымъ техника обязана генію Вернера Сименса. Онъ поставилъ этотъ вопросъ и тотчасъ же разрѣшилъ его въ 1867 г.

Онъ разсуждалъ такъ. Вмѣсто того, чтобы возбуждать электромагниты посредствомъ вспомогательнаго источника, можно возбуждать ихъ токомъ отъ самой же машины. Разъ уже возбужденъ токъ въ якорѣ, нужно лишь соотвѣтственнымъ образомъ пропустить его по обмоткамъ индукторовъ, чтобы значительно увеличить ихъ силу. Или, идемъ еще далѣе, такъ какъ всякій кусокъ желѣза всегда немного магнитенъ, вслѣдствіе вліянія земного магнитизма, то, въ качествѣ индуктора, достаточно взять подковообразный кусокъ мягкаго желѣза и вокругъ него пропустить токъ отъ якоря, чтобы сдѣлать изъ него сильный магнитъ и тѣмъ самымъ значительно увеличить силу тока

въ якорѣ. Это и представляетъ собою знаменитый принципъ Сименса, принципъ динамомашинъ. По этому принципу, въ его простой или видоизмѣненной формѣ, строятся теперь всѣ новыя машины. Въ такихъ машинахъ, слѣдовательно, съ самаго начала совсѣмъ нѣтъ магнита въ собственномъ смыслѣ этого слова; слабый остаточный магнитизмъ, существующій во всякомъ желѣзномъ сердечникѣ, даетъ возможность машинѣ начать свою работу, и лишь съ ходомъ машины развивается сила магнитовъ и тогда только они уже вліяютъ сильнѣйшимъ образомъ на ея мощность. На томъ именно основаніи, что магнитизмъ играетъ роль промежуточнаго фактора при обращеніи затрачиваемой работы въ электричество, Сименсъ назвалъ эти машины динамомашинами отъ греческаго слова δυναμις — работа, или еще динамоэлектрическими машинами. Въ такой машинѣ пользуются первоначально весьма слабымъ остаточнымъ магнитизмомъ, который имѣется во всякомъ, даже въ самомъ мягкомъ желѣзѣ, и этого достаточно, чтобы при вращеніи якоря на первыхъ же порахъ въ немъ возбудился слабый токъ. Онъ потечетъ вокругъ желѣзныхъ сердечниковъ въ соотвѣтственномъ направленіи, намагничиваетъ ихъ, хотя и очень слабо, а вслѣдствіе этого и самъ усиливается. Итакъ, магнитизмъ все болѣе и болѣе усиливается токомъ, а токъ — магнитизмомъ, пока, наконецъ, магниты не будутъ намагничены до максимума, и тогда машина достигнетъ своей наибольшей мощности.

Техническія конструкціи, позволяющія достичь того, чтобы слѣдствіе и причина взаимно усиливали другъ друга, будутъ всегда геніальными; онѣ развиваютъ высшую степень работоспособности. Это какъ разъ случай динамомашины, электростатической машины, машины Линде для ожиженія воздуха; мы назвали только нѣкоторыя изъ подобныхъ конструкцій.

Черт. 354.

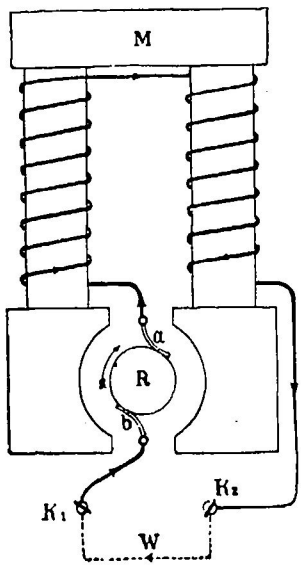


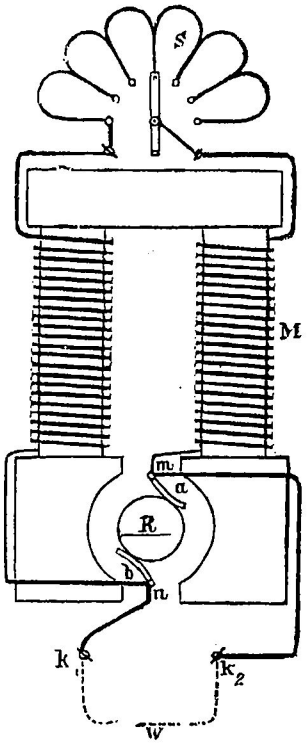
Схема такой динамомашины, построенной по указанному принципу, изображена на чертежѣ 354. *M* — представляетъ собою подковообразный электромагнитъ, охватывающій своими полюсными наконечниками кольцо *R*. Коллекторъ машины не нарисованъ, а щетки изображены на чертежѣ скользящими прямо по кольцу. Внѣшняя цѣпь, по которой проходитъ токъ, возникающій при вращеніи кольца, обозначена черезъ *w*.

Выйдя изъ якоря черезъ щетку *a*, токъ послѣдовательно побѣжитъ по обмоткѣ обоихъ полюсовъ электромагнита и отсюда

направляется къ полюсному зажиму K_2, откуда черезъ внѣшнюю цѣпь w возвращается къ другому зажиму K_1 и черезъ щетку b обратно въ кольцо. Якорь, электромагнитъ и внѣшній проводъ образуютъ такимъ образомъ одну, неразвѣтвленную цѣпь: они включены послѣдовательно. При этомъ всегда обѣ половины обмотки якоря включены параллельно другъ другу, такъ что въ каждой половинѣ проходитъ токъ вдвое болѣе слабый, чѣмъ во внѣшней цѣпи. Эти машины называются машинами съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ (соединеніемъ).

Но можно принципъ динамомашины примѣнить въ другой формѣ, а именно: токъ, который выходитъ съ проволокъ якоря, можно направить почти цѣликомъ во внѣшнюю цѣпь, а въ обмотку электромагнитовъ послать лишь небольшую часть его. Такая схема показана на черт. 355. Здѣсь токъ, выходящій изъ якоря R по щеткамъ a и b, дѣлится въ m и n и идетъ частью во внѣшнюю цѣпь w, а частью черезъ многочисленные витки обмотки магнита M. Машины съ такимъ соединеніемъ называются машинами съ параллельнымъ возбужденіемъ или шунтъ-машинами (отъ англійскаго слова shunt, означающаго отвѣтвленіе). Въ обмотку магнитовъ обыкновенно включаютъ еще перемѣнное сопротивленіе S (регулирующій реостатъ), чтобы измѣнять, смотря по надобности, силу намагничивающаго тока. Устройство этого прибора ясно изъ самаго чертежа.

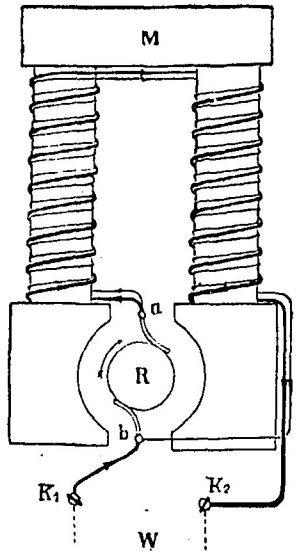
Черт. 355.



Это схема очень выгодна; она особенно предпочтительна въ томъ случаѣ, когда сопротивленіе внѣшней цѣпи не остается неизмѣннымъ, но мѣняется; этотъ случай обыкновенно и представляется при пользованіи динамомашинами. Поэтому болѣе 90% всѣхъ динамомашинъ строятся теперь, какъ шунтовыя.

Третій способъ соединеній, который во многихъ случаяхъ примѣняется съ большою выгодою, называется смѣшаннымъ соединеніемъ (возбужденіемъ) или соединеніемъ компаундъ. Онъ заключается въ томъ, что магниты возбуждаются какъ токомъ главнымъ, такъ и проходящимъ въ отвѣтвленіи. Машины съ такимъ соединеніемъ называются машинами компаундъ. Ихъ схема представлена на черт. 356. Отъ якоря R, со щетокъ, идетъ главный токъ (путь его начер-

Черт. 356.



ченъ толстою чертой), обходитъ магниты M и проходитъ внѣшнее сопротивленіе w; но кромѣ него отъ a и b отвѣтвляется еще токъ (путь его начерченъ тонкою линіей), который идетъ исключительно вокругъ магнитовъ по большому числу витковъ. Преимущества этого соединенія будутъ объяснены позже.

Само собою разумѣется, что магниты динамомашины могутъ быть возбуждаемы и токомъ не отъ самой динамомашины, но отъ другого генератора. Тогда машина называется машиной съ независимымъ возбужденіемъ, въ противоположность собственно динамомашинамъ, которыя называютъ машинами съ самовозбужденіемъ.

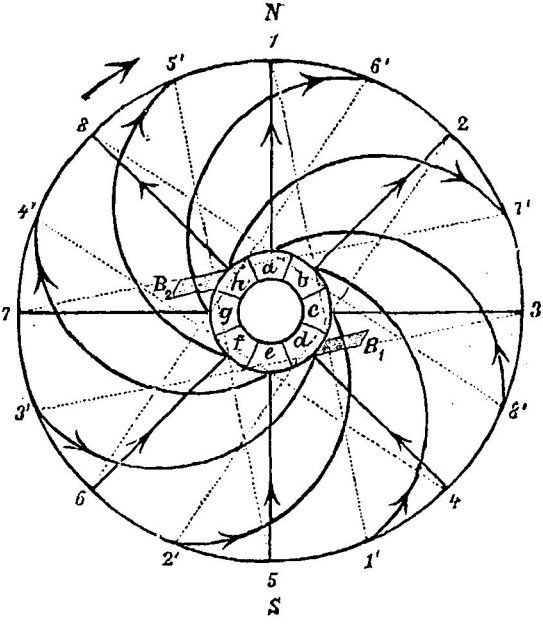
Граммовское кольцо было первой формой якоря, давшей возможностьполучать постоянный токъ отъ магнитоэлектрической или динамомашины безъ употребленія спеціальнаго коммутатора. Кромѣ того, эта форма якоря дала возможность вращать обмотку его очень близко къ полюсамъ индукторовъ и вслѣдствіе этого получать очень сильную индукцію. Но кольцевая форма якоря имѣетъ одинъ большой недостатокъ. Въ частяхъ проводовъ, пролегающихъ внутри кольца, не индуктируются токи, а потому части эти, не содѣйствуя возбужденію токовъ, представляютъ изъ себя вредное сопротивленіе. Кромѣ того, очень трудно и кропотливо обматывать кольцо проволокой. Вслѣдствіе этого стали придумывать другую форму якоря, которая, не обладая недостатками граммовскаго кольца, сохранила бы всѣ его преимущества и давала бы возможность получать постоянный токъ также безъ спеціальныхъ коммутаторовъ; и дѣйствительно вскорѣ послѣ этого Гефнеръ-Альтенекъ нашелъ новый способъ наматывать проволоку на цилиндръ такъ, что она, какъ и въ случаѣ кольца, можетъ быть включена въ видѣ двухъ параллельныхъ другъ другу половинъ.

Якорь, устроенный Гефнеръ-Альтенекомъ, представляетъ собой желѣзный цилиндръ и называется барабаннымъ. Обмотка цилиндра, какъ и обмотка кольцевого якоря, состоитъ изъ ряда проволочныхъ катушекъ; каждая катушка наматывается вдоль боковой поверхности цилиндра, проходя по одному изъ его основаній. У другого же основанія на ось цилиндра также насаживается коллекторъ, на которомъ соединяются концы отдѣльныхъ катушекъ.

При этомъ самую систему обмотки можно выполнить различными способами. Наиболѣе наглядною и простою является схема сое-

диненій, изображенная на черт. 357. Здѣсь мы разсматриваемъ барабанъ спереди, какъ онъ представляется, если смотрѣть на него со стороны коллектора; пусть на немъ намотано восемь витковъ. Такъ какъ каждый витокъ проходитъ два раза вдоль цилиндра, то поверхность послѣдняго покрыта 16-ью проволоками. Точки, обозначенныя числами $1, 2 \ldots 8, 1', 2' \ldots 8'$, представляютъ мѣста, гдѣ эти 16 проволокъ выступаютъ на лобовую поверхность, т. е. на переднюю сторону барабана, гдѣ расположенъ коллекторъ. При этомъ 1 и 1′ принадлежатъ одному и тому же витку, точно такъ же 2 и 2′ и т. д. Сплошныя линіи обозначаютъ расположеніе проводовъ на передней сторонѣ барабана (гдѣ коллекторъ), пунктирныя линіи соотвѣтствуютъ задней сторонѣ. Такъ какъ имѣется 8 отдѣльныхъ витковъ, то и коллекторъ долженъ состоять изъ 8 частей a, b, c до h. Пусть сверху барабана сѣверный полюсъ, въ видѣ сѣвернаго полюснаго наконечника, охватывающаго большую часть барабана, а снизу — южный; барабанъ пусть вращается вправо, по часовой стрѣлкѣ. Тогда по правилу правой руки на верхней сторонѣ барабана всѣ токи идутъ съ лобовой стороны на заднюю, на нижней—наоборотъ, съ задней къ намъ.

Черт. 357.



Раздѣлимъ окружность барабана на 8 участковъ и обозначимъ соотвѣтственныя точки цифрами 1, 2, 3 до 8. Такъ какъ у насъ четное число проводовъ, то оказывается, что пунктъ 5 противолежитъ діаметрально пункту 1. Значитъ другой конецъ витка 1, обозначенный цифрой 1′, мы не можемъ провести черезъ діаметрально противолежащую точку, точку 5. Мы должны сдвинуть его вправо или влѣво. На нашемъ чертежѣ онъ сдвинутъ вправо, въ точку 1′. Начиная отсюда, располагаются точки 2′, 3′ до 8′ въ серединахъ раньше отмѣченныхъ участковъ.

Теперь расположеніе выходитъ очень простымъ. Отправляясь отъ пластины коллектора a, мы по передней поверхности барабана приходимъ въ точку 1, отсюда вдоль по верхней боковой поверхности барабана, а затѣмъ, спустившись нѣсколько наискось по задней поверхности—приходимъ по нижней части барабана въ точку 1′. Далѣе прямо въ слѣдующую по порядку пластину коллектора—b. Отсюда идетъ второй проводъ 2, приводящій черезъ 2′ въ пластину коллектора—c, и т. д., пока мы не вернемся черезъ точку 8′ въ пластину a. Обозначая стрѣлками направленіе тока, мы найдемъ, что къ пластинкѣ d оба примыкающіе къ ней провода (именно отъ 4 и 3′) подводятъ токъ, тогда какъ отъ пластинки h—оба провода (а именно отъ 8 и 7′) отводятъ токъ. Къ этимъ точкамъ, слѣдовательно, и нужно приложить щетки B_1 и B_2.

Выгода барабаннаго якоря заключается главнымъ образомъ въ томъ, что въ немъ почти вся проволока, за исключеніемъ небольшихъ отрѣзковъ, идущихъ по переднему и заднему основаніямъ цилиндра, участвуетъ въ возбужденіи тока. Правда, обмотка его довольно затруднительна, однако ее можно предварительно сдѣлать на шаблонахъ и затѣмъ прямо надвинуть на барабанъ. При этой системѣ удается кромѣ того использовать всю желѣзную массу барабана въ смыслѣ намагничиванія, такъ что теперь машины строятся почти исключительно съ барабанными, а не съ кольцевыми обмотками. За граммовскимъ кольцомъ теперь осталось лишь историческое значеніе.

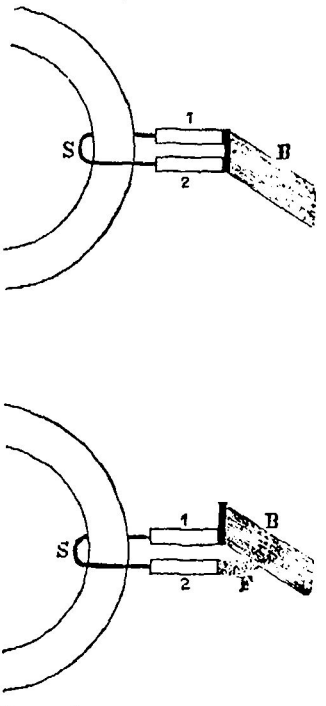
Прежде чѣмъ перейти къ подробному описанію конструкцій отдѣльныхъ машинъ, мы должны разсмотрѣть нѣкоторыя общія особенности динамо-машинъ.

Когда якорь динамомашины вращается въ полѣ магнитовъ, то появляются индуктируемые токи не только въ проволокѣ обмотки, но и въ самомъ желѣзѣ якоря; это такъ называемые токи Фуко или паразитные токи (стр. 254). Эти послѣдніе во всѣхъ отношеніяхъ вредны для дѣйствія динамомашины, ибо, во-первыхъ, на образованіе ихъ требуется затрата нѣкоторой работы; во-вторыхъ, проходя по металлическому тѣлу, они производятъ тепло, и желѣзный якорь нагрѣвается поэтому весьма значительно. Задачею конструктора является, слѣдовательно, по возможности воспрепятствовать появленію этихъ токовъ.

Эти токи всегда направлены по линіи наибольшей индукціи, а такъ какъ по этому же направленію, конечно, укладываются и проволоки, то токи Фуко всегда текутъ параллельно проводамъ обмотки. Если, слѣдовательно, преградить этимъ токамъ путь по металлу якоря, то возникновеніе ихъ затрудняется или даже дѣлается невозможнымъ. По этимъ причинамъ никогда не дѣлаютъ желѣзный сердечникъ якоря

массивнымъ, но всегда подраздѣленнымъ, а именно изъ желѣзныхъ проволокъ, покрытыхъ лакомъ, или чаще изъ жестяныхъ листовъ, также покрытыхъ лакомъ. Въ кольцевыхъ якоряхъ желѣзный сердечникъ дѣлается изъ пучка согнутыхъ въ кольцо желѣзныхъ проволокъ, которыя располагаются плоскостями своихъ круговъ перпендикулярно оси вращенія кольца и, слѣдовательно, исключаютъ металлическій контактъ по направленію индукціонныхъ токовъ. Въ барабанныхъ якоряхъ сердечникъ готовится изъ желѣзныхъ кружковъ, которые также не имѣютъ между собою металлическаго контакта по направленію параллельному оси вращенія. Такимъ образомъ устраняется главный источникъ напрасной затраты энергіи.

Черт. 358.



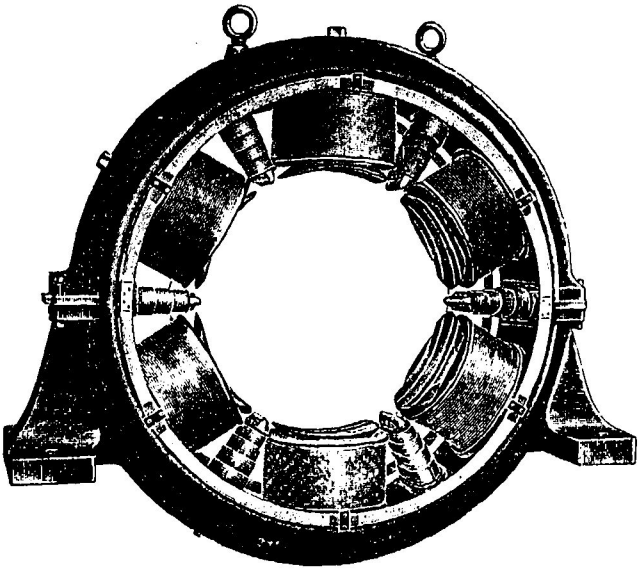
При вращеніи якоря каждая катушка поочередно переходитъ изъ верхней половины поля въ нижнюю. Въ это время токъ въ ней перемѣняетъ направленіе, переходя черезъ нулевое значеніе. Въ моментъ этого обращенія тока въ самихъ катушкахъ возникаютъ сильные экстратоки, а вслѣдствіе этого и индукціонные токи въ сосѣднихъ катушкахъ, и тѣмъ болѣе сильные, чѣмъ сильнѣе токъ, протекающій вообще по оборотамъ кольца и чѣмъ быстрѣе происходитъ перемѣна направленія тока. Разъяснимъ этотъ процессъ подробнѣе. Оба конца каждой катушки присоединены къ двумъ сосѣднимъ пластинамъ коллектора, какъ это изображено на черт. 358 для катушки S, концы которой образуются пластинами 1 и 2. При вращеніи якоря наступаетъ моментъ, когда на мгновеніе объ сосѣднія пластины разомъ оказываются подъ щеткой. Соотвѣтственная катушка является тогда коротко замкнутой. Она находится слѣдовательно въ параллельномъ отвѣтвленіи къ щеткѣ, поэтому по ней проходитъ только часть главнаго тока. Но такъ какъ катушка обладаетъ самоиндукціей, то вслѣдствіе быстрой перемѣны тока въ ней возбуждается замѣтный экстратокъ; этотъ экстратокъ вызываетъ такое высокое напряженія, что, когда щетка покидаетъ пластинку 2, между этой послѣдней и щеткой проскакиваетъ сильная искра. Когда машина пущена въ ходъ, это повторяется у каждой катушки, проходящей подъ щетками, и въ результатѣ между коллекторомъ и щетками безпрерывно проскакиваютъ искры. Машина «искритъ», какъ обыкновенно выражаются. Главною задачей при конструкціи динамомашинъ является

предотвращеніе образованія искръ. Дѣйствительно, если оно не устранено, то, во-первыхъ, происходитъ потеря энергіи, а во-вторыхъ наступаетъ быстрая порча коллектора. Вопросъ заключается главнымъ образомъ въ томъ, чтобы уменьшить интенсивность экстратока въ тотъ моментъ, когда щетка отходитъ отъ катушки, только что бывшей короткозамкнутой. Этому можно уже помочь, взявъ, вмѣсто хорошо проводящихъ мѣдныхъ щетокъ, щетки изъ угля, сопротивленіе котораго больше. Часто можно примѣнить другое средство, заключающееся въ простомъ смѣщеніи щетокъ, а именно, если установить щетки не въ нейтральной зонѣ, а сдвинуть ихъ немного за нее въ сторону вращенія якоря, то вслѣдствіе воздѣйствія магнитнаго поля въ короткозамкнутой катушкѣ возбуждается индукція, которая противодѣйствуетъ экстратоку и ослабляетъ его. Однако опредѣленное смѣщеніе щетокъ помогаетъ только для опредѣленной силы тока въ якорѣ. Если же токъ, который должна доставлять машина, измѣнчивъ, если она должна доставлять токи то большей, то меньшей силы, то при этомъ мѣняется и напряженіе возбужденнаго экстратока, между тѣмъ какъ индукція, возникающая при смѣщеніи щетокъ, остается той же самой (по крайней мѣрѣ въ наиболѣе употребительныхъ, шунтовыхъ машинахъ), и слѣдовательно не можетъ компенсировать экстратокъ всегда, но лишь въ одномъ опредѣленномъ случаѣ.

Въ силу этого обстоятельства найденъ былъ способъ, съ помощью котораго образованіе искръ устраняется совсѣмъ, даже въ самыхъ неблагопріятныхъ случаяхъ, когда машина должна доставлять токъ очень не постоянной силы, или когда значительно измѣняется число оборотовъ и т. под. Этотъ способъ состоитъ въ томъ, что на индукторномъ остовѣ машины въ нейтральной зонѣ устанавливаются еще маленькіе вспомогательные полюса, возбуждаемые главнымъ токомъ. Благодаря этому именно въ мѣстахъ коммутированія возбуждается индукція, которая противодѣйствуетъ экстратоку, и величина которой измѣняется такъ же, какъ и величина экстратока, такъ какъ полюсы эти возбуждаются главнымъ токомъ; такъ что присоединеніемъ этихъ вспомогательныхъ полюсовъ соотвѣтственныхъ размѣровъ можно устранить искрообразованіе, не выводя щетки изъ нейтральной зоны. Такіе вспомогательные полюсы называютъ добавочными или компенсаціонными полюсами. Такъ какъ вспомогательный полюсъ долженъ оказывать то же дѣйствіе, только въ болѣе совершенной формѣ, что и перемѣщеніе щетокъ въ направленіи вращенія машины, то отсюда слѣдуетъ, что каждый вспомогательный полюсъ долженъ быть того же самаго знака, какъ и слѣдующій за нимъ въ направленіи вращенія машины главный полюсъ. Если n и s вспомогательные полюсы, а N и S—главные, то они должны слѣдовать въ такомъ порядкѣ: n, N, s, S. На черт. 359 изображено ярмо индуктора съ расположенными другъ

за другомъ широкими главными и заостренными вспомогательными полюсами. Это остовъ многополюсной (6-полюсной) машины, о которыхъ будетъ вскорѣ говориться.

Черт. 359.



Если машина замкнута на внѣшнюю цѣпь и притомъ якорь ея вращается рукою или помощью парового двигателя, то въ якорѣ, въ обмоткѣ электромагнитовъ и во внѣшней цѣпи появится постоянный токъ. Но мы видѣли на стр. 203, что если вблизи магнита находится проводникъ, по которому течетъ токъ, то магнитъ дѣйствуетъ съ нѣкоторою силою на проводникъ и, vice versa, если проводникъ подвиженъ, то онъ стремится притти въ движеніе подъ дѣйствіемъ этой силы. Такимъ образомъ, вслѣдствіе самаго существованія тока, который образуется во вращающемся якорѣ, въ машинѣ образуется нѣкоторая внутренняя сила, стремящаяся сдвинуть якорь. Эта внутренняя сила стремится вращать якорь въ направленіи обратномъ тому, въ какомъ онъ вращается для возбужденія текущаго по нему тока. Мы знаемъ это уже изъ предыдущихъ общихъ разсужденій, а именно изъ закона Ленца (см. стр. 241), но можемъ убѣдиться еще разъ, если вспомнимъ о тѣхъ слѣдствіяхъ, которыя наступили бы, если бы это было не такъ. Повернемъ якорь машины нѣсколько, напримѣръ, направо: тогда черезъ якорь, обмотки электромагнитовъ и внѣшнюю цѣпь потечетъ токъ извѣстнаго направленія. Если бы возникающая теперь внутренняя сила взаимодѣйствія между магнитами и токомъ стремилась бы вращать якорь въ томъ же направленіи, то якорь самъ по себѣ продолжалъ бы вращаться все въ

томъ же направленіи, въ какомъ мы его начали вращать, токъ продолжалъ бы итти, и машина сама непрерывно продолжала бы свой ходъ тогда какъ мы придали ей лишь слабое движеніе. Такимъ образомъ, у насъ было бы perpetuum mobile, т. е. машина, которая вслѣдствіе одного толчка вѣчно бы продолжала свою работу сама по себѣ. Но по законамъ природы такое perpetuum mobile невозможно. Основной законъ природы, законъ сохраненія энергіи, говоритъ намъ, что ни отъ какой машины нельзя получить большей работы, чѣмъ на нее потрачено, и этимъ прямо доказывается невозможнымъ perpetuum mobile. Отсюда слѣдуетъ, что внутренняя сила, съ которою дѣйствуютъ магниты на токъ въ якорѣ, стремится повернуть якорь обратно, въ направленіи противуположномъ тому движенію, которое мы сообщили якорю извнѣ. Такимъ образомъ, эта внутренняя сила является силой, сопротивляющеюся движенію: вслѣдствіе того, что въ машинѣ течетъ токъ, появляется сила, противящаяся вращенію якоря, и намъ нужно непрерывно затрачивать работу, чтобы побѣждать это сопротивленіе. Такимъ образомъ, помощью динамоэлектрическихъ машинъ механическая работа непосредственно обращается въ электрическую энергію. Что на образованіе электрическаго тока въ подобной машинѣ потребна работа, и значительная работа,—въ этомъ можно легко убѣдиться прямымъ опытомъ на каждой небольшой машинѣ, которую можно вращать рукой. Пока зажимы машины не соединены внѣшней цѣпью, и, такимъ образомъ, не можетъ протекать никакого тока, машину довольно легко привести въ движеніе и поддерживать его. Но какъ только замкнуть цѣпь, появится токъ и возникнетъ сопротивляющаяся сила, машина пойдетъ съ большимъ трудомъ и придется затрачивать значительную работу, чтобы поддерживать ея вращеніе.

Теперь мы обращаемся къ разсмотрѣнію силы тока и электродвижущей силы.

Во всякой магнито- или динамо-электрической машинѣ электродвижущая сила, возникающая въ якорѣ при вращеніи его, прямо зависитъ отъ числа силовыхъ линій, пересѣкаемыхъ въ секунду всѣми витками обмотки якоря. Значитъ, она прежде всего зависитъ отъ силы магнитнаго поля; чѣмъ сильнѣе это послѣднее, тѣмъ больше и электродвижущая сила. Далѣе она зависитъ еще отъ того, какое положеніе занимаетъ сердечникъ якоря относительно полюсовъ магнита. Чѣмъ якорь ближе къ нимъ, чѣмъ лучше и сильнѣе дѣйствуетъ на него магнитная индукція, тѣмъ больше возникающая электродвижущая сила. Еще зависитъ электродвижущая сила отъ скорости вращенія якоря. Чѣмъ онъ скорѣе вращается, тѣмъ въ болѣе короткій промежутокъ времени возникаютъ индуктируемые токи, и тѣмъ больше ихъ электродвижущая сила. При всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ

электродвижущая сила такой машины прямо пропорціональна числу оборотовъ якоря (въ одну минуту, напримѣръ). Наконецъ, электродвижущая сила зависитъ еще, и въ значительной степени, отъ числа витковъ проволоки на якорномъ сердечникѣ, такъ какъ при пересѣченіи силовыхъ линій въ каждомъ виткѣ индуктируется электродвижущая сила. Электродвижущая сила прямо пропорціональна числу витковъ на якорѣ. Кольцо, обмотанное 1000 витками проволоки, производитъ при прочихъ равныхъ условіяхъ въ 2 раза большую электродвижущую силу, чѣмъ кольцо съ 500 витками.

Такимъ образомъ, говоря вообще, возможно съ каждой машиной опредѣленнаго вида (опредѣленнаго типа) получить какую угодно электродвижущую силу, измѣняя число витковъ проволоки на якорѣ и скорость вращенія его.

Но слѣдуетъ отмѣтить существенное различіе между магнитоэлектрическими или динамомашинами съ независимымъ возбужденіемъ и динамомашинами съ самовозбужденіемъ.

Возьмемъ сначала магнитоэлектрическія машины или динамомашины съ независимымъ возбужденіемъ. Магнитизмъ ихъ остается неизмѣннымъ, а потому электродвижущая сила зависитъ лишь отъ напряженности ихъ намагниченія, скорости вращенія якоря, числа витковъ его обмотки и его положенія относительно полюсовъ, но не зависитъ отъ внѣшняго сопротивленія. Въ машинѣ данной конструкціи, при данной скорости вращенія якоря, электродвижущая сила постоянно одна и та же, какъ бы мало или велико ни было сопротивленіе внѣшней цѣпи.

Электродвижущая сила доставляетъ токъ по всей цѣпи, внѣшней и внутренней. Часть этой электродвижущей силы служитъ для того, чтобы преодолѣть внутреннее сопротивленіе, остальная часть идетъ на внѣшнее сопротивленіе. Значитъ, у зажимовъ машины, къ которымъ примыкаетъ внѣшнее сопротивленіе, напряженіе меньше, чѣмъ полная электродвижущая сила, такъ какъ оно таково, чтобы преодолѣть одно лишь внѣшнее сопротивленіе. Это напряженіе называется напряженіемъ у зажимовъ машины. Вспомнимъ введенное нами раньше на стр. 77 понятіе о потерѣ напряженія. Потеря напряженія вдоль проводника заданнаго сопротивленія всегда равна произведенію силы тока на величину сопротивленія. Электродвижущая сила машины идетъ на преодолѣніе сопротивленій какъ внѣшняго, такъ и внутренняго. Слѣдовательно, электродвижущая сила равна потерѣ напряженія на всемъ пути вдоль внѣшняго сопротивленія, сложенной съ потерей напряженія вдоль внутренняго сопротивленія. Напряженіе же у зажимовъ имѣетъ задачею преодолѣть только внѣшнее сопротивленіе; слѣдовательно оно должно быть равно одной потерѣ напряженія вдоль внѣшней цѣпи. Отсюда слѣдуетъ, что напряженіе у зажимовъ меньше

электродвижущей силы на величину потери напряженія вдоль внутренняго сопротивленія.

Электродвижущая сила = напряженіе у зажимовъ + потеря напряженія вдоль внутренняго сопротивленія.

Въ магнитоэлектрической машинѣ является независимой отъ внѣшняго сопротивленія полная электродвижущая сила, но не напряженіе у зажимовъ. Если машина не замкнута, т. е. внѣшнее сопротивленіе между зажимами безконечно велико, тогда напряженіе у зажимовъ равно электродвижущей силѣ; а такъ какъ при незамкнутой машинѣ нѣтъ вообще никакого тока, то, слѣдовательно, потеря напряженія внутри машины равна нулю. Если, наоборотъ, зажимы соединены какимъ-нибудь очень небольшимъ сопротивленіемъ, то напряженіе у зажимовъ весьма мало, такъ какъ тогда токъ очень силенъ, а, слѣдовательно, и потеря напряженія внутри машины очень велика. Напряженіе у зажимовъ всегда равно произведенію внѣшняго сопротивленія на силу тока.

Совсѣмъ иначе дѣло обстоитъ съ динамомашинами, обладающими самовозбужденіемъ, въ которыхъ токъ отъ машины самъ возбуждаетъ магниты. Въ нихъ сила магнитовъ не остается неизмѣнной, заданной разъ навсегда, но зависитъ отъ силы тока, протекающаго по всей цѣпи, а слѣдовательно и отъ внѣшняго сопротивленія; но вѣдь отъ силы магнитовъ зависитъ и электродвижущая сила индукціонныхъ токовъ. Поэтому въ динамомашинахъ электродвижущая сила существенно зависитъ отъ величины внѣшняго сопротивленія; при всякомъ измѣненіи внѣшняго сопротивленія непремѣнно мѣняется и электродвижущая сила. Если, напримѣръ, внѣшнее сопротивленіе увеличить, то, во-первыхъ, токъ уменьшится, вслѣдствіе чего въ машинѣ съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ магниты станутъ слабѣе, а слѣдовательно, электродвижущая сила уменьшится. Это обстоятельство еще уменьшитъ силу тока по всей цѣпи. Такимъ образомъ динамомашины весьма чувствительны къ измѣненіямъ сопротивленія внѣшней цѣпи въ смыслѣ электродвижущей силы, возникающей въ нихъ.

Для характеристики машины весьма существенно знать, какъ зависитъ отъ внѣшняго сопротивленія напряженіе у зажимовъ (разность напряженій у обоихъ полюсныхъ зажимовъ) и сила тока. Именно въ этомъ отношеніи играетъ существенную роль способъ включенія динамомашинъ, о которыхъ мы будемъ говорить позднѣе.

Лишь постепенно, путемъ цѣлаго ряда теоретическихъ и опытныхъ изслѣдованій, были, наконецъ, выработаны основныя правила конструкціи машинъ, которыя позволили значительно усовершенствовать ихъ.

Очевидно, во-первыхъ, что сила тока, производимаго машиною, при равныхъ прочихъ условіяхъ зависитъ отъ напряженности магнит-

наго поля, въ которомъ вращается якорь, арматура. Отсюда вытекаетъ необходимость по возможности увеличить силу этого поля. Вотъ почему во всѣхъ конструкціяхъ главнѣйшее вниманіе обращается на устройство магнитныхъ частей машины. Для усиленія магнитнаго поля, образуемаго магнитными стержнями и намагниченнымъ желѣзнымъ сердечникомъ якоря, необходимо прежде всего (стр. 194) по возможности малое магнитное сопротивленіе. Магнитные полюса сами должны быть какъ можно болѣе массивными, а также и соединяющія ихъ перемычки должны обладать достаточно большимъ сѣченіемъ. Кромѣ того, магнитное сопротивленіе такихъ электромагнитовъ значительно повышается, если между стержнями и перемычками не будетъ достаточно хорошаго соединенія, а останутся воздушные промежутки. По этой послѣдней причинѣ въ настоящее время часто всѣ желѣзныя части магнитовъ дѣлаютъ изъ одного куска стали или чугуна. При употребленіи же кованнаго желѣза обращаютъ особенное вниманіе на то, чтобы всѣ части магнитовъ были хорошо пригнаны одна къ другой и свинчены. Якорь долженъ имѣть тоже достаточную толщину, чтобы онъ могъ стать сильно намагниченнымъ. Но, какъ мы видѣли, сердечникъ якоря долженъ быть сдѣланъ не изъ одного куска, чтобы не было сильныхъ токовъ Фуко. Онъ долженъ быть, наоборотъ, подраздѣленъ на много частей и потому обыкновенно собирается изъ желѣзныхъ проволокъ, полосъ или пластинокъ, покрытыхъ лакомъ. Якорь готовится обыкновенно изъ лучшихъ сортовъ сильно магнитнаго ковкаго желѣза; магнитныя же части—изъ литой стали или изъ литого желѣза, такъ какъ послѣднее дешевле, причемъ въ послѣднемъ случаѣ всѣ размѣры должны быть значительно увеличены, если мы желаемъ получить ту же мощность. Наконецъ, для усиленія магнитнаго поля необходимо по возможности уменьшить промежутокъ между желѣзомъ магнитовъ и желѣзомъ якоря.

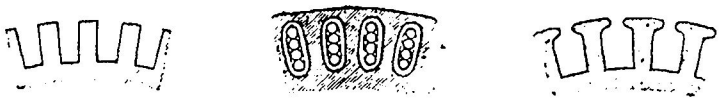
Черт. 360.



Однако, если мы наматываемъ проволоки поверхъ якоря, какъ это изображено на черт. 360, то тѣмъ самымъ увеличивается междужелѣзное пространство, такъ какъ эти проволоки требуютъ мѣста, кромѣ необходимаго и безъ того свободнаго пространства, которое должно быть оставлено между якоремъ и магнитами для безпрепятственнаго вращенія перваго. Поэтому стали избѣгать употребленія гладкихъ якорей. По большей части теперь строятъ якорь или зубчатый, или якорь съ желобами, въ которые и укладываются провода. Чертежъ 361 изображаетъ подобную зубчатую арматуру. Строятъ даже такіе якори, въ которыхъ проволока продѣвается черезъ дырки, продѣланныя въ желѣзѣ. Такой дырчатый якорь изображенъ на черт. 362. Однако выгоднѣе не закрывать верхнюю часть гнѣзда, какъ на

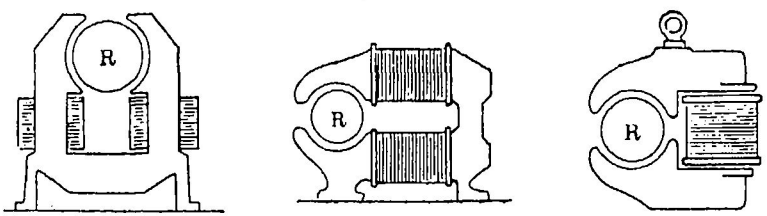
черт. 363. Подобныя арматуры чаще всего употребляются. Для возможно болѣе полнаго использованія машины необходимо еще, чтобы возникшія магнитныя силовыя линіи обладали возможно меньшимъ

Черт. 361. Черт. 362. Черт. 363.



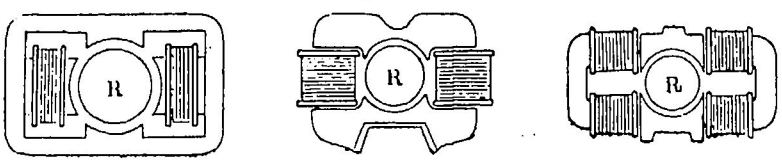
разсѣяніемъ, чтобы онѣ, слѣдовательно, возможно полнѣе проходили черезъ якорь. Для достиженія этого придавали магнитамъ различныя формы; нѣкоторыя изъ нихъ представлены на черт. 364 и 365. Въ

Черт. 364.



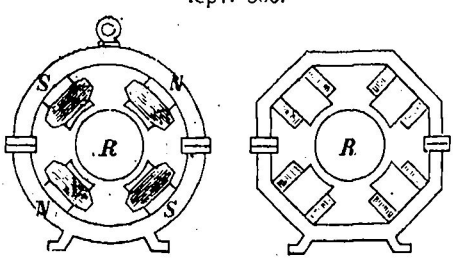
машинахъ на черт. 364 магнитныя части имѣютъ форму подковы, поставленной стоймя, или положенной; на черт. 365 желѣзныя части замкнуты кольцомъ. Послѣдняя форма оказалась самой лучшей.

Черт. 365.



При такой кольцевой формѣ вмѣсто двухъ только полюсовъ можно сдѣлать ихъ въ любомъ числѣ, чѣмъ и отличаются между собою четырехполюсныя, шестиполюсныя и т. д., вообще, многополюсныя (мультиполярныя) машины. Черт. 366 даетъ схему двухъ такихъ четырехполюсныхъ машинъ, въ которыхъ по кольцевому остову расположены попеременно сѣверные и южные полюса, индуктирующіе на якорь, находящійся внутри кольца. Посрединѣ между двумя полюсами лежитъ нейтральная линія (полоса). Вѣрнѣе, какъ мы видѣли, не посрединѣ; она

Черт. 366.

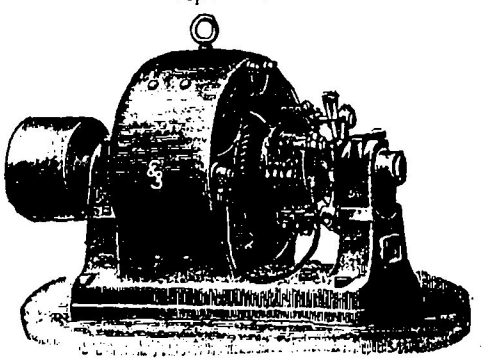


сдвинута нѣсколько въ сторону вращенія. Такимъ образомъ, у 4-хполюсной машины имѣются 4 полосы безразличія (см. черт. 366), къ которымъ приложены 4 щетки; у шестиполюсной машины—6 щетокъ и т. д. Щетки соотвѣтственныхъ полюсовъ прямо соединяются между собой, иногда послѣдовательно, но чаще параллельно, и отъ свободныхъ концовъ щетокъ во внѣшнюю цѣпь отводится токъ.

Вообще въ настоящее время большая часть заводовъ перешла къ типу кольцевыхъ машинъ съ двумя или больше полюсами. Черт. 359 изображалъ магнитный остовъ шестиполюсной машины съ вспомогательными полюсами. Машины обыкновенно характеризуются по числу доставляемыхъ ими киловаттъ, причемъ 1 киловаттъ (стр. 128) равенъ приблизительно 1,36 лошадиной силы. Обыкновенно машины до 10—15 киловаттъ строятся съ 2 полюсами, отъ 15 до 120—съ четырьмя, отъ 120 до 300—съ шестью и т. д. Само собою разумѣется, что для предѣльнаго въ каждомъ типѣ числа киловаттъ можно съ одинаковымъ успѣхомъ взять любой изъ сосѣднихъ типовъ.

Чтобы удерживать въ извѣстныхъ небольшихъ предѣлахъ нагрѣваніе проводовъ вслѣдствіе выдѣленія джоулевой теплоты, толщина проводовъ выбирается такимъ образомъ, чтобы амперъ приходился на $^1/_2$ кв. миллиметра лучшей мѣдной проволоки. Зная силу тока, требуемаго отъ машины, можно слѣдовательно вычислить толщину проволокъ или стержней, которые должны быть помѣщены на якорѣ. Нагрѣваніе проволокъ токомъ уменьшается благодаря воздушнымъ теченіямъ, возникающимъ при дѣйствіи машины. Но во многихъ случаяхъ, когда, напримѣръ, въ помѣщеніи, гдѣ поставлена машина, находятся вредные пары кислотъ, или когда въ нее могутъ проникнуть пыль и грязь, приходится совершенно закрывать ее, заключить въ кожухъ. Въ такомъ случаѣ нагрѣваніе машины при прочихъ равныхъ условіяхъ, конечно, больше, или лучше сказать, такія машины, заключенныя въ кожухъ, можно употреблять при той же величинѣ ихъ лишь для токовъ меньшей силы. Теперь инженеръ можетъ точно вычислить заранѣе всѣ детали конструкціи, если ему напередъ заданы напряженіе и сила тока, которыя должна давать машина, и съ одинаковой легкостью можетъ онъ разсчитать машину на 5 вольтъ при 50 амперахъ, какъ и машину на 500 вольтъ при 1000 амперахъ.

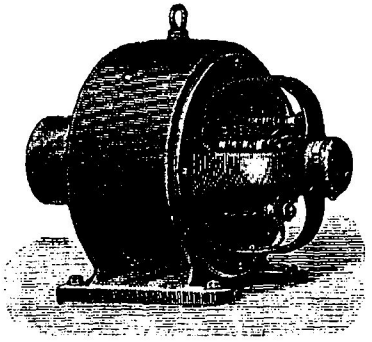
Черт. 367.



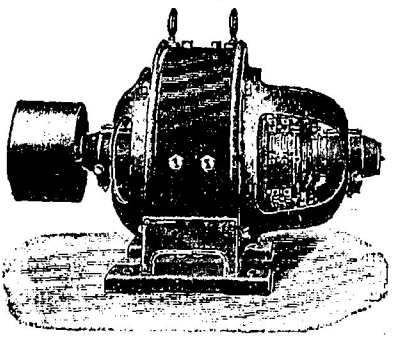
Общій типъ современныхъ динамомашинъ различныхъ заводовъ въ настоящее

время тотъ же самый. Магнитныя части располагаются обыкновенно въ видѣ кольца, полюсы магнитовъ выступаютъ внутрь этого кольца, между ними вращается якорь. Такъ черт. 367 изображаетъ четырехполюсную динамомашину фирмы Сименсъ-Шукертъ; черт. 368 машину, изготовляемую фирмой „Всеобщая Компанія Электричества" (A. E. G.); на черт. 369 изображена машина работы Электротехни-

Черт. 368.

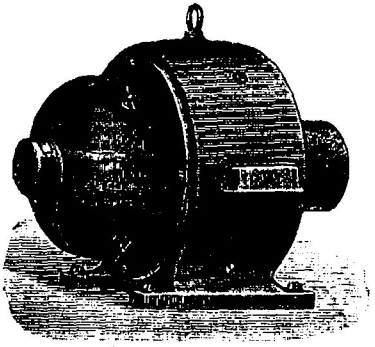


Черт. 369.

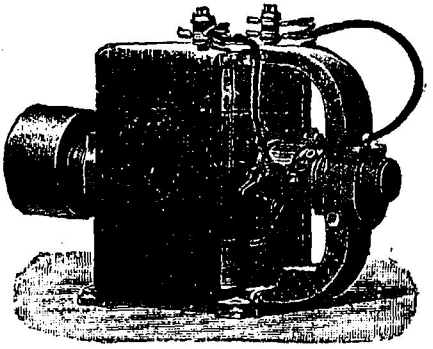


ческихъ заводовъ Бергмана въ Берлинѣ. Въ обѣихъ послѣднихъ машинахъ подшипники для оси снабжены особыми ручками, расположенными крестообразно, которыя предохраняютъ внутреннюю часть машины. Отверстія, остающіяся свободными, могутъ закрываться крышкой; тогда машина будетъ вполнѣ заключена въ кожухъ. Черт. 370 избражаетъ машину фирмы A. E. G., заключенную въ кожухъ.

Черт. 370.



Черт. 371.



Хорошо центрированный якорь (барабанный во всѣхъ машинахъ) находится на оси, подшипники которой придѣлываются къ станинѣ машины. По широкому коллектору скользятъ нѣсколько, отъ 4 до 6, параллельно соединенныхъ щетокъ. Эти машины соединяются обыкновенно посредствомъ ремней съ паровымъ или газовымъ двигателемъ. Машины отъ двухъ и до многихъ сотенъ лошадиныхъ силъ строятся по одному типу независимо отъ величины и могутъ быть примѣняемы

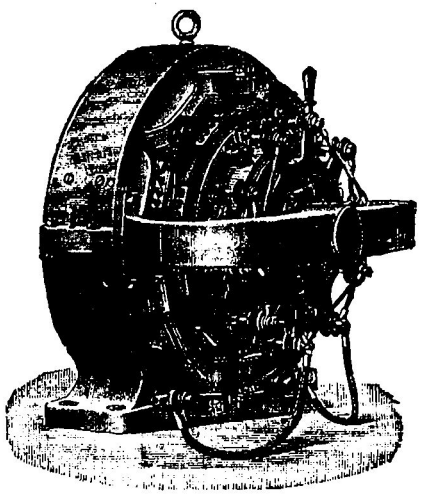
для всѣхъ напряженій до нѣсколькихъ сотъ вольтъ. Машины меньшей величины фирмы Сименсъ-Шукерта дѣлаются двухполюсными; онѣ имѣютъ видъ, изображенный на черт. 371.

Кромѣ вышеназванныхъ самыхъ значительныхъ фабрикъ Германіи машины для постояннаго тока доставляются и другими большими фирмами; но мы здѣсь говорить о нихъ не будемъ, чтобы не входить въ излишнія подробности. Какъ уже было сказано, машины различныхъ фабрикъ отличаются мало какъ по общему строенію, такъ и по деталямъ отдѣльныхъ частей, такъ какъ теоретическія положенія, на основаніи которыхъ онѣ строятся, извѣстны съ большой достовѣрностью.

Чѣмъ больше число лошадиныхъ силъ, которое должна развивать динамомашина, тѣмъ больше, говоря вообще, должны быть ея размѣры. Но подвижной якорь, вращающійся внутри неподвижнаго магнитнаго остова, испытываетъ дѣйствіе центробѣжной силы, возникающей при вращеніи, которая тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость вращенія и чѣмъ больше поперечное сѣченіе якоря. Поэтому для того, чтобы центробѣжная сила не развивалась слишкомъ большой съ увеличеніемъ поперечнаго сѣченія якоря, нужно было уменьшить скорость вращенія машины; при этомъ, чтобы достичь той же высокой электродвижущей силы, нужно было снабдить ее многими полюсами. Такъ образовался типъ большой машины, какъ машины многополюсной съ медленнымъ вращеніемъ, тихоходной.

Тихоходная машина, съ малымъ числомъ оборотовъ, но большого поперечнаго сѣченія, сама по себѣ представляетъ уже большое маховое колесо. Поэтому появилась идея, которая и была использована съ успѣхомъ паровыя машины или газовые двигатели соединять непосредственно съ динамомашиной такъ, чтобы послѣдняя находилась на мѣстѣ махового колеса въ двигателяхъ. Отсюда возникли такъ называемыя пародинамо или динамогенераторы.

Черт. 372.



Такимъ образомъ, большія динамомашины обыкновенно не приводятся въ движеніе паровымъ или газовымъ двигателемъ посредствомъ ремней, но насаживаются непосредственно на ось этихъ двигателей, спариваются съ ними. При извѣстныхъ обстоятельствахъ и небольшія динамомашины присоединяются,

напр. на судахъ, непосредственно къ паровой машинѣ. Черт. 372 изображаетъ такую многополюсную машину, которую можно прямо соединять съ паровымъ двигателемъ или газомоторомъ. Общее устройство ея ясно изъ чертежа. Изображенная машина 12-полюсная, на коллекторѣ ея, слѣдовательно, находятся 12 рядовъ щетокъ. Машина очень плоская, якорь соотвѣтственно очень коротокъ.

Въ этомъ соединеніи двигателя и динамо можно съ полнымъ правомъ усматривать наиболѣе совершенное устройство динамомашинъ, такъ какъ здѣсь, безъ всякой промежуточной части, которая отнимала бы часть энергіи, работа двигателя переводится динамомашиной непосредственно въ электрическую энергію.

Въ послѣдніе годы, съ усовершенствованіемъ паровыхъ туроинъ, открылась новая сторона вопроса. Большія паровыя машины двигаются медленно, такъ что соединенныя съ ними динамомашины должны быть многополюсными, чтобы дать требуемое напряженіе, при этомъ медленномъ вращеніи; паровыя же турбины, наоборотъ, вращаются очень быстро. Онѣ дѣлаютъ не 100—300 оборотовъ въ минуту, какъ паровыя машины, а отъ 1.500 до 3.000 оборотовъ. Динамомашины, соединенныя съ такими турбинами, такъ называемыя турбодинамо, не должны, слѣдовательно, имѣть большое сѣченіе изъ-за центробѣжной силы; ихъ размѣръ въ радіальномъ направленіи долженъ быть не великъ. Для того же, чтобы получить большую электродвижущую силу, динамо удлиняютъ въ направленіи оси, дѣлаютъ длиннымъ ея барабанъ, не увеличивая его поперечныхъ размѣровъ. Благодаря этому, турбодинамо получаютъ нѣсколько другой видъ сравнительно съ пародинамо.

Теперь обратимся къ болѣе подробному разсмотрѣнію различій, существующихъ между машинами съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ, шунтовымимашинами и компаундъ-машинами.

Главное различіе заключается въ томъ, въ какой мѣрѣ у машинъ разнаго типа мѣняется напряженіе у зажимовъ и сила тока въ зависимости отъ измѣненія внѣшняго сопротивленія. Какъ мѣняется напряженіе у зажимовъ и сила тока во внѣшней цѣпи, если мы будемъ мѣнять ея сопротивленіе, начиная съ ничтожно малаго и кончая очень большимъ?

I. Обратимся сначала къ машинѣ съ независимымъ возбужденіемъ, въ которой магниты возбуждаются токомъ, приходящимъ извнѣ, такъ что сила ихъ намагниченія не зависитъ отъ внѣшняго сопротивленія. Въ этомъ случаѣ электродвижущая сила машины (при постоянномъ числѣ оборотовъ) постоянна, какъ бы велико или мало ни было внѣшнее сопротивленіе. Напряженіе же у зажимовъ различно для различныхъ сопротивленій внѣшней цѣпи. Если зажимы соединены чрезъ весьма малое сопротивленіе, то разность ихъ потенціаловъ ничтожна.

Съ увеличеніемъ внѣшняго сопротивленія увеличивается напряженіе у зажимовъ, и при безконечно большомъ сопротивленіи, т. е. при разомкнутой цѣпи, напряженіе у зажимовъ равно полной электродвижущей силѣ машины. Напряженіе у зажимовъ постоянно растетъ съ увеличеніемъ внѣшняго сопротивленія, — сперва быстро, затѣмъ медленнѣе,—и приближается въ предѣлѣ къ нѣкоторой опредѣленной электродвижущей силѣ.

Силу тока въ амперахъ во внѣшней цѣпи легко получить, раздѣливъ напряженіе у зажимовъ на внѣшнее сопротивленіе. Она очень велика при маломъ сопротивленіи, быстро убываетъ съ увеличеніемъ сопротивленія и становится равною 0, когда сопротивленіе безконечно велико. Когда зажимы машины соединены очень малымъ сопротивленіемъ, то говорятъ, что произошло короткое замыканіе. При короткомъ замыканіи сила тока можетъ быть необычайно большой.

2. Обращаемся теперь къ машинѣ, у которой обмотки магнитовъ включены параллельно, т. е. магниты возбуждаются отвѣтвляющимся токомъ. Въ этомъ случаѣ напряженіе у зажимовъ претерпѣваетъ подобныя же измѣненія, какъ въ машинѣ съ независимымъ возбужденіемъ, но въ болѣе значительной степени. Дѣйствительно, если внѣшнее сопротивленіе очень мало, то главная часть тока направляется въ него, и чрезъ отвѣтвленіе, по обмоткѣ электромагнитовъ, идетъ лишь слабый токъ; дѣйствіе магнитовъ становится слабымъ, а слѣдовательно, электродвижущая сила машины уменьшается, и напряженіе у зажимовъ становится также меньше. Если, наоборотъ, внѣшнее сопротивленіе растетъ, то сила магнитовъ увеличивается, такъ какъ все большая часть тока направляется въ электромагниты, и электродвижущая сила машины и напряженіе у зажимовъ растутъ. Здѣсь напряженіе у зажимовъ постоянно увеличивается съ увеличеніемъ внѣшняго сопротивленія, сначала быстро, затѣмъ медленнѣе и, наконецъ, приближается къ постоянному.

Сила тока во внѣшней цѣпи сначала (при маломъ сопротивленіи) мала, потому что магниты едва возбуждаются; затѣмъ она увеличивается съ ростомъ сопротивленія, потому что магниты усиливаются. Здѣсь мы имѣемъ, слѣдовательно, особый случай: сила тока растетъ вмѣстѣ съ сопротивленіемъ, тогда какъ она обыкновенно при этомъ убываетъ. Это происходитъ, конечно, оттого, что магниты возбуждаются при этомъ сильнѣе, и электродвижущая сила машины повышается. Когда же внѣшнее сопротивленіе возрастаетъ еще больше, сила тока опять убываетъ. Сила тока достигаетъ, слѣдовательно, нѣкоторой максимальной величины при нѣкоторомъ опредѣленномъ внѣшнемъ сопротивленіи и затѣмъ, съ увеличеніемъ сопротивленія, уменьшается и становится при очень большемъ сопротивленіи почти равной нулю.

3. Въ-третьихъ, мы разсмотримъ машину съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ. Въ такой машинѣ при маломъ внѣшнемъ сопротивленіи сила тока становится весьма велика; вмѣстѣ съ токомъ растетъ намагничиваніе индукторовъ, а слѣдовательно, растетъ, какъ электродвижущая сила, такъ и напряженіе у зажимовъ. Съ увеличеніемъ сопротивленія напряженіе у зажимовъ сначала растетъ. Но затѣмъ, по мѣрѣ убыванія силы тока, убываетъ магнитный потокъ и электродвижущая сила, а значитъ и напряженіе у зажимовъ, которое у незамкнутой машины равно нулю.

Напряженіе у зажимовъ съ увеличеніемъ внѣшняго сопротивленія сначала немного возрастаетъ, но затѣмъ все время уменьшается. Сила тока убываетъ съ ростомъ сопротивленія быстро и непрерывно.

Такимъ образомъ, въ этомъ случаѣ ходъ измѣненія напряженія у зажимовъ почти что обратный тому, какой имѣетъ мѣсто въ шунтовой динамо. Тамъ напряженіе у зажимовъ, начавшись отъ О, достигаетъ нѣкотораго максимума; здѣсь, напротивъ, начавшись съ максимума, оно падаетъ до О. Поэтому можно наперед сказать, что, если возбуждать магниты и главнымъ токомъ, и токомъ въ отвѣтвленіи, какъ это дѣлается въ машинѣ компаундъ, то можно достигнуть того, чтобы напряженіе у зажимовъ почти совсѣмъ не мѣнялось, какъ бы значительно ни измѣнялось внѣшнее сопротивленіе. Такъ и происходитъ на самомъ дѣлѣ, и именно по этой причинѣ схема машины компаундъ примѣняется въ машинахъ, имѣющихъ опредѣленное назначеніе.

4. Въ компаундъ-динамо можно удачнымъ подборомъ шунтовой и послѣдовательной обмотокъ индукторовъ, вѣрнымъ компаундированіемъ, какъ говорятъ, добиться того, что напряженіе у зажимовъ почти не будетъ зависѣть отъ внѣшняго сопротивленія, т. е. для любыхъ внѣшнихъ сопротивленій остается величиною постоянною. Можно достичь того, чтобы колебанія напряженія у зажимовъ не превосходили $1—2\%$. Само собою разумѣется, что съ возрастаніемъ внѣшняго сопротивленія падаетъ сила тока, разъ напряженіе у зажимовъ остается постояннымъ.

Величиною напряженія у зажимовъ и силою тока опредѣляется въ каждомъ случаѣ электрическій эффектъ, происходящій во внѣшней цѣпи. Именно то, что происходитъ во внѣшней цѣпи, напр., горѣніе лампъ, дѣйствіе электрическихъ двигателей или гальванопластическіе процессы и представляетъ полезную работу динамомашины.

Если помножить напряженіе у зажимовъ, выраженное въ вольтахъ, на силу тока во внѣшней цѣпи, выраженную въ амперахъ, то получимъ внѣшнюю мощность машины въ ваттахъ, а если раздѣлить

число ваттовъ на 736—въ лошадиныхъ силахъ. Въ качествѣ характеристики машины дается обыкновенно нормальное число ея оборотовъ, величина наивысшей допустимой въ этомъ случаѣ силы тока въ амперахъ (при которой нагрѣваніе проводовъ не превышаетъ допустимой величины, около 70° Ц.) и соотвѣтственное напряженіе у зажимовъ въ вольтахъ. Такъ что машина, дающая, напримѣръ, 80 амперъ при напряженіи у зажимовъ въ 110 вольтъ, отдаетъ во внѣшнюю цѣпь мощность равную 8800 ваттъ или 12 лошад. силамъ. Конечно, эта внѣшняя полезная мощность развивается на счетъ источника механической энергіи (парового двигателя, газоваго двигателя, турбины) и переносится съ двигателя на динамомашину при помощи ремней, зубчатыхъ колесъ и т. п.; но кромѣ того тотъ же источникъ расходуетъ еще энергію, идущую на покрытіе тепловыхъ эффектовъ внутри динамо, производимыхъ токомъ въ якорѣ и въ обмоткахъ индуктора. Цѣлью хорошей машинной конструкціи является возможное уменьшеніе этой именно непроизводительной траты энергіи для того, чтобы по возможности большая часть расходуемой двигателемъ механической работы превращалась въ полезную работу во внѣшней цѣпи. Отношеніе внѣшней полезной мощности динамомашины къ полной электрической мощности (мощности внутри машины вмѣстѣ съ мощностью во внѣшней цѣпи) называется электрическимъ коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія машины и выражается въ $^0/_0$. Это отношеніе достигаетъ у большихъ машинъ $96^0/_0$, когда машина работаетъ, какъ говорятъ, при полной нагрузкѣ, т. е. когда токъ во внѣшней цѣпи достигаетъ наибольшей допустимой величины.

Само собою разумѣется, что работа, затрачиваемая въ каждую секунду на приведеніе въ дѣйствіе машины, должна быть еще больше чѣмъ ея полная электрическая мощность. Дѣйствительно, двигатель долженъ, во-первыхъ, преодолѣть механическое треніе въ различныхъ частяхъ машины; во-вторыхъ, довольно значительная часть работы обращается тутъ же въ тепло какъ вслѣдствіе постояннаго перемагничиванія желѣза и происходящаго при этомъ гистерезиса, такъ и вслѣдствіе токовъ Фуко, которыхъ вполнѣ избѣжать нельзя, какъ бы хорошо ни были подраздѣлены металлическія массы. Коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія машины называютъ отношеніе:

$$\frac{\text{электрическая мощность во внѣшней цѣпи}}{\text{вся затраченная мощность}}$$

Эта величина имѣетъ очень важное значеніе для сужденія о машинѣ. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія хорошо построенныхъ динамомашинъ составляетъ $75—80^0/_0$ для небольшихъ быстро вращающихся машинъ, но поднимается до $95^0/_0$ въ большихъ тихоходныхъ машинахъ.

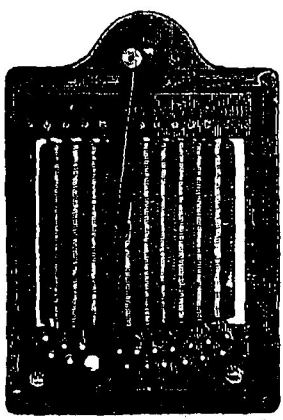
На шунтовыя динамо спросъ на практикѣ оказался гораздо большимъ, чѣмъ на машины съ послѣдовательнымъ соединеніемъ и ком-

паундъ-машины. Машины перваго рода, т. е. съ отвѣтвленіемъ, отлично примѣнимы почти для всѣхъ цѣлей—для освѣщенія, распредѣленія работы и въ электрохимическихъ мастерскихъ — вслѣдствіе того, что, помимо прочихъ выгодъ, въ нихъ напряженіе можетъ быть легко регулируемо; поэтому онѣ особенно удобны въ тѣхъ случаяхъ, когда машина не должна постоянно производить одну и ту же работу, но различную, смотря по надобности. Машины съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ, наоборотъ, особенно пригодны для тѣхъ случаевъ, когда требуется постоянно одна и та же работа, т. напр., въ случаѣ освѣщенія улицъ дуговыми лампами, гдѣ число горящихъ лампъ постоянно, и потому машина должна всегда производить одно и то же дѣйствіе.

Шунтовыя динамомашины имѣютъ то преимущество предъ динамомашинами съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ, что у нихъ чрезвычайно легко можно измѣнять и регулировать напряженіе у зажимовъ, а слѣдовательно, и силу тока во внѣшней цѣпи; для этого не нужно вводить во внѣшнюю цѣпь безполезныхъ сопротивленій.

Необходимо только ввести въ отвѣтвленіе, дающее токъ къ магнитамъ, регулировочное сопротивленіе, шунтовой регуляторъ, и, такимъ образомъ, получается возможность давать любое значеніе напряженію у зажимовъ. Стоитъ только включить въ обмотку индукторовъ нѣкоторое сопротивленіе, сейчасъ же токъ въ этой обмоткѣ станетъ слабѣе, и вмѣстѣ съ тѣмъ уменьшится напряженіе у зажимовъ. И наоборотъ, стоитъ только выключить нѣкоторое сопротивленіе изъ регулятора, т. е. изъ отвѣтвленія, тотчасъ же токъ въ отвѣтвленіи станетъ сильнѣе, а вслѣдствіе этого возрастетъ и напряженіе у зажимовъ. Такимъ образомъ можно легко измѣнять напряженіе у зажимовъ машины или же можно по желанію поддерживать постоянное напряженіе, каково бы ни было сопротивленіе внѣшней цѣпи машины. Для того, чтобы знать поддерживаемое у зажимовъ напряженіе, съ этими зажимами всегда бываетъ соединенъ измѣритель напряженія, такъ называемый вольтметръ. Включаютъ или выключаютъ сопротивленіе регулятора до тѣхъ поръ, пока вольтметръ не покажетъ желаемаго напряженія.

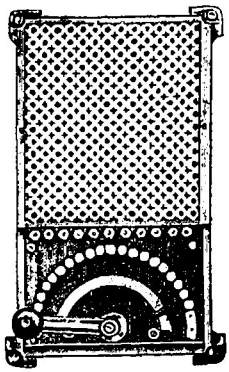
Черт. 373.



Такимъ образомъ, шунтовой регуляторъ состоитъ изъ сопротивленій, которыя могутъ быть легко включаемы въ цѣпь индукторовъ или выключаемы изъ нея. Обыкновенно этотъ регуляторъ состоитъ изъ простого рычажнаго реостата, схематическое

изображеніе котораго дано на черт. 373. Устройство прибора мы уже описали на стр. 99. Одинъ конецъ индукторной обмотки, какъ показано на схемѣ включенія шунтовой машины на черт. 355, стр. 437, соединяется съ зажимомъ E, другой съ зажимомъ A, и черезъ послѣдній съ подвижнымъ рычагомъ. При каждой перестановкѣ рычага въ цѣпь вводится соотвѣтственное сопротивленіе. При постепенномъ перемѣщеніи рычага отъ A къ E въ цѣпь включаются все меньшія сопротивленія. Обыкновенно сопротивленія регулятора заключаются въ ящикъ, на крышкѣ котораго располагаютъ контактныя кнопки и подвижной рычагъ. На черт. 374 показанъ подобный шунтовой регуляторъ работы Сименсъ-Шуккерта. Видны только рычагъ и контактныя пластинки, самыя же сопротивленія помѣщены въ ящикѣ.

Черт. 374.



Для того, чтобы въ каждый данный моментъ можно было простымъ наблюденіемъ узнать напряженіе у зажимовъ машины и соотвѣтственно этому воспользоваться регуляторомъ, съ каждой машиной долженъ быть соединенъ вольтметръ. Точно также можно непосредственно безъ вычисленій узнать силу тока въ главной цѣпи; для чего помѣщаютъ въ эту цѣпь амперметръ. Отъ этихъ техническихъ приборовъ требуется не столько большая точность, сколько возможность непосредственнаго показанія напряженія и силы тока и притомъ силы тока—прямо въ амперахъ, а напряженія—въ вольтахъ. Далѣе, эти приборы должны давать достаточно близкія къ истинѣ показанія даже при очень сильныхъ токахъ и напряженіяхъ и, наконецъ, должны быть независимы отъ того, что въ машинномъ отдѣленіи, гдѣ они обыкновенно помѣщаются, движутся большія желѣзныя массы, напримѣръ, поршни паровыхъ двигателей, или что поблизости находятся сильные магниты, напримѣръ, индукторы самихъ динамомашинъ. Конечно, подобные приборы не могутъ давать одинаково точныхъ показаній по всей своей шкалѣ, на всемъ промежуткѣ между наименьшими и наибольшими силами тока, между наименьшимъ и наивысшимъ напряженіемъ. Наибольшую точность они должны имѣть при той силѣ тока и томъ напряженіи, которыя являются наиболѣе важными для данной установки. Подобные измѣрительные приборы для техническихъ цѣлей имѣются весьма разнообразныхъ конструкцій. Вообще говоря, амперметры и вольтметры имѣютъ одну и ту же конструкцію. Разница заключается въ томъ, что амперметры прямо включаются въ главную цѣпь, и потому въ нихъ обмотка дѣлается изъ толстой проволоки и состоитъ изъ немногихъ витковъ, въ то время какъ вольтметры включаются въ отвѣтвленіе, какъ это уже объяснено на стр. 112, и

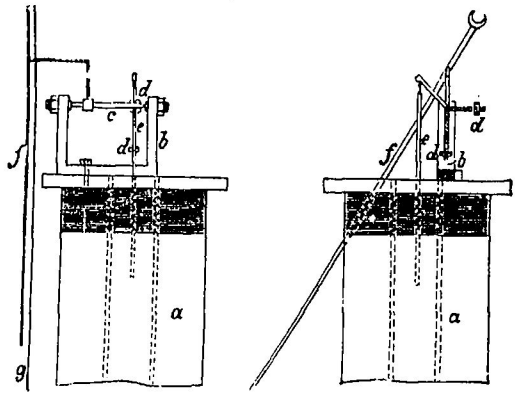
потому они снабжаются обмоткой изъ большого числа витковъ весьма тонкой проволоки. Конструкція измѣрительныхъ приборовъ основана на различныхъ магнитныхъ дѣйствіяхъ электрическаго тока.

Черт. 375.



Такъ напримѣръ, въ вольтметрахъ и амперметрахъ A. E. G. (черт. 375 изображаетъ внѣшній видъ вольтметра), пользуются втягивающимъ дѣйствіемъ катушки, по которой протекаетъ токъ, на желѣзный сердечникъ. На черт. 376 изображено внутреннее устройство этихъ приборовъ. На проволочной катушкѣ a устроена подставка, на которую опирается ось вращенія c ломаннаго рычажка. На этомъ послѣднемъ подвѣшенъ желѣзный сердечникъ e, въ высшей степени легкій, вѣсящій едва 0,04 грамма, втягиваемый токомъ въ катушку съ большею или меньшею силою. При вращеніи оси c — поворачивается и указатель f, двигающійся вдоль шкалы. Подборомъ соотвѣтственной длины желѣзнаго сердечника и подходящаго противовѣса d можно добиться вѣрныхъ показаній указателя для любой шкалы. Приборъ градуируется прямо на амперы или на вольты, смотря по тому, предназначается ли онъ для главной цѣпи или для отвѣтвленія.

Черт. 376.



Подобнымъ же образомъ устраиваются измѣрительные приборы другихъ фирмъ.

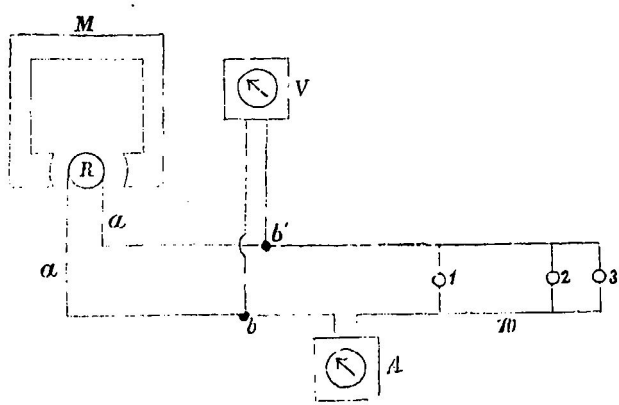
Въ послѣднее время стали примѣнять для техническихъ цѣлей сравнительно очень точные, хотя и болѣе дорогіе, измѣрительные приборы, построенные по принципу гальванометра Депре, въ которомъ (см. стр. 210) катушка, помѣщенная въ сильномъ магнитномъ полѣ, отклоняется, если по ней пропустить токъ. Эти приборы нечувствительны ни къ внѣшнимъ магнитнымъ вліяніямъ, ни къ сильнымъ токамъ, протекающимъ вблизи.

Внутри приборы устроены совершенно такъ же, какъ и ампер-

метръ, описанный на стр. 212. Вольтметры, какъ всегда, включаются въ отвѣтвленіе отъ зажимовъ машины. Амперметръ же включается не прямо въ главную цѣпь, какъ обыкновенно. Къ каждому амперметру въ отвѣтвленіи приключается нѣкоторое опредѣленное, весьма малое, сопротивленіе, которое въ небольшихъ приборахъ помѣщается обыкновенно въ коробку самого прибора. Это малое сопротивленіе включаютъ въ главную цѣпь, измѣрительный же приборъ включаютъ въ отвѣтвленіе отъ концовъ этого сопротивленія. Шкала раздѣлена такимъ образомъ, чтобы прямо показывать въ амперахъ токъ, идущій по главной цѣпи.

Всѣ эти приборы должны быть прежде всего градуированы, т. е. шкала ихъ должна быть выражена въ амперахъ или вольтахъ; для этого чрезъ приборы, включенные прямо или въ отвѣтвленіи, пропускаютъ токи опредѣленной силы и при этомъ наблюдаютъ показанія приборовъ.

Черт. 377.



На черт. 377 показано соединеніе динамомашины съ вольтметромъ, амперметромъ и внѣшнею цѣпью. Отъ якоря R машины M идутъ два провода ab и $a'b'$, которые подходятъ къ двумъ зажимамъ b и b'. Отъ точекъ bb' идутъ провода w, составляющіе главную цѣпь, въ которую включены потребляющіе токъ приборы 1, 2, 3 и т. д. Въ одинъ изъ этихъ проводовъ включенъ амперметръ A. Вольтметръ же V включенъ въ отвѣтвленіе между этими двумя проводами. При дѣйствительномъ пользованіи динамомашиной этихъ приборовъ недостаточно; употребляются еще выключатели, предохранители, но о нихъ мы будемъ говорить впослѣдствіи.

ГЛАВА II.

Динамомашины перемѣннаго и многофазнаго тока.

Долгое время въ электротехникѣ главную роль играли машины постояннаго тока. Перемѣнные токи, которые, вѣдь, получаются при перемѣнной индукціи прежде всего, были вначалѣ мало примѣнимыми, такъ какъ совершенно не были научно изслѣдованы ихъ особенности, которыя весьма существенно отличаютъ ихъ отъ тока постояннаго.

Теперь все это стало совершенно иначе. Перемѣнные токи, и въ особенности комбинація нѣсколькихъ перемѣнныхъ токовъ, такъ называемый трехфазный токъ, имѣютъ въ настоящее время для техники большее значеніе, нежели токъ постоянный, благодаря замѣчательной простотѣ и дешевизнѣ, съ которою удается при помощи этихъ токовъ передавать электрическую энергію на большія разстоянія и распредѣлять ее. Этими преимуществами постоянный токъ не обладаетъ. Вотъ на какой особенности основано это обстоятельство.

Передача на большія разстоянія электрической энергіи обходится тѣмъ дороже, чѣмъ сильнѣе передаваемые токи и тѣмъ дешевле, чѣмъ слабѣе токи, но чѣмъ выше зато напряженіе, такъ какъ для сильныхъ токовъ нужны проводы большого поперечнаго сѣченія, то есть нужно много мѣди, тогда какъ для слабыхъ токовъ достаточно малаго сѣченія и, слѣдовательно, мѣди идетъ мало. А мѣдь дорога. Поэтому для передачи электрической энергіи выгодными оказываются токи небольшой силы, но весьма высокаго напряженія. Говоря теоретически, мы можемъ отъ машины любого типа получить токи высокаго напряженія, стоитъ только увеличить число витковъ на якорѣ и число оборотовъ его. Однако практически этого трудно достигнуть у машинъ съ вращающимися арматурами, такъ какъ при этихъ условіяхъ неизбѣжно образуются на коллекторѣ искры. Въ этихъ отношеніяхъ машины перемѣнныхъ токовъ обладаютъ огромными преимуществами. Во-первыхъ, у машинъ перемѣннаго тока вообще нѣтъ коллектора; во-вторыхъ, эти машины конструируются такимъ образомъ, что обмотка высокаго напряженія вообще не вращается. Кромѣ, того пере-

мѣнные токи при помощи трансформаторовъ легко могутъ быть „трансформируемы" съ низкаго напряженія на высокое, равно какъ и обратно съ высокаго на низкое. А это даетъ намъ, во-первыхъ, возможность передавать энергію на разстоянія наиболѣе дешевымъ способомъ и въ то же время имѣть на мѣстѣ потребленія токъ съ напряженіемъ не опаснымъ для жизни. А именно: отъ машинъ перемѣннаго тока получаютъ токъ высокаго напряженія. Его передаютъ на большое разстояніе, и здѣсь трансформируютъ на любое низкое напряженіе. Этого нельзя продѣлать съ постоянными токами, такъ какъ невозможно построить машину постояннаго тока достаточно высокаго напряженія, и далѣе, нѣтъ достаточно удобнаго способа трансформировать постоянный токъ. Сверхъ этого и моторы, при помощи которыхъ можно снова получать механическую энергію, теперь, можно сказать, даже лучше конструируются для перемѣннаго и трехфазнаго, чѣмъ для постояннаго тока. Поэтому теперь чаще стали строить машины перемѣннаго и трехфазнаго тока; часто онѣ достигаютъ колоссальныхъ размѣровъ, и современныя центральныя станціи большихъ городовъ преимущественно пользуются трехфазными токами, благодаря значительной дешевизнѣ эксплоатаціи этихъ токовъ.

Практическое примѣненіе трехфазныхъ токовъ обязано своимъ осуществленіемъ Берлинскому Об-ву A. E. G. и въ особенности его электрику Доливо-Добровольскому и фирмѣ Эрликонъ въ Швейцаріи. Съ 1891 года техника перемѣнныхъ и трехфазныхъ токовъ или, лучше сказать, техника одно и многофазнаго токовъ чрезвычайно развилась и въ настоящее время занимаетъ въ электротехникѣ самое видное мѣсто.

Машина перемѣннаго тока принципіально гораздо проще машины постояннаго тока. Чтобы получить постоянный токъ, Граммъ долженъ былъ изобрѣсти свое кольцо или Гефнеръ Альтенекъ свою барабанную обмотку. Если же взять безъ особыхъ приспособленій нѣсколько катушекъ проволоки (съ желѣзнымъ сердечникомъ или безъ него) и передвигать ихъ передъ рядомъ сѣверныхъ и южныхъ, расположенныхъ попеременно, магнитныхъ полюсовъ, то въ катушкахъ возникнутъ импульсы тока, направленные попеременно въ противоположныя стороны. И нужно лишь соединить подходящимъ образомъ отдѣльныя катушки, чтобы получить одну или нѣсколько цѣпей перемѣннаго тока. Здѣсь нѣтъ надобности, какъ въ машинахъ постояннаго тока, соединять въ одномъ только строго опредѣленномъ порядкѣ извѣстное число катушекъ, намотанныхъ на кольцѣ или на барабанѣ, но можно соединять ихъ различными комбинаціями. Можно всѣ катушки соединить послѣдовательно или параллельно, либо можно составить нѣсколько отдѣльныхъ цѣпей съ одинаковой или различной фазами (см. стр. 286); можно, наконецъ, эти цѣпи опять комбинировать и та-

кимъ образомъ легко получать машины какъ однофазнаго, такъ и многофазнаго токовъ.

Всѣ машины перемѣннаго въ частности трехфазнаго тока состоятъ изъ ряда катушекъ, въ которыхъ индуктируется требуемая электродвижущая сила—система этихъ катушекъ называется *якоремъ* или *арматурой*—и индуктирующихъ магнитовъ; въ роли послѣднихъ употребляются лишь электромагниты, при этомъ у большинства машинъ электромагниты эти питаются постояннымъ токомъ, получаемымъ отъ спеціальной динамомашины, совершенно отдѣленной отъ самой машины перемѣннаго тока. Впрочемъ, часто эта динамо постояннаго тока насаживается на ось главной машины. Можно, однако, поступить и такъ: нѣкоторыя катушки главной машины переключаются на коллекторъ и даютъ, слѣдовательно, выпрямленный токъ, питающій электромагниты. Такія машины носятъ названіе самовозбуждающихся машинъ перемѣннаго тока. Катушки машинъ перемѣннаго тока наматываются на желѣзные сердечники, что сильно повышаетъ взаимную индукцію катушекъ и магнитовъ. Но благодаря непрерывному перемагничиванью, которому подвергаются эти сердечники, проносясь то передъ сѣвернымъ, то передъ южнымъ полюсами, въ нихъ происходитъ сильный нагрѣвъ, обусловленный явленіемъ гистерезиса, разобраннымъ нами раньше. Происходящая отъ этого потеря энергіи будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше перемѣнъ въ 1 сек. даетъ машина. Поэтому, практически, нельзя слишкомъ высоко поднимать число перемѣнъ въ 1 секунду, но приходится держаться въ низкихъ сравнительно предѣлахъ—(50—100 перемѣнъ въ 1 секунду). Само собою разумѣется, что, кромѣ гистерезиса, появляются еще въ катушкахъ токи Фуко, которые однако удается устранить цѣлесообразнымъ подраздѣленіемъ желѣза якоря.

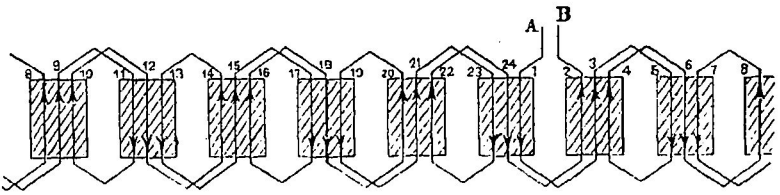
Для машины постояннаго тока общеупотребительнымъ сталъ тотъ типъ, въ которомъ якорь вращается внутри неподвижнаго кольцеобразнаго остова съ его электромагнитами; наоборотъ, для машинъ перемѣннаго тока оказалось выгоднымъ какъ разъ противуположное устройство, при которомъ электромагниты вращаются, а охватывающій ихъ кругомъ якорь закрѣпленъ неподвижно, такъ что токъ отъ якоря ведется съ неподвижныхъ зажимовъ. Неподвижную часть машины перемѣннаго тока называютъ *статоромъ*, а вращающуюся *ротором*ъ.

Въ всякомъ случаѣ отличительной особенностью машинъ перемѣннаго тока по сравненію съ машинами постояннаго тока является то, что у первыхъ нѣтъ никакого коллектора, что представляетъ большія преимущества въ экономическомъ и конструктивномъ отношеніяхъ. Дѣйствительно, коллекторъ въ машинахъ постояннаго тока есть самая слабая часть, скорѣе другихъ изнашивающаяся, и, кромѣ

того, при примѣненіи коллектора мы не можемъ высоко подымать напряженіе у зажимовъ. Потенціалы уравнялись бы прежде всего на коллекторѣ. Поэтому оказывается возможнымъ строить машины перемѣннаго тока на очень высокія разности потенціаловъ до десяти и больше тысячъ вольтъ, что для машинъ постояннаго тока практически невозможно.

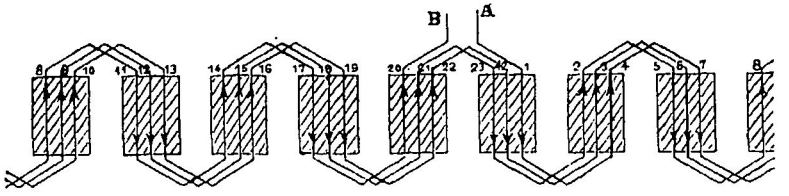
У каждой машины перемѣннаго тока на якорѣ расположено большее или меньшее число катушекъ, которымъ противостоятъ попеременно сѣверный или южный полюса индуктора. Для соединенія кон-

Черт. 378.



цовъ отдѣльныхъ катушекъ якоря существуютъ различные методы. Такъ какъ во всѣхъ катушкахъ, одновременно проходящихъ противъ одноименныхъ полюсовъ, напр. сѣвернаго, индуктируются токи одного направленія, въ проходящихъ же передъ южными полюсами — направленія обратнаго, то всегда конецъ катушки первой группы долженъ быть присоединенъ къ началу катушки слѣдующей группы; начало и конецъ катушки опредѣляются направленіемъ индуктируемаго въ нихъ тока. Два различныхъ рода подобныхъ соединеній показаны на черт. 378 и 379. На обоихъ чертежахъ мы видимъ 8 полюсовъ, попеременно *N*

Черт. 379.



и *S*. Передъ каждымъ полюсомъ начерчено по 3 провода, всего, значитъ, 24. Въ этихъ проводахъ токи распредѣляются такъ. Передъ полюсами (считая слѣва) 1, 3, 5, 7 токи идутъ снизу вверхъ, а передъ полюсами 2, 4, 6, 8 — сверху внизъ. Чертежи растянуты на плоскость, такъ что послѣдній полюсъ на правомъ краю, вычерченный наполовину, есть въ то же время первый лѣвый полюсъ. Слѣдуя на черт. 378 непрерывно за ходомъ обмотки, начиная съ зажима *A*, мы видимъ, какъ эта обмотка, идя все время петлями, то по часовой стрѣлкѣ, то противъ, подходитъ, наконецъ, къ зажиму *B*; такая обмотка носитъ названіе петлеобразной обмотки. На другомъ чертежѣ (черт. 379) предста-

влена другая обмотка—здѣсь тоже, выйдя изъ зажима *A* по проводу 1 и идя все время непрерывно по обмоткѣ, мы обойдемъ всѣ провода по иному способу, но все же правильно, и придемъ чрезъ проводъ 20 къ зажиму *B*. Такая обмотка носитъ названіе волнообразной обмотки. Чаще всего примѣняются эти 2 способа обмотки, однако существуютъ и другіе.

При конструкціи машинъ перемѣннаго тока приходится руководствоваться тѣми же основными правилами, какъ и для машинъ постояннаго тока. А именно (стр. 447) сильное магнитное поле, возможно болѣе полное использованіе силовыхъ линій для индукціи, возможно меньшее междужелѣзное пространство въ просвѣтѣ между индукторами и арматурой.

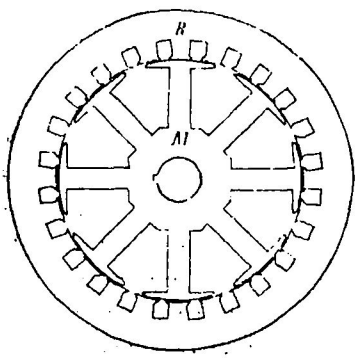
Машины перемѣннаго и трехфазнаго тока, называемыя также альтернаторами, строятся главнымъ образомъ большихъ, иногда прямо колоссальныхъ, размѣровъ. Дѣло въ томъ, что для малыхъ установокъ выгоднѣе примѣненіе постояннаго тока, тогда какъ для большихъ центральныхъ станцій, посылающихъ токъ зачастую на большія разстоянія, въ особенности подходящимъ, какъ было выше указано, является перемѣнный токъ высокаго напряженія.

Современные типы машинъ перемѣнаго тока имѣютъ неподвижный кольцеобразный корпусъ изъ желѣза, въ которомъ сидятъ катушки арматуры. Индукторная система является вращающейся частью машины. Индукторъ обычно имѣетъ звѣздообразную форму, по периферіи его поочередно слѣдуютъ сѣверные и южные полюса, которые вращаются либо внутри кольцеобразнаго корпуса, либо съ внѣшней его стороны. Первый способъ наиболѣе употребителенъ.

Конструкція машины однофазнаго и трехфазнаго тока почти всегда одна и та же; онѣ различаются только по соединенію проволокъ на якорѣ.

Тѣ индукторы, которые вращаются внутри арматуры, возбуждаются особымъ токомъ, доставляемымъ отдѣльной динамомашиной постояннаго тока, которая обыкновенно непосредственно насажена на ось альтернатора. Полюса индуктора—сѣверные и южные — чередуются и несутъ полюсные наконечники, закругленные со стороны, обращенной къ якорю. Желѣзное кольцо по своей внутренней поверхности снабжено опредѣленнымъ числомъ каналовъ; число этихъ каналовъ равно утроенному числу полюсовъ индуктора. Черт. 380 изображаетъ

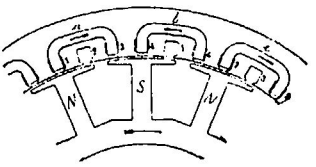
Черт. 380.



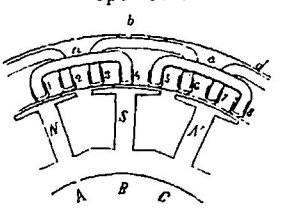
звѣздообразный индукторъ M и желѣзное кольцо R съ его желобами. Какъ якорное кольцо, такъ и индукторъ составлены изъ отдѣльныхъ желѣзныхъ листовъ, чтобы ослабить токи Фуко. Обмотка якоря укладывается въ желоба, впадины и, смотря по тому, какъ уложены и соединены провода, можно получить либо обыкновенный перемѣнный (однофазный), либо трехфазный токъ.

Для того, чтобы получить простой перемѣнный токъ, укладываютъ, какъ показано на черт. 381, одинъ витокъ во впадины 1 и 3, слѣдующій во впадины 4 и 6 и т. д., оставляя свободными впадины 2, 5, 8 и т. д. Три витка, обозначенные буквами a, b, c, въ каждый моментъ занимаютъ одинаковое положеніе относительно соотвѣтственныхъ полюсовъ, такъ что въ нихъ индуктируются токи одной и той же фазы при вращеніи индуктора; ясно при этомъ, что токи въ a и c противоположны по направленію току въ b и т. д. Поэтому, когда желаютъ соединить всѣ витки послѣдовательно, необходимо витокъ b включить навстрѣчу виткамъ a и c, т. е. конецъ a надо соединить съ концомъ b и начало b съ началомъ c. Свободные концы перваго и послѣдняго витковъ подводятся къ неподвижнымъ зажимамъ, отъ которыхъ перемѣнный токъ поступаетъ во внѣшнюю цѣпь.

Черт. 381.



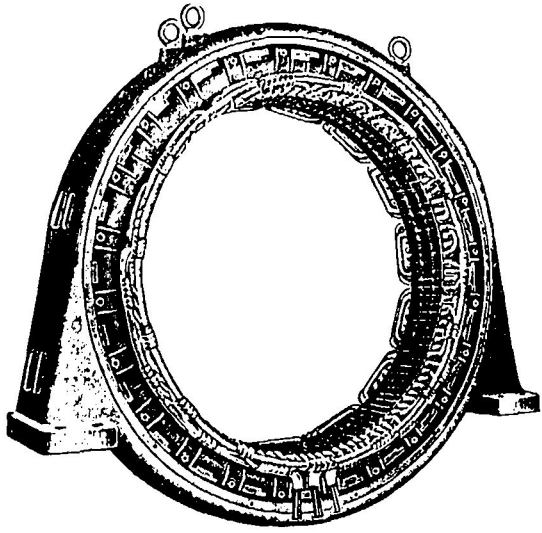
Черт. 382.



Для полученія трехфазнаго тока обмотку укладываютъ, какъ показано на черт. 382. Первая катушка a укладывается въ желоба 1 и 4, вторая b въ впадины 3 и 6, третья c въ 5 и 8 и т. д. Въ этомъ случаѣ всѣ впадины оказываются заполненными. Какъ видно изъ чертежа, въ нѣкоторый моментъ катушка a находится прямо противъ середины двухъ полюсовъ, въ то время какъ катушка b находится противъ начала, а катушка c противъ концовъ. При вращеніи индуктора въ нѣкоторой катушкѣ, напримѣръ въ a, будетъ имѣть мѣсто тотъ же самый токъ, какъ и при указанномъ на черт. положеніи, когда первый лѣвый сѣверный полюсъ (A), двигаясь направо, окажется въ положеніи крайняго праваго сѣвернаго полюса (C). Это значитъ, что время, потребное для поворота индуктора на уголъ, соотвѣтствующій крайнимъ положеніямъ A и C, есть время полнаго періода перемѣннаго тока въ каждой катушкѣ. Уголъ же между двумя послѣдовательно расположенными катушками равенъ трети этого угла; слѣдовательно, индуктированные въ катушкахъ a, b, c токи будутъ различаться

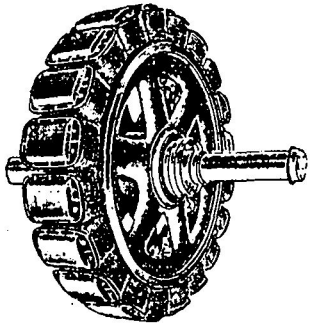
между собою по фазѣ на $^1/_3 \times 360 = 120°$. Въ катушкѣ d, токъ по фазѣ будетъ тотъ же, что и въ a и т. д. Короче сказать, если соединить послѣдовательно проводники, уложенные въ желоба 1, 4, 7.., въ одну группу и составить такія же двѣ группы изъ проводниковъ, лежащихъ во 2, 5, 8... и 3, 6, 9..., то получимъ три цѣпи, токи въ которыхъ отличаются другъ отъ друга по фазѣ на 120°. Эти три цѣпи можно соединить (см. стр. 303) треугольникомъ или звѣздой.

Черт. 383.



На черт. 383 представленъ законченный статоръ трехфазной машины фирмы Бергманъ. Кольцеобразный остовъ съ внутренней стороны несетъ въ себѣ обмотку, катушки которой заложены въ полузакрытыя впадины и надлежаще изолированы. Роторъ, т. е. индукторъ показанъ на черт. 384 и общій видъ машины на черт. 385. Корпусъ машины снабженъ еще щитами для защиты обмотки отъ механическихъ поврежденій. На общемъ валу съ главной машиной сидитъ и ея возбудитель—небольшая динамо, дающая токъ для возбужденія электромагнитовъ.

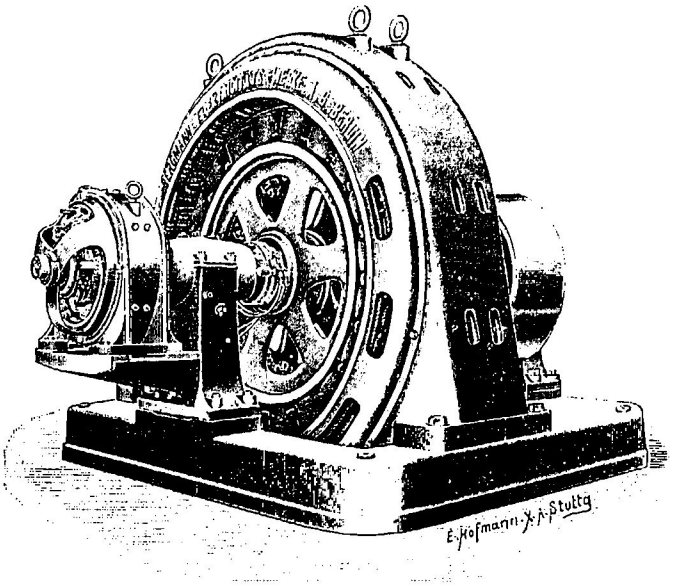
Черт. 384.



Также и Всеобщая Компанія Электричества въ Берлинѣ строитъ часть своихъ трехфазныхъ генераторовъ въ подобномъ же родѣ. Черт. 386 даетъ общій видъ такой машины; такъ какъ это машина закрытаго типа, нѣкоторыхъ частей ея на чертежѣ не видно. По внутренней поверхности корпуса опять расположены изолированныя ка-

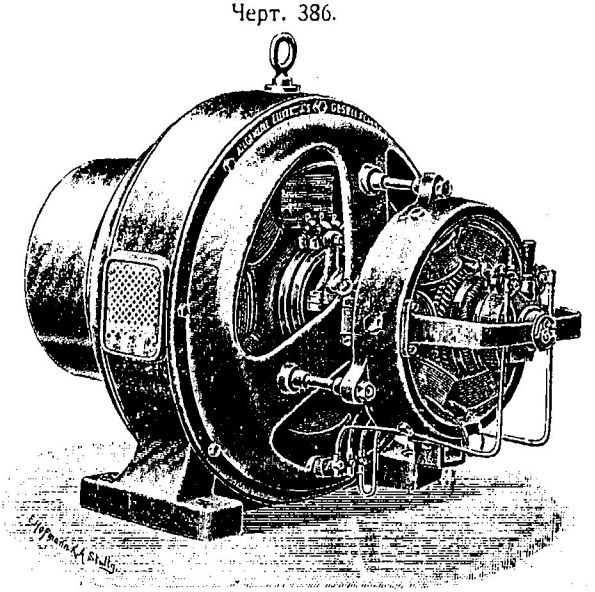
тушки. Катушки магнитнаго колеса на чертежѣ видны. И здѣсь также возбудитель, т. е. машина постояннаго тока, доставляющая токъ

Черт. 385.



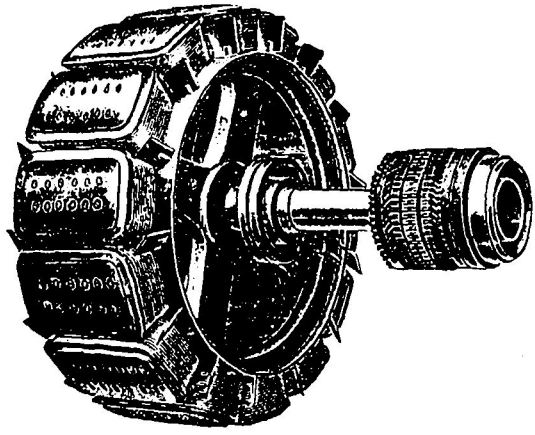
электромагнитамъ, посажена на валу всей машины. На черт. 387 представлена вся вращающаяся часть этой машины. Здѣсь виденъ валъ съ магнитнымъ колесомъ, на выступающіе полюса котораго надѣты и тщательно прикрѣплены намагничивающія катушки, изготовляемыя отдѣльно. Справа на валу сидитъ барабанный якорь динамо-возбудителя. Такія машины строятся для различныхъ напряженій отъ 115 до 6.000 вольтъ. Можно ихъ однако построить и на напряженіе въ 10.000 вольтъ. У нѣкоторыхъ машинъ врашающаяся магнитная система устраивается съ внѣшней стороны, неподъ-

Черт. 386.



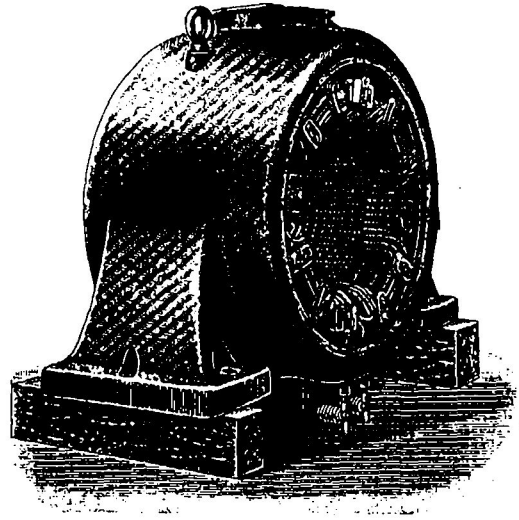
вижный же якорь располагается внутри. Машины этого типа называются машинами съ внѣшними полюсами.

Черт. 387.

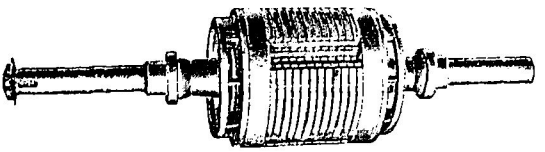


При соединеніи машинъ перемѣннаго тока съ паровой турбиной нужно и здѣсь, какъ и при динамо постояннаго тока, обратить вниманіе на большое число оборотовъ турбины. Центробѣжная сила, благодаря этому, достигаетъ весьма значительной величины и поэтому роторъ машины стремятся уменьшить по радіальному направленію, увеличивая его длину по оси. Число полюсовъ должно быть невелико, чтобы имѣть обычную и удобную частоту, т. е. число періодовъ тока въ секунду—именно 50. Машина, дѣлающая 3.000 оборотовъ въ минуту, не должна такимъ образомъ имѣть больше двухъ полюсовъ, дѣлающая 1.500 оборотовъ — четыре полюса. Части такого турбогенератора перемѣннаго тока или турбоальтернатора представлены на черт. 388 и 389. На черт. 388 показанъ неподвижный корпусъ съ обмоткой якоря, на черт. 389 вращающаяся часть, раздѣленная по периферіи на четыре части, т. е. 4 полюса. Обмотка послѣднихъ расположена внутри; полюса снабжены вентиляціонными каналами для энергичнаго ихъ охлажденія. Всевозможныя машины перемѣннаго и трехфазнаго тока въ настоящее время, благодаря цѣлесообразной конструкціи, достигли столь высокой степени совершенства, что коэффиціентъ ихъ полезнаго дѣйствія (см. стр. 455) обычно заключается въ предѣлахъ: отъ 85 до 96 процентовъ, такъ что онѣ ничѣмъ не уступаютъ машинамъ постояннаго тока.

Черт. 388.

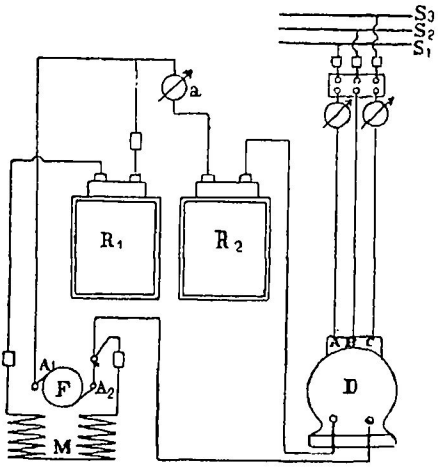


Черт. 389.



Для того, чтобы измѣнять напряженіе перемѣннаго тока, измѣняютъ возбужденіе индукторовъ, какъ и у машинъ постояннаго тока съ параллельнымъ возбужденіемъ. Смотря по тому, увеличивается или уменьшается возбуждающій индукторы токъ, будетъ больше или меньше и напряженіе перемѣннаго тока. Часто въ качествѣ возбудителей берутъ динамо со смѣшаннымъ возбужденіемъ. Если возбудителемъ служитъ такая именно машина или машина съ параллельнымъ возбужденіемъ, то намъ нужно имѣть 2 сопротивленія: во-первыхъ—регулирующее сопротивленіе въ магнитной цѣпи самого возбудителя и, во-вторыхъ, сопротивленіе въ цѣпи индукторовъ альтернатора. Первое сопротивленіе вводится для грубой регулировки, второе для точной. Схема подобнаго включенія для трехфазной машины изображена на черт. 390. Слѣва видна машина постояннаго тока, служащая для возбужденія; здѣсь это шунтовая динамо. Якорь ея обозначенъ буквой F. Въ цѣпь ея магнитовъ M введенъ регулирующій реостатъ R_1. Отъ ея якоря F возбуждающій токъ идетъ черезъ амперметръ a, реостатъ R_2 и черезъ индукторы альтернатора возвращается къ зажиму A_2. Отъ зажимовъ A, B, C трехфазнаго альтернатора провода идутъ черезъ измѣрительные приборы къ собирательнымъ шинамъ распредѣлительной доски.

Черт. 390.



Какъ и въ машинахъ постояннаго тока, такъ и при однофазномъ или трехфазномъ токѣ слѣдуетъ имѣть въ виду обратное вліяніе тока якоря на магнитное поле индукторовъ, на такъ называемую реакцію якоря, которая и въ данномъ случаѣ обусловливаетъ собою нѣкоторыя замѣчательныя явленія. Съ перваго взгляда казалось бы, что злѣсь будетъ совершенно отсутствовать такое вліяніе, такъ какъ токъ якоря перемѣнный, тогда какъ магниты возбуждаются токомъ постояннымъ. Однако, болѣе глубокое изслѣдованіе дѣла показываетъ, что и въ данномъ случаѣ реакція якоря неизбѣжна. Для большей опредѣленности представимъ себѣ, что мы имѣемъ машину, магнитная система которой вращается и якорь неподвиженъ. Положимъ она имѣетъ 3

пары полюсовъ и шесть катушекъ на якорѣ. Въ нѣкоторый моментъ сѣверному полюсу I противостоитъ катушка 1, южному полюсу II — катушка 2. Ввиду того, что всѣ катушки соотвѣтственнымъ образомъ между собою соединены, то въ этотъ моментъ по нимъ протекаетъ токъ, который, положимъ, усиливаетъ дѣйствіе сѣвернаго полюса I и южнаго II. Когда катушка 1 послѣ поворота на извѣстный уголъ окажется противъ южнаго полюса II, то она очевидно ослабила бы южный полюсъ, если бы токъ въ ней сохранилъ прежнее направленіе. Однако, направленіе тока къ этому времени уже измѣнилось на обратное, поэтому и теперь она опять усиливаетъ южный полюсъ, равно какъ и обѣ смежныя съ нею катушки усиливаютъ противостоящіе имъ сѣверные полюса. Отсюда видно, что, пока токъ протекаетъ по катушкѣ якоря въ первомъ направленіи, онъ ослабляетъ магнитный полюсъ II; по измѣненіи же своего направленія усиливаетъ (или наоборотъ); тоже самое относится ко всѣмъ остальнымъ катушкамъ и полюсамъ. Слѣдовательно, при движеніи магнитныхъ полюсовъ отъ одной катушки къ другой реакція якоря дѣйствуетъ, въ продолженіе нѣкотораго промежутка времени, ослабляя поле (размагничивающе), въ остальное время—усиливая поле (намагничивающе). При этомъ, если цѣпь якоря состоитъ исключительно изъ безъиндукціоннаго сопротивленія, то, какъ мы знаемъ (см. стр. 290), индуктированный токъ имѣетъ фазу одинаковую съ напряженіемъ. Слѣдовательно, при движеніи полюса отъ одной катушки къ слѣдующей токъ якоря дѣйствуетъ размагничивающимъ образомъ лишь въ первую половину пути полюса, а во вторую половину—уже намагничивающимъ образомъ. Въ среднемъ же вліяніе реакціи якоря въ этомъ случаѣ сводится къ нулю. Напротивъ, въ случаѣ включенія якоря на индукціонное сопротивленіе токъ отстаетъ по фазѣ отъ напряженія — продолжительность періода размагничиванія увеличивается, намагничиваніе же уменьшается, въ среднемъ магнитное поле ослабляется, слѣдствіемъ чего является нѣкоторое паденіе напряженія на зажимахъ машины. Если же въ цѣпь якоря включена емкость, то токъ упреждаетъ электродвижущую силу (см. стр. 299), періодъ намагничиванія увеличивается, размагничиваніе уменьшается, и получается тотъ замѣчательный результатъ, что напряженіе, благодаря вліянію реакціи якоря, даже повышается.

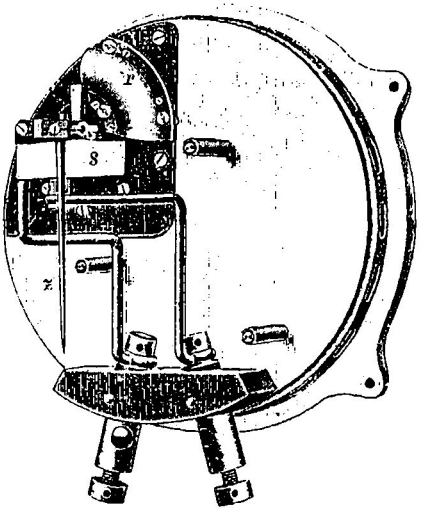
Необходимо, слѣдовательно, въ каждомъ случаѣ, когда желательно сохраненіе постояннаго напряженія при включеніи внѣшней цѣпи, регулировать токъ возбужденія магнитовъ не только благодаря потери напряженія изъ-за сопротивленія и самоиндукціи обмотки якоря, но и ввиду паденія или повышенія напряженія подъ вліяніемъ реакціи якоря.

Для измѣренія напряженія перемѣннаго или трехфазнаго тока, а также для измѣренія силы тока въ проводахъ, употребляются,

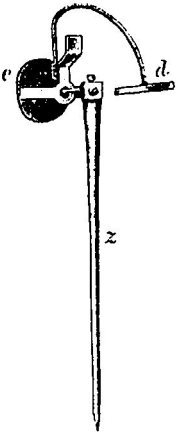
какъ и для постояннаго тока, вольтметры и амперметры, располагаемые, близъ машины. При однофазномъ перемѣнномъ токѣ необходимы одинъ вольтметръ и одинъ амперметръ, какъ при постянномъ токѣ. Вольтметръ просоединяется къ зажимамъ машины, въ отвѣтвленіе отъ главной цѣпи; амперметръ вводится прямо въ главную цѣпь. При трехфазномъ же токѣ, гдѣ примѣняются три провода, необходимо измѣрять напряженіе между каждыми двумя проводами (1 и 2, 1 и 3, 2 и 3) и силу тока въ каждомъ проводѣ. Для этого въ каждый проводъ включается особый амперметръ, а въ отвѣтвленіе отъ каждой пары проводовъ (1 и 2, 1 и 3, 2 и 3) особый вольтметръ.

Принятые на практикѣ приборы для измѣренія перемѣннаго тока отчасти тѣ же, что и для постояннаго тока. Если измѣрительный приборъ основанъ на втяженіи въ катушку куска мягкаго желѣза подъ вліяніемъ тока, то онъ можетъ быть примѣненъ и къ измѣренію перемѣннаго тока. Дѣйствительно, кусочекъ мягкаго желѣза будетъ втягиваться внутрь катушки и при одномъ, и при другомъ направленіи проходящаго по ней тока; слѣдовательно, онъ будетъ втягиваться и въ случаѣ перемѣннаго тока. Необходимо только шкалу прибора спе-

Черт. 391.



Черт. 392.



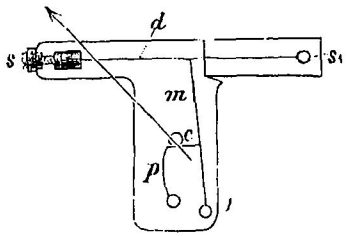
ціально проградуировать для перемѣннаго тока; вообще говоря, всякая шкала вѣрна только при опредѣленномъ числѣ періодовъ перемѣннаго тока; понятно, что это происходитъ вслѣдствіе самоиндукціи. На черт. 391 показанъ подобный амперметръ фирмы Сименсъ и Гальске со снятою верхнею крышкой. На чертежѣ видна катушка s, образуемая толстой мѣдной лентой, внутри которой находится подвижная пластинка изъ мягкаго желѣза, жестко соединенная съ указателемъ z. Система эта вращается около оси на камняхъ. На черт. 392 она по-

казана отдѣльно: легкая пластинка e, представляющая желѣзный сердечникъ, стрѣлка z, передвигающаяся по соотвѣтствующей шкалѣ, и пластинка успокоитель d. Успокоитель этотъ тотъ же самый, который былъ описанъ на стр. 278.

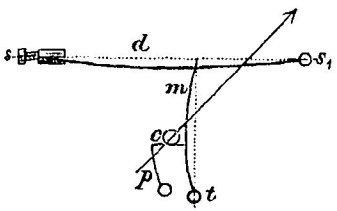
На черт. 391 видна мѣдная трубка r, въ которой ходитъ пластинка d успокоителя. Ось вращенія желѣзной пластинки не совпадаетъ съ осью катушки. Когда пропускаютъ по катушкѣ токъ, желѣзная пластинка поворачивается вокругъ оси, пока ея вѣсъ не уравновѣситъ электромагнитную силу. Соединенный съ пластинкой указатель показываетъ на вывѣренной шкалѣ соотвѣтственную силу тока или соотвѣтственное напряженіе, если приборъ включенъ въ отвѣтвленіе.

Мы уже упоминали, что эти приборы находятся въ зависимости отъ числа періодовъ перемѣннаго тока, такъ какъ ихъ катушки, пропускающія токъ, всегда имѣютъ самоиндукцію. Шкала, вѣрная при 50 періодахъ въ секунду, не будетъ болѣе вѣрна при 40 или 80 періодахъ. Независимы отъ числа періодовъ только тѣ приборы, которые обладаютъ ничтожно малой самоиндукціей. Таковы тепловые измѣрительные приборы, изготовляемые фирмой Гартманъ и Браунъ (во Франкфуртѣ на М.) какъ для научныхъ, такъ и для техническихъ цѣлей. Дѣйствіе этихъ приборовъ основано на томъ, что проволка, по которой проходитъ токъ—безразлично, постоянный или перемѣнный—нагрѣвается вслѣдствіе выдѣленія джоулева тепла и нѣсколько удлиняется,

Черт. 393.



Черт. 394.

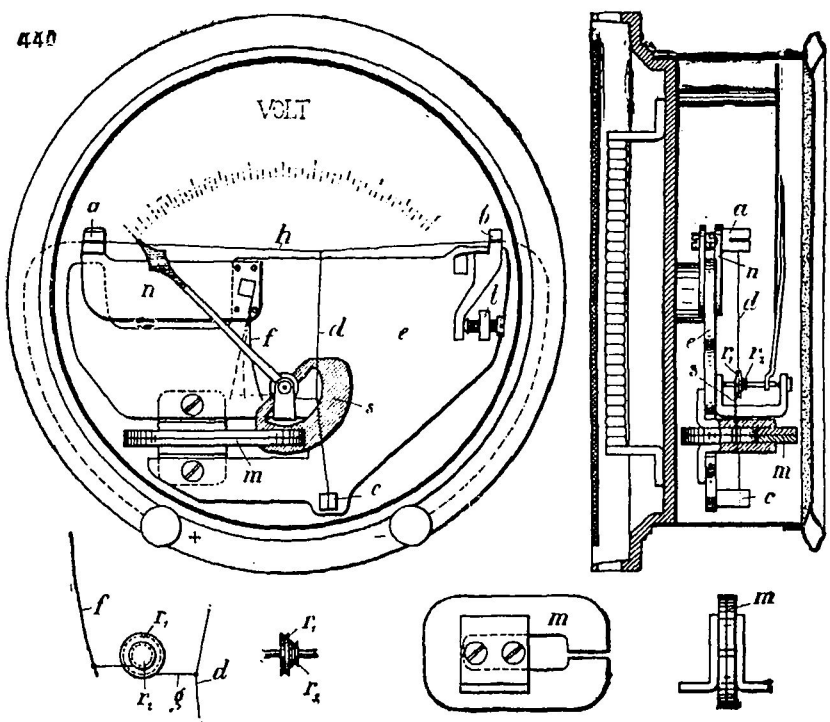


такъ какъ вообще всѣ тѣла отъ теплоты увеличиваются въ размѣрахъ. Это удлиненіе и служитъ средствомъ для измѣренія тока, проходящаго по проволокѣ. Нагрѣваемая токомъ короткая проволока приготовляется изъ сплава платины съ иридіемъ. При удлиненіи проволоки поворачивается связанная съ нею извѣстнымъ образомъ ось. На ось насаженъ указатель, движущійся вдоль шкалы, по которой и производится отсчетъ. Для того, чтобы незначительное удлиненіе проволоки вызывало достаточно большія отклоненія указателя, примѣняется устройство, показанное схематически на черт. 393. Тонкая платиноиридіевая проволока d діаметромъ 0,03 мм. съ двухъ концовъ закрѣплена въ точкахъ s и s_2. Приблизительно въ серединѣ этой проволоки

къ ней прикрѣплена тонкая проволока m, не несущая тока, діаметромъ 0,05 мм.; другой конецъ этой послѣдней закрѣпленъ въ точкѣ t. Отъ середины ея идетъ тонкая коконовая нить, огибающая колесико c и прикрѣпленная къ концу пружины p, которая постоянно поддерживаетъ въ натянутомъ положеніи всю систему (двѣ проволоки и коконовую нить). Если по проволокѣ d проходитъ токъ и нагрѣваетъ ее, она удлиняется, какъ это показано на черт. 394; при этомъ, подъ вліяніемъ оттягивающей пружины p, проволоки d и m прогибаются, а колесико c повернется вмѣстѣ съ указателемъ. Когда на шкалѣ отмѣчены положенія указателя при различныхъ силахъ тока—приборъ прокалибрированъ и можетъ быть примѣненъ для измѣреній.

Весь приборъ и конструкція отдѣльныхъ его деталей даны на черт. 395. Платиноиридіевая проволока обозначена здѣсь черезъ h, вспомогательная черезъ d; отъ послѣдней идетъ коконовая нить g къ ролику r_1, съ которымъ соединенъ другой роликъ r_2, отъ котораго такая же

Черт. 395.



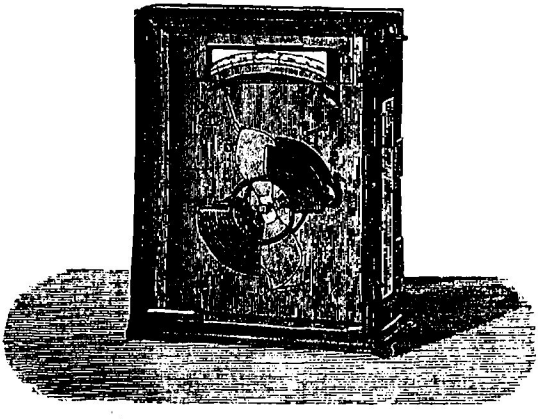
нить идетъ къ пружинѣ f. Чтобы измѣненія температуры окружающаго воздуха, которыя также измѣняютъ длину проволоки, не вліяли на правильность показаній, захваты a и b, держащіе концы проволоки, прикрѣплены къ особой составной компенсаціонной пластинѣ; составлена она изъ желѣза и никкелевой стали и своимъ расширеніемъ

при измѣненіи температуры уравновѣшиваетъ температурныя измѣненія рабочей проволоки. Далѣе, чтобы быстро успокоить колебанія указателя, къ нему прикрѣплена тонкая алюминіевая пластинка s, которая ходитъ въ зазорѣ между полюсами постояннаго магнита m. Возникающіе въ пластинѣ токи Фуко оказываютъ тормазящее дѣйствіе на ея движеніе. Вся подвижная система: ось, указатель, ролики, успокоитель вѣситъ въ общей сложности около 0,5 грамма.

Эти приборы совершенно не зависятъ отъ находящихся по близости сильныхъ токовъ и магнитовъ и могутъ служить для измѣренія токовъ постоянныхъ и перемѣнныхъ безъ всякаго различія. При перемѣнныхъ токахъ число періодовъ не имѣетъ никакого значенія, ибо самоиндукція короткой проволоки d совершенно неощутима. Такъ какъ чрезъ тонкую проволоку прибора можно пропускать только слабые токи, то, прежде всего, приборъ употребляется, какъ вольтметръ, въ отвѣтвленіи, при чемъ, если измѣряемое напряженіе велико, послѣдовательно съ приборомъ включается сопротивленіе. Для измѣренія токовъ, токъ, который нужно опредѣлить, пропускается чрезъ небольшое извѣстное сопротивленіе, параллельно которому включается нагрѣвающаяся проволока теплового прибора, такъ что собственно и тутъ мѣряется напряженіе у концовъ извѣстнаго малаго сопротивленія. Такъ какъ сила тока въ этомъ послѣднемъ равна напряженію, подѣленному на извѣстное сопротивленіе, то всегда можно, зная величину сопротивленія шунта, проградуировать приборъ на амперы.

Внѣшній видъ этихъ инструментовъ не отличается существенно отъ другихъ, употребляемыхъ для распредѣлительныхъ досокъ.

Черт. 396.

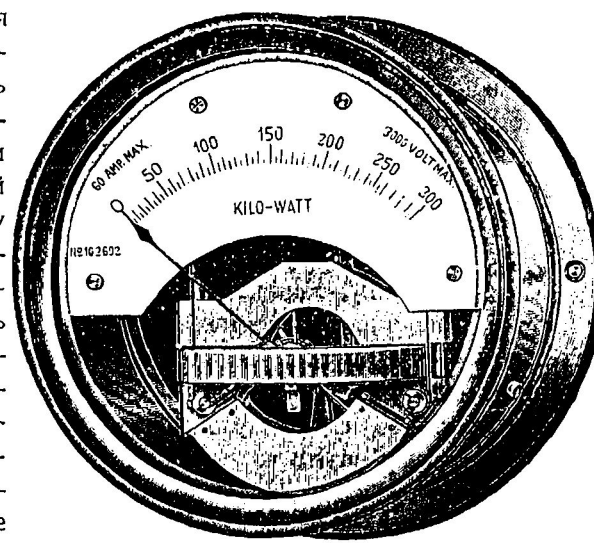


Для тѣхъ весьма высокихъ напряженій, которыя примѣняются въ установкахъ перемѣннаго тока въ настоящее время, доходящихъ до многихъ тысячъ вольтъ, можно воспользоваться вольтметромъ, не обладающимъ совершенно самоиндукціей — а именно обыкновеннымъ электрометромъ. Эти приборы часто называются въ техникѣ электростатическими вольтметрами. Внѣшній видъ приборовъ этого типа въ конструкціи, принятой Сименсомъ и Гальске, представленъ на черт. 396. Конструкція его аналогична томсоновскому квадрантному электрометру

(стр. 42). А именно, имѣются 2 неподвижныхъ металлическихъ квадранта AA, между которыми, на горизонтальной оси, можетъ вращаться бисквито-образная пластинка съ указателемъ. Квадранты жестко соединены между собою и электрически соединяются съ однимъ полюсомъ машины, бисквитъ съ другимъ. При высокомъ напряженіи бисквитъ приходитъ во вращеніе, благодаря электростатическому дѣйствію квадрантовъ и это вращеніе можетъ быть градуировано прямо въ вольтахъ. Однако, для того, чтобы каждому напряженію соотвѣтствовало вполнѣ опредѣленное отклоненіе, нужно чтобы это отклоненіе было положеніемъ равновѣсія двухъ силъ. Второй силой, противодѣйствующей силѣ электрической, является сила тяжести; внизу у s бисквитъ снабженъ рычажкомъ, на который насаживается грузъ. Чувствительность прибора можетъ быть измѣняема измѣненіемъ этого противовѣса

У машины постояннаго тока по показаніямъ вольтметра и амперметра сразу опредѣляется и электрическій эффектъ (мощность), даваемый машиной во внѣшней цѣпи, такъ какъ мощность эта, выраженная въ ваттахъ, равна произведенію числа амперъ на число вольтъ. У машины же перемѣннаго тока, какъ извѣстно, знаніе вольтъ и амперъ (эффективныхъ) еще не достаточно для опредѣленія дѣйствтельной мощности, такъ какъ здѣсь играетъ роль еще коэффиціентъ мощности (стр. 290), зависящій отъ сдвига фазъ между токомъ и напряженіемъ. Приходится, слѣдовательно, у этихъ машинъ измѣрять непосредственно мощность; это дѣлается помощью соотвѣтственнаго прибора, ваттметра, о которомъ уже говорилось на стр. 290.

Черт. 397.



Устройство его основано на принципѣ электродинамическаго воздѣйствія катушки, включенной послѣдовательно въ цѣпь тока, на другую катушку, включенную параллельно къ тому участку главной цѣпи, на которомъ расходуется интересующая насъ мощность. Такимъ образомъ при машинахъ перемѣннаго тока обыкновенно мы видимъ три прибора: вольтметръ, амперметръ и ваттметръ. У машинъ трехфазныхъ

собственно для каждой цѣпи нужны всѣ эти аппараты, но такъ какъ между цѣпями существуетъ опредѣленная связь, то число приборовъ можно сократить; однако, мы здѣсь не можемъ войти въ относящіяся сюда подробности. На черт. 397 показанъ подобный ваттметръ фирмы Гартманъ и Браунъ во Франкфуртѣ на Майнѣ въ видѣ типа, предназначеннаго для распредѣлительной доски. Дѣленія шкалы даны въ киловаттахъ. Если въ цѣпи перемѣннаго тока имѣются: вольтметръ, амперметръ и ваттметръ, то тотчасъ же можетъ быть опредѣленъ и коэфф. мощности, которымъ обладаетъ цѣпь. Произведеніе изъ отсчитанныхъ амперъ и вольтъ на коэффиціентъ мощности даетъ дѣйствительную мощность въ цѣпи въ ваттахъ, отсчитываемую по ваттметру.

Перемѣнный токъ представляетъ для пониманія гораздо больше трудностей, чѣмъ токъ постоянный. Въ первое время на практикѣ перемѣнныхъ токовъ встрѣчались очень значительныя затрудненія.

Весьма большое значеніе для практики имѣетъ разрѣшеніе вопроса о параллельномъ включеніи динамомашинъ, такъ чтобы онѣ сообща посылали свой токъ въ одну и туже внѣшнюю цѣпь. Задачу эту значительно труднѣе выполнить для перемѣннаго тока, чѣмъ для постояннаго. Въ послѣднемъ случаѣ необходимо лишь, чтобы обѣ машины въ моментъ включенія имѣли одинаковое напряженіе на зажимахъ. При перемѣнномъ же токѣ необходимо, чтобы машины имѣли одинаковое напряженіе въ каждый моментъ, т. е. чтобы ихъ эффективное напряженіе, число оборотовъ и фаза въ моментъ включенія были одинаковы. Чтобы эти три условія были выполнены, пришлось обратиться къ спеціальнымъ приспособленіямъ. Допустимъ, что мы уже имѣемъ одну или нѣсколько машинъ перемѣннаго тока, соединенныхъ съ шинами распредѣлительной доски и посылающихъ свой токъ во внѣшнюю цѣпь; и пусть задача заключается въ томъ, чтобы приключить къ нимъ еще машину, такъ чтобы она тоже посылала свой токъ въ цѣпь.

Чтобы подогнать напряженіе новой машины къ напряженію собирательныхъ шинъ, нужно регулировать ея магнитное поле, какъ было указано выше (стр. 469). Чтобы число оборотовъ новой машины совпадало съ таковымъ уже работающихъ машинъ, нужно имѣть возможность регулировать число оборотовъ двигателя, вращающаго машину (паровая машина, тюрбина и т. п.). Обыкновенно эта регулировка производится отъ распредѣлительной доски электрическимъ путемъ, посредствомъ воздѣйствія на регуляторъ даннаго двигателя, причемъ увеличивается или уменьшается число его оборотовъ. Наконецъ, въ моментъ приключенія машины фаза ея должна совпадать съ фазой шинъ. Для опредѣленія этого момента существуютъ особые фазовые указатели (фазовыя лампочки), а именно—лампочки накаливанія, включаемыя между обѣими машинами (въ данномъ случаѣ машиной и шинами), по яркости горѣнія которыхъ можно судить о разности фазъ обѣихъ машинъ; ближайшее разсмотрѣніе этого вопроса для насъ

здѣсь невозможно. Но въ настоящее время техника перемѣннаго тока стоитъ уже на одной высотѣ съ техникой постояннаго тока. Мы приводили не разъ цифры, показывающія, что динамомашины постояннаго и перемѣннаго тока обладаютъ почти одинаковымъ полезнымъ дѣйствіемъ. Машины обоего рода превращаютъ въ электрическую энергію отъ 85 до 95 процентовъ работы двигателя, приводящаго ихъ въ движеніе.

Отсюда можно видѣть, насколько выгоднѣе выработка тока динамомашиной, будь то машина постояннаго или перемѣннаго тока, чѣмъ гальваническими элементами.

Въ гальваническихъ элементахъ непрерывно разъѣдается въ кислотѣ отрицательный электродъ, цинкъ. Каждое количество электрической энергіи, которое доставляетъ замкнутый гальваническій элементъ, производится на счетъ сожиганія (окисленія) извѣстнаго эквивалентнаго количества цинка въ сѣрной кислотѣ. Въ динамомашинѣ электрическій токъ возбуждается вращеніемъ якоря или индуктора на счетъ работы, затрачиваемой на машину. Если эту работу производитъ газовый или паровой двигатель, то электрическіе токи производятся, хотя и не непосредственно, на счетъ сжигаемаго угля или свѣтильнаго газа, употребляемаго для приведенія въ дѣйствіе двигателя. Простой разсчетъ позволяетъ сравнить издержки на производство электрическаго тока помощью гальваническаго элемента со стоимостью тока отъ динамомашины, приводимой въ дѣйствіе паровымъ или газовымъ двигателемъ. Легче всего произвести это сравненіе, принявъ, что все электричество, которое производитъ динамомашина, а также которое доставляетъ элементъ, обращается въ джоулево тепло, преодолѣвая сопротивленіе цѣпи, и тогда сравнить соотвѣтственныя количества тепла и опредѣлить ихъ стоимости. Килограммъ цинка, если онъ вполнѣ сгораетъ, выдѣляетъ 550 калорій (единицъ тепла). Предположимъ, что это тепло все обращается въ электричество, какъ на самомъ дѣлѣ почти и происходитъ. Килограммъ же угля выдѣляетъ при сгораніи 8.000 калорій. Изъ этихъ 8.000 калорій едва лишь 8% представляютъ полезное дѣйствіе парового двигателя, т. е. 640 калорій. Изъ этихъ 640 калорій, или той работы, которая имъ соотвѣтствуетъ, около 10% идетъ на преодолѣніе тренія и на безполезное нагрѣваніе, остальные же 90%, т. е. около 570 калорій, обращаются полезно въ электрическую энергію. Итакъ килограммъ цинка производитъ электрическую энергію, соотвѣтствующую 550 кал., тогда какъ килограммъ угля энергію, соотвѣтствующую 570 кал. Но цѣна угля приблизительно разъ въ 15 ниже цѣны цинка, такъ что одно и то же количество электрической энергіи окажется болѣе, чѣмъ въ 15 разъ дешевле, если производится на счетъ сгоранія угля, чѣмъ на счетъ сгоранія цинка.

Это разсужденіе доказываетъ преимущество динамомашинъ надъ элементами для примѣненій электричества въ большихъ размѣрахъ.

ГЛАВА III.

Аккумуляторы.

Впервые съ помощью электричества удалось выполнить нѣкоторыя техническія задачи, къ разрѣшенію которыхъ техника стремилась и съ прежними средствами, но всегда тщетно. Сюда относятся двѣ основныя задачи, а именно передача силы или, вѣрнѣе, энергіи, работы на большія разстоянія и накопленіе затрачиваемой работы для пользованія ею чрезъ нѣкоторое время. Эта то послѣдняя задача, давно представляющая собою знаменитый вопросъ въ техникѣ, была вполнѣ разрѣшена съ помощью электричества, а именно посредствомъ аккумуляторовъ.

Если электрическій токъ, постоянный токъ, проходитъ чрезъ электролитическій приборъ, напр., черезъ вольтаметръ, въ которомъ налита разведенная сѣрная кислота, то, какъ мы знаемъ, электроды, напр., платиновые, поляризуются. На отрицательномъ электродѣ отлагается водородъ, на положительномъ — кислородъ. Послѣ такого измѣненія электроды оказываются дающими электродвижущую силу въ обратномъ направленіи. Они получаютъ различное напряженіе, находясь въ разведенной сѣрной кислотѣ, и если ихъ соединить внѣшнимъ проводомъ, то по образованной такимъ образомъ замкнутой цѣпи потечетъ гальваническій токъ — поляризаціонный токъ. Такимъ образомъ, пропустивъ чрезъ электролитическій сосудъ электрическій первичный токъ, мы обратили его самого въ нѣкоторомъ смыслѣ въ гальваническій элементъ; такой элементъ, какъ и всякій другой, обладаетъ вполнѣ опредѣленною электродвижущею силою; поляризованный такимъ образомъ вольтаметръ называютъ вторичнымъ элементомъ. Если соединить внѣшнимъ проводомъ оба платиновыхъ электрода поляризованнаго элемента, то вторичный токъ (положительнаго электричества) пойдетъ по внѣшней цѣпи и чрезъ элементъ въ направленіи обратномъ первичному (положительному) току.

Изъ этого слѣдуетъ, что электродвижущая сила первичнаго элемента должна быть больше или по крайней мѣрѣ равна электродвижущей силѣ вполнѣ поляризованнаго вторичнаго элемента. Пока электродвижущая сила первичнаго элемента не достигла еще этой пре-

дѣльной величины, электролитическій приборъ не можетъ быть вполнѣ поляризованъ, такъ какъ при такомъ условіи токи неминуемо взаимно уничтожаются.

Представимъ себѣ теперь готовый вторичный элементъ, выключенный изъ цѣпи первичнаго тока; тогда мы имѣемъ элементъ, положительный электродъ котораго для внутренней цѣпи, внутри жидкости, представляется пластиною, покрытою водородомъ, и отрицательный — кислородомъ. Если теперь соединить электроды внѣшнею проволокою и такимъ образомъ замкнуть цѣпь, то пойдетъ токъ внутри элемента отъ пластины, заряженной водородомъ, къ пластинѣ, заряженной кислородомъ. Снаружи наоборотъ. Этотъ токъ, какъ и всякій другой, разложитъ электролитически сѣрную кислоту. Изъ сѣрной кислоты освободятся (путемъ вторичныхъ процессовъ) водородъ и кислородъ и выдѣлятся на электродахъ такимъ образомъ, что водородъ направится къ тому электроду, который былъ покрытъ кислородомъ, а кислородъ къ тому, который былъ покрытъ водородомъ. Слѣдовательно, этотъ токъ уменьшаетъ поляризацію электродовъ, а потому онъ самъ ослабѣваетъ и, наконецъ, совсѣмъ прекратится, когда весь водородъ съ одного электрода и весь кислородъ съ другого снова соединятся, образуя воду. Такимъ образомъ, чѣмъ больше водорода и кислорода осаждено на платиновыхъ электродахъ первичнымъ токомъ, т. е. чѣмъ дольше продолжалось заряженіе, тѣмъ дольше будетъ продолжаться и поляризаціонной токъ.

Эти явленія, которыя были уже сообщены на стр. 168 имѣютъ мѣсто не только въ томъ случаѣ, когда платиновые электроды погружены въ сѣрную кислоту и въ ней поляризуются токомъ. Наоборотъ, вторичный элементъ, могущій дать токъ, появляется всегда, если жидкость, находящаяся между двумя одинаковыми или неодинаковыми электродами, подвергается электролизу; вопросъ только въ томъ, чтобы найти наиболѣе выгодныя комбинаціи жидкостей и металловъ.

Гастону Плантэ принадлежитъ заслуга изобрѣтенія, послѣ многихъ и тщательныхъ опытовъ, перваго весьма цѣлесообразнаго вторичнаго элемента. Онъ нашелъ, что свинецъ особенно пригоденъ для вторичныхъ элементовъ. Плантэ погрузилъ двѣ свинцовыя пластины въ разведенную сѣрную кислоту и пропустилъ чрезъ эту систему первичный токъ. Свинцовыя пластины уже сами по себѣ, находясь въ разведенной сѣрной кислотѣ, покрываются тонкимъ слоемъ сѣрнокислаго свинца ($PbSO_4$). Если пропускать теперь токъ черезъ сѣрную кислоту, то она разлагается на водородъ H_2 и соединеніе, несуществующее въ свободномъ состояніи — SO_4. Послѣднее выдѣляется на положительномъ электродѣ. Но въ водномъ растворѣ сѣрной кислоты эта группа SO_4, а также SO_4 сѣрнокислаго свинца въ соеди-

неніи съ водородомъ 2-хъ молекулъ воды даютъ сѣрную кислоту: $2\,H_2SO_4$; между тѣмъ какъ оба кислородныхъ атома 2-хъ разложенныхъ молекулъ воды выдѣляются на свинцѣ и образуютъ перекись свинца (PbO_2). На другомъ электродѣ выдѣляющійся водородъ отнимаетъ у сѣрнокислаго свинца группу SO_4, образуя сѣрную кислоту, такъ что остается металлическій свинецъ. Такимъ образомъ, результатомъ электролиза является то, что на томъ свинцовомъ электродѣ, который былъ соединенъ съ отрицательнымъ электродомъ первичной батареи, образуется чистый свинецъ, на положительномъ же—перекись свинца. Итакъ, если поляризація вполнѣ закончена, то изъ электролитической системы получается гальваническій элементъ, состоящій изъ:

перекись свинца | разведенная сѣрная кислота | свинецъ.

Такой элементъ, подобно всякому другому, имѣетъ нѣкоторую опредѣленную электродвижущую силу. Опыты показываютъ, что она равна 2 вольтамъ. Если элементъ только что заряженъ, то отрицательный электродъ бываетъ покрытъ водородомъ, и такимъ образомъ получается система:

перекись свинца | сѣрная кислота | свинецъ съ выдѣлившимся водородомъ,

которой электродвижущая сила нѣсколько больше, а именно равна 2,2—2,4 вольта.

Если такой элементъ замкнуть проводникомъ, то вслѣдствіе его электродвижущей силы по внѣшней цѣпи и чрезъ самый элементъ пойдетъ токъ. Этотъ послѣдній снова разложитъ электролитическимъ дѣйствіемъ сѣрную кислоту, причемъ на перекиси свинца освободится водородъ, тогда какъ на металлическомъ свинцѣ отложится кислородъ. Вслѣдствіе этого перекись свинца раскислится въ окись (PbO), превращающуюся сейчасъ же въ присутствіи сѣрной кислоты въ сѣрнокислый свинецъ ($PbSO_4$), а металлическій свинецъ также окислится до окиси, равнымъ образомъ превращающейся въ сѣрнокислый свинецъ. Токъ прекратится, какъ только на обоихъ электродахъ закончится этотъ процессъ превращенія Pb и PbO_2 въ $PbSO_4$. Полное количество образованной первоначально перекиси свинца зависитъ отъ силы и продолжительности первичнаго тока, иными словами, отъ полнаго количества электричества, которое протекло въ первичномъ токѣ во время заряженія вторичнаго элемента. Полное количество электричества, какое можетъ отдать вторичный элементъ, не можетъ быть, конечно, больше, а лишь — и то въ крайнемъ случаѣ — равно количеству электричества, прошедшему въ видѣ заряжающаго тока.

Однако, для того чтобы устроить такой вторичный элементъ, недостаточно просто взять двѣ свинцовыя пластины, погрузить въ разведенную сѣрную кислоту и зарядить ихъ, чтобы потомъ пользоваться поляризаціоннымъ токомъ. Этотъ токъ продолжался бы очень

краткое время, и его электродвижущая сила быстро бы уменьшалась. Необходимо еще, какъ показалъ Плантэ, подвергнуть элементъ обработкѣ, такъ наз. формовкѣ. Нужно добиться того, чтобы кислородъ, выдѣляющійся на одной изъ свинцовыхъ пластинъ, насколько возможно полностью уходилъ на образованіе перекиси. Но вѣдь кислородъ освобождается изъ сѣрной кислоты на поверхности свинца и потому окисляетъ сначала почти исключительно лишь поверхностный слой пластины. Вслѣдствіе этого является необходимымъ, какъ это и сдѣлалъ Плантэ, придать свинцовымъ пластинкамъ вторичнаго элемента большую поверхность. Но кромѣ этого слѣдуетъ стремиться еще къ тому, чтобы кислородъ проникалъ и вглубь пластины и окислялъ бы ея внутреннія части. Чтобы это было возможно, необходимо до извѣстной степени разрыхлить свинецъ, произвести въ немъ дизаггрегацію, облегчить прониканіе кислорода. Плантэ достигъ этого тѣмъ, что нѣсколько разъ подъ рядъ, въ теченіе нѣсколькихъ дней, даже мѣсяцевъ, заряжалъ элементъ и снова разряжалъ, замыкая внѣшнею проволокою. При этомъ кислородъ съ каждымъ днемъ проникалъ все глубже въ свинецъ, и при каждомъ новомъ заряженіи все бо́льшая часть всей массы свинца обращалась въ перекись. Кромѣ того оказалось выгоднымъ при такомъ формованіи элемента заряжать его изо дня въ день въ противоположномъ направленіи. При перемѣнѣ направленія заряда перекись свинца раскисляется снова въ свинецъ, отличающійся зернистымъ строеніемъ и пористостью, что весьма облегчаетъ проникновеніе кислорода внутрь пластины при слѣдующемъ заряженіи. Плантэ формовалъ такимъ образомъ свои элементы цѣлые мѣсяцы. Лишь послѣ такой обработки они могутъ обнаружить свое наибольшее дѣйствіе. Послѣ такой обработки (формовки), т. е. для вполнѣ готоваго элемента Плантэ, достаточно уже однократнаго заряда, чтобы сдѣлать его готовымъ къ дѣйствію.

Если теперь такой элементъ Плантэ зарядить, т. е. произвести химическія превращенія съ его свинцовыми электродами, то, соединивъ электроды внѣшнею цѣпью, получимъ во всякое время токъ, который, въ цѣломъ пронесетъ съ собою приблизительно все то количество электричества, какое пошло на зарядку. Пока свинцовые электроды еще измѣнены химически, элементъ имѣетъ способность давать токъ. Химическія измѣненія, если элементъ незамкнутъ, могутъ просуществовать извѣстное время. Такимъ образомъ, является возможность въ теченіе извѣстнаго времени какъ бы сохранить нѣкоторое количество электричества, употребивъ его на заряженіе элемента Плантэ. Электрическая энергія сохраняется благодаря химическому измѣненію въ элементѣ и можетъ быть черезъ нѣкоторое время вновь получена изъ него. Такой вторичный элементъ, слѣдовательно, служитъ мѣстомъ запасанія извѣстнаго количества электричества и вообще накопляетъ

электричество. Поэтому вторичные элементы называются аккумуляторами (собирателями).

Элементы Плантэ требуютъ, какъ объяснено выше, тщательной обработки, формовки, и лишь послѣ этого ихъ емкость достигаетъ своего максимума. Форъ стремился ускорить обработку весьма остроумнымъ пріемомъ. А именно онъ сначала покрывалъ оба свинцовыхъ электрода слоями сурика, который уже самъ по себѣ есть соединеніе кислорода со свинцомъ. Сурикъ представляетъ собою яркокрасный порошокъ, который разсматриваютъ обыкновенно, какъ соединеніе окиси свинца (PbO) съ перекисью (PbO_2), обозначая формулой Pb_3O_4. Растирая этотъ порошокъ въ разбавленной сѣрной кислотѣ, Форъ приготовлялъ густую кашицу и намазывалъ ее на каждый электродъ, прикрѣпляя ее къ нему помощью оболочки (кармана) изъ матеріи. Если элементъ заряжается, то на положительномъ электродѣ рыхлый сурикъ, присоединяя кислородъ, вполнѣ обращается въ перекись ($Pb_3O_4+2O=3\ PbO_2$), тогда какъ на отрицательномъ водородъ возстановляетъ металлическій свинецъ. Вслѣдствіе того, что сурикъ—порошкобразное тѣло, газы не остаются лишь на его поверхности, но легко проникаютъ внутрь, и потому заряжающій токъ быстро производитъ химическое превращеніе. Послѣ двухъ-трехъ-кратнаго заряженія, сопровождаемаго разряженіемъ, элементъ достигаетъ своей максимальной емкости. А если уже одинъ разъ сурикъ вполнѣ окисленъ въ перекись на одномъ электродѣ, а на другомъ — возстановленъ въ металлическій свинецъ, и послѣ этого элементъ однажды разряженъ, то каждое новое заряженіе можетъ доводить его до максимальной емкости.

Понятно, что обработка каждаго аккумулятора форовой батареи для приведенія его къ наибольшему дѣйствію производится гораздо легче и скорѣе, чѣмъ въ случаѣ аккумуляторовъ Плантэ. Но зато скоро оказалось, что прочность аккумуляторовъ, устроенныхъ по способу Фора, гораздо меньше, такъ какъ рыхлая масса легко отваливается отъ электродовъ; поэтому тѣ розовыя надежды, которыя были возлагаемы на изобрѣтеніе Фора, исполнились лишь послѣ многихъ дальнѣйшихъ работъ надъ этимъ вопросомъ.

Когда аккумуляторъ сформованъ, его положительная пластина покрыта слоемъ перекиси свинца, дѣйствующей массой, имѣющей шоколадный цвѣтъ, въ то время какъ отрицательная пластина состоитъ изъ рыхлаго, губчатаго свинца, имѣющаго сѣрый цвѣтъ. Если теперь замкнуть элементъ, чрезъ него пойдетъ токъ разряда и выдѣляющійся сначала около коричневаго электрода водородъ образуетъ окись (PbO) по формулѣ

$$PbO_2 + 2H = PbO + H_2O,$$

перекись + 2 водорода = окись свинца + вода.

Окись свинца немедленно соединяется съ сѣрной кислотой и даетъ сѣрнокислый свинецъ ($PbSO_4$) и воду согласно формулѣ:

$$PbO + H_2SO_4 = PbSO_4 + H_2O.$$

Окись свинца + сѣрн. кисл. = сѣрнок. свинецъ + вода.

Въ общемъ происходитъ слѣдующее. Когда два атома водорода (2H) выдѣляются на положительномъ электродѣ, здѣсь вновь образуются 2 частицы воды; именно, одна образуется при возстановленіи перекиси свинца въ окись, а другая получается при образованіи сѣрнокислаго свинца. Такимъ образомъ процессъ, происходящій у положительной пластины, можно представить слѣдующей формулой:

$$PbO_2 + H_2SO_4 + 2H = PbSO_4 + 2H_2O.$$

Перекись свинца + сѣрн. кислота + 2 ат. водорода = сѣрнокисл. свинецъ + 2 частицы воды.

На отрицательномъ электродѣ чистый свинецъ соединяется сейчасъ же съ кислотнымъ остаткомъ SO_4 и образуетъ сѣрнокислый свинецъ по формулѣ:

$$Pb + SO_4 = PbSO_4.$$

Свинецъ + кислотн. остатокъ = сѣрнокисл. свинецъ.

Итакъ, происходящій при разрядѣ процессъ можно представить себѣ такимъ образомъ:

1. Частица сѣрной кислоты разлагается электролитически согласно формулѣ:

$$H_2SO_4 = SO_4 + H_2.$$

2. На обоихъ электродахъ образуется сѣрнокислый свинецъ, и въ то же время въ растворъ поступаютъ у положительнаго электрода 2 частицы воды. Слѣдовательно, растворъ обогащается 2 частицами воды, содержаніе же сѣрной кислоты уменьшается на 2 молекулы, одна разлагается электролитически, а другая отнимается на положительномъ электродѣ.

Итакъ, при разрядѣ крѣпость раствора уменьшается, такъ какъ увеличивается содержаніе воды и уменьшается содержаніе сѣрной кислоты.

При послѣдующей зарядкѣ сначала обѣ свинцовыя пластины покрыты сѣрнокислымъ свинцомъ. Сѣрная кислота раствора разлагается, и результатъ всего послѣдующаго процесса будетъ обратный тому, что мы имѣли раньше. На отрицательномъ электродѣ выдѣляется водородъ H_2 и образуетъ съ сѣрнокислымъ свинцомъ молекулу сѣрной кислоты и свинецъ согласно формулѣ:

$$PbSO_4 + H_2 = Pb + H_2SO_4.$$

Сѣрнокисл. свинецъ + водородъ = свинецъ + сѣрная кислота.

На положительномъ же электродѣ кислотный остатокъ соединяется съ сѣрнокислымъ свинцомъ и 2-мя частицами воды изъ раствора и образуетъ перекись свинца и сѣрную кислоту, т. е.

$$PbSO_4 + SO_4 + 2H_2O = PbO_2 + 2H_2SO_4 .$$

Сѣрнок. свинецъ + кислот. остат. + 2 част. воды = перекись свинца + + 2 част. сѣрной кислоты.

Такимъ образомъ, при зарядѣ снова возстановляются перекись свинца и металлическій свинецъ. Растворъ сѣрной кислоты при этомъ концентрируется, такъ какъ отъ него отнимаются 2 частицы воды, а въ него поступаютъ 2 частицы сѣрной кислоты (H_2SO_4). А именно: образуются 3 молекулы сѣрной кислоты, одна на отрицательномъ и двѣ на положительномъ электродахъ, но одна молекула сѣрной кислоты была разложена токомъ.

Хотя въ частностяхъ, согласно новѣйшимъ теоріямъ, процессъ представляется болѣе сложнымъ, но если имѣть въ виду весь аккумуляторъ (т. е. обѣ пластины вмѣстѣ съ сѣрной кислотой), то вполнѣ установлено, что результаты заряженія и разряженія образуются путемъ слѣдующихъ процессовъ:

При разряженіи превращаются:

$$PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 = 2\,PbSO_4 + 2H_2O$$

или словами:

Перекись свинца + свинецъ + 2 ч. сѣрн. кисл. = 2 ч. сѣрнок. свинца + 2 ч. воды.
(на + электродѣ) (на — электродѣ)

Исчезаютъ такимъ образомъ двѣ молекулы сѣрной кислоты и образуются двѣ молекулы воды.

Наоборотъ, при заряженіи:

$$2PbSO_4 + 2H_2O = PbO_2 + Pb + 2H_2SO_4 .$$

2 сѣрнок. свинца + 2 воды = перекись св. + свинецъ + 2 ч. сѣр. кисл.
(на + электродѣ) (на — электродѣ)

Исчезаютъ, слѣдовательно, 2 частицы воды, образуются 2 молекулы сѣрной кислоты, и пластины снова приходятъ въ прежнее состояніе.

Отсюда непосредственно заключаемъ, что въ продолженіе зарядки разведенная сѣрная кислота должна становиться все болѣе концентрированною, тогда какъ во время разряженія она становится все болѣе слабою. Такъ какъ болѣе крѣпкая сѣрная кислота имѣетъ бо́льшій удѣльный вѣсъ, чѣмъ болѣе разведенная, то и является возможность помощью ареометра, посредствомъ котораго опредѣляются удѣльные вѣса, непрерывно опредѣлять степень зарядки аккумулятора.

Ту пластину аккумулятора, на которой образуется перекись свинца, называютъ положительною, вторую же, на которой при концѣ заряженія получается рыхлый металлическій свинецъ, называютъ отрицательной. При зарядѣ нужно соединять положительный полюсъ заряжающей батареи съ положительной пластиной аккумулятора. При разрядѣ токъ идетъ въ наружной цѣпи отъ положительной пластины къ отрицательной. На обѣихъ пластинахъ, при разряженіи образуется сѣрнокислый свинецъ, растворяющійся вновь при заряженіи. Если же пластины постоятъ подольше безъ новаго заряда, то сѣрнокислый свинецъ превращается въ крупно-кристаллическую форму, трудно растворимую. Тогда говорятъ, что пластины «сульфатируются». Онѣ покрываются при этомъ слоемъ бѣлаго вещества. Образованіе этого сѣрнокислаго соединенія вредно, такъ какъ между свинцомъ и его сѣрнокислымъ соединеніемъ образуются мѣстные токи, которые разрушаютъ дѣятельную перекись свинца и уменьшаютъ дѣйствующій слой. Но кромѣ того куски, упавшіе на дно сосуда и скопившіеся въ большомъ числѣ, представляютъ собой проводящее тѣло между обѣими пластинами, т. е. даютъ короткое соединеніе (замыканіе). По этой-то причинѣ первые аккумуляторы Фора скоро оказывались негодными къ службѣ, и лишь впослѣдствіи особенное устройство и установка свинцовыхъ пластинъ позволили устранить этотъ недостатокъ.

Далѣе оказалось, что для продолжительности службы и величины полезнаго дѣйствія аккумуляторовъ отнюдь не безразлично, слабымъ или сильнымъ токомъ производилось ихъ разряженіе. При разряженіи превращаются съ одной стороны перекись свинца, съ другой—металлическій свинецъ вслѣдствіе выдѣленія на электродахъ газовъ, кислорода и водорода. Такъ какъ электроды аккумулятора имѣютъ поверхность опредѣленнаго размѣра, то для химическихъ измѣненій, происходящихъ на нихъ (т. е. окисленія и возстановленія), къ нимъ должно поступать въ каждый промежутокъ времени лишь извѣстное количество газовъ. Если газа развивается больше, то онъ проникаетъ въ глубину и разрыхляетъ дѣйствующій слой. Поэтому разряжающій токъ не долженъ быть очень сильнымъ. Для всякой величины электродовъ аккумулятора существуетъ нѣкоторая опредѣленная максимальная сила тока, при какой слѣдуетъ производить разряженіе, и она теперь всегда указывается аккумуляторною фабрикою.

Полное количество электрической энергіи, какое можно запасти на электродахъ аккумулятора, называется его емкостью. Точнѣе подъ емкостью подразумѣваютъ полное количество электричества, которое въ состояніи отдать аккумуляторъ при разрядѣ въ видѣ тока. Обыкновенно емкость выражаютъ въ амперъ-часахъ. Такъ, напримѣръ, аккумуляторъ емкостью въ 600 амперъ-часовъ при токѣ наибольшей допустимой силы въ 60 амперъ, можетъ давать этотъ токъ

въ 60 амперъ въ продолженіе 10 часовъ. При меньшей силѣ разряднаго тока емкость становится нѣсколько большей: такъ тотъ же самый элементъ можетъ доставлять токъ въ 30 амперъ въ продолженіе не 20, а около 22 часовъ.

Какъ много электричества можетъ быть накоплено въ данномъ аккумуляторѣ, какъ велика слѣдовательно его емкость, это зависитъ просто отъ размѣровъ его пластинъ. Болѣе существеннымъ вопросомъ является то, какая часть накопленной электрической энергіи можетъ быть отдана аккумуляторомъ при разряженіи. Отношеніе возвращенной энергіи къ затраченной называютъ полезнымъ дѣйствіемъ аккумулятора. Это полезное дѣйствіе тѣмъ выше, чѣмъ лучше приготовленъ элементъ.

Для опредѣленія накапливаемой энергіи слѣдуетъ измѣрять напряженіе у полюсовъ элемента въ теченіе зарядки и силу заряжающаго тока. Произведеніе этихъ величинъ даетъ количество энергіи въ ваттахъ, приходящее въ секунду въ аккумуляторъ. Если помножить его на число секундъ, протекшихъ во время заряженія, то и получимъ полную накопленную энергію. Обыкновенно она выражается въ ваттъ-часахъ, причемъ число ваттъ умножается на число часовъ заряженія.

Подобнымъ же образомъ энергію, возвращаемую при разрядѣ аккумуляторомъ, опредѣляютъ, какъ произведеніе напряженія у аккумулятора при разрядѣ, помноженное на силу разряжающаго тока и на время разряда. И эта энергія выражается въ ваттъ-часахъ. Отношеніе числа ваттъ-часовъ разряженія къ ваттъ-часамъ заряда и есть полезное дѣйствіе аккумулятора.

Объяснимъ этотъ подсчетъ на примѣрѣ. Аккумуляторъ, описываемый ниже, былъ заряжаемъ въ теченіе 4 часовъ и 5 минутъ токомъ въ 36 амперъ. Среднее напряженіе у аккумулятора было при этомъ 2,15 вольта. Слѣдовательно, была накоплена энергія

$$4{,}08 \times 2{,}15 \times 36 = 315{,}8 \text{ ваттъ-часовъ.}$$

При разрядкѣ напряженіе у зажимовъ аккумулятора оказалось въ среднемъ 1,88 вольта и токъ отъ него—36 амперъ. Разряженіе продолжалось до тѣхъ поръ, пока только аккумуляторъ могъ производить полезную работу, и длилось 3,5 часа. Слѣдовательно, отданная энергія равна

$$3{,}5 \times 1{,}88 \times 36 = 236{,}9 \text{ ваттъ-часовъ.}$$

Отношеніе этихъ двухъ величинъ, а именно

$$\frac{236{,}9}{315{,}8} = 0{,}75$$

и даетъ полезное дѣйствіе аккумулятора, которое, слѣдовательно, въ нашемъ случаѣ равно 75%.

Многочисленныя попытки улучшить аккумуляторы, поднять ихъ полезное дѣйствіе и увеличить срокъ службы привели вообще къ тому результату, что аккумуляторъ можетъ легко и съ постоянствомъ возвращать отъ 70 до 75% потраченной на него энергіи.

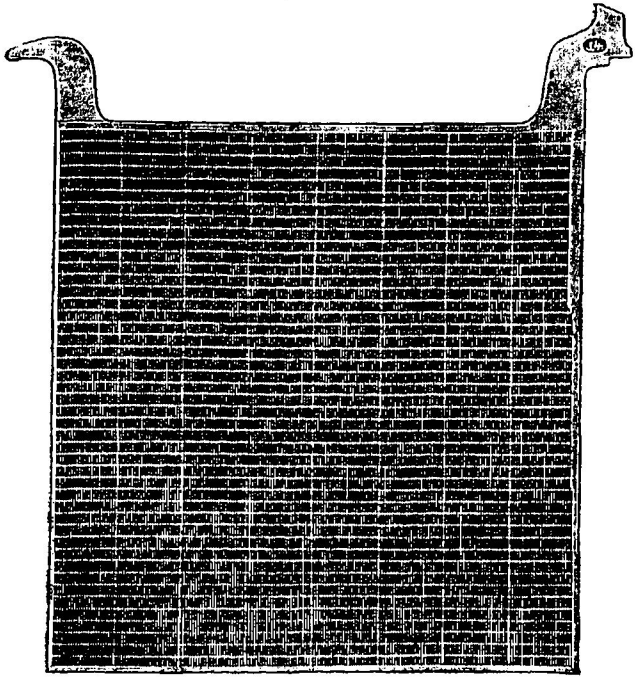
При этомъ различныя устройства, придуманныя для аккумуляторовъ, все еще сводятся въ главномъ къ пріему Плантэ и къ пріему Фора, которые комбинируютъ соотвѣтственнымъ образомъ.

Способъ примѣненія сурика, данный Форомъ, имѣетъ то неудобство, что сурикъ легко отпадаетъ отъ пластинъ. Во избѣжаніе этого мало-по-малу пришли къ приготовленію пластинъ рѣшетчатыхъ.

Въ Германіи, а также и всюду, больше всего распространены Хагенскіе аккумуляторы (Тюдора), которые изготовляются на аккумуляторномъ заводѣ въ Берлинѣ и въ Хагенѣ (Вестфалія). Они отличаются высокимъ полезнымъ дѣйствіемъ и большою прочностью. Свинцовыя пластины этихъ элементовъ формованы по способу Плантэ.

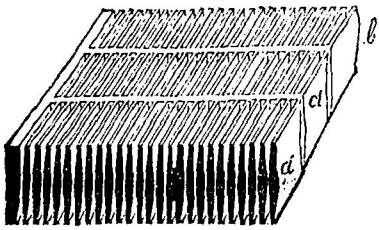
Вслѣдствіе того, что намъ выгодно сдѣлать возможно большей дѣйствующую поверхность пластины, каждая положительная пластина

Черт. 398.



изготовляется изъ высокихъ и узкихъ реберъ, скрѣпленныхъ поперечинами. Черт. 398 изображаетъ такую пластину съ ея узкими продольными и широкими поперечными ребрами, между тѣмъ какъ на

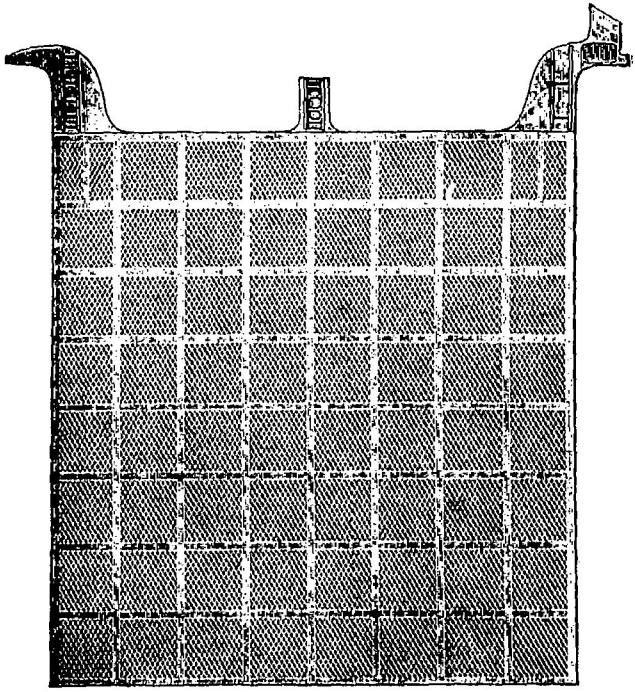
Черт. 399.



черт. 399 представленъ кусокъ такой пластины въ натуральную величину. Здѣсь *ab*—продольныя ребра, *dc*—поперечныя. Дѣйствующая поверхность этой такъ называемой *I*-пластины въ восемь разъ больше, чѣмъ если бы это была поверхность массивной пластины. Кислота можетъ омывать всю дѣйствующую поверхность, такъ что формовка можетъ быть производима по способу Плантэ.

Отрицательная *I*-пластина (см. черт. 400) имѣетъ рѣшетчатую основу съ крупными ячейками которыя, заполняются глетомъ; этотъ послѣдній зарядным токомъ превращается въ губчатый свинецъ. Такъ какъ губчатый свинецъ самъ по себѣ постепенно уплотняется, то къ нему примѣшиваютъ извѣстныя вещества, препятствующія уплотненію

Черт. 400.

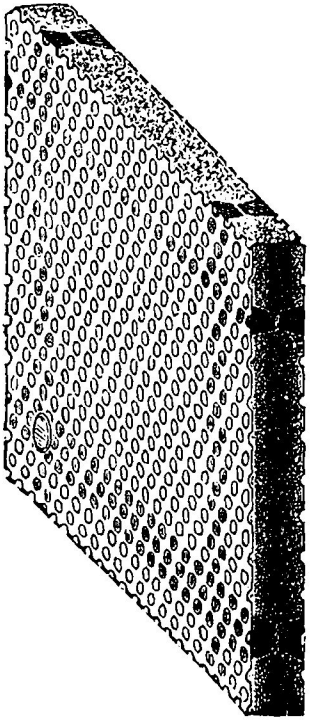


и даже вызывающія разбуханіе. Для того же, чтобы масса не выпадала изъ ячеекъ, отрицательныя пластинки покрываются листовымъ свинцомъ, снабженнымъ отверстіями, какъ это показываетъ черт. 401, на которомъ изображенъ отрѣзокъ пластины въ натуральную величину. Такія пластины называютъ ящичными.

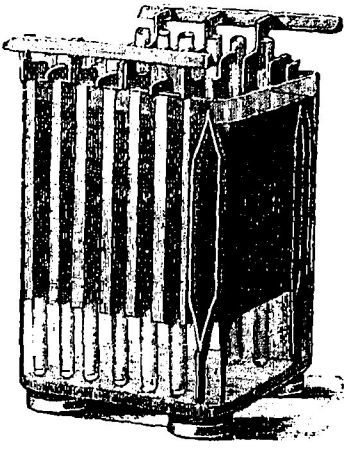
Пластинамъ при отливкѣ придаютъ такую форму съ 2-мя выступами справа и слѣва, которая позволяетъ подвѣшивать ихъ на стѣнкахъ сосуда.

Нѣсколько формованныхъ положительныхъ пластинъ и нѣсколько отрицательныхъ, спаянныхъ между собой, помѣщаютъ въ деревянный

Черт. 401.



Черт. 402.



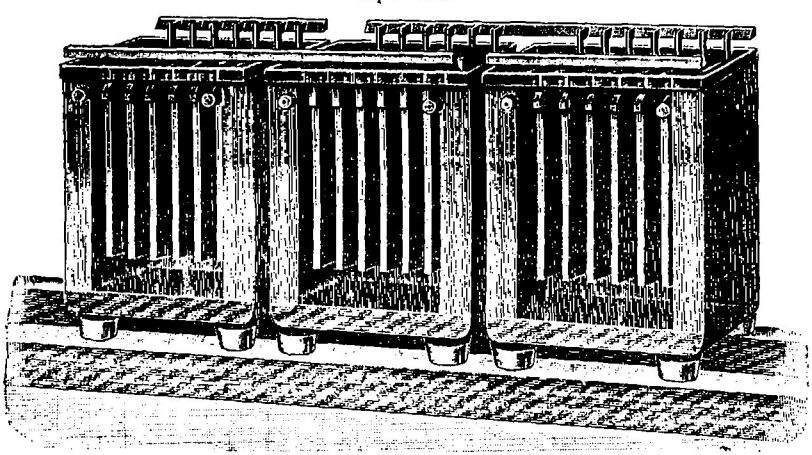
или стеклянный сосудъ, наполненный разбавленной сѣрной кислотой. Всегда берется отрицательныхъ пластинъ одною больше, чѣмъ положительныхъ, такъ что каждая положительная пластина виситъ между двумя отрицательными.

На черт. 402 представленъ подобный аккумуляторъ въ стеклянномъ сосудѣ. Пластины (3 положительныхъ и 4 отрицательныхъ) висятъ, опираясь своими выступами о края сосуда. Каждыя двѣ сосѣднія пластины раздѣлены между собою стеклянными трубками, удерживающими ихъ отъ соприкосновенія и изолирующими ихъ. Въ послѣднее время между пластинами стали помѣщать тонкія пропитанныя деревянныя дощечки, пропитываніе которыхъ имѣетъ цѣлью возможно дольше задерживать проникновеніе сѣры въ пластины.

Свинцовая полоса, соединяющая отрицательныя пластины одного аккумулятора, продолжается дальше и, какъ показано на черт. 403, служитъ для присоединенія положительныхъ пластинъ слѣдующаго аккумулятора. Всѣ соединенія пластинъ производятся паяніемъ. Большіе аккумуляторы со многими пластинами монтируются въ деревянныхъ, выложенныхъ свинцомъ, сосудахъ.

Для каждаго аккумулятора, соотвѣтственно величинѣ его пластинъ, предписывается нѣкоторая опредѣленная максимальная сила тока для заряженія и разряженія. Если такой аккумуляторъ заряжать при слѣдуемой силѣ тока, то черезъ нѣсколько минутъ послѣ начала зарядки его напряженіе становится равнымъ 2,09 вольта. Это напряженіе остается неизмѣннымъ въ теченіе приблизительно 6 часовъ заряженія, а затѣмъ въ теченіе слѣдующихъ 4 часовъ медленно поднимается до 2,75 вольта. (Это возрастаніе происходитъ, вѣроятно, отъ реакцій въ кислотѣ). Когда достигнуто это напряженіе, слѣдуетъ прекратить зарядку, такъ какъ дальнѣйшее прохожденіе заряжающаго тока производитъ безполезное выдѣленіе газовъ. Если затѣмъ производятъ разряженіе, то при разрядкѣ начальное напряженіе окажется 1,95 вольта. Причина того, что эта величина значительно меньше напряженія, достигнутаго при заряженіи, заключается въ томъ, что во

Черт. 403.



время заряженія въ непосредственномъ сосѣдствѣ съ электродами и въ ихъ порахъ концентрація сѣрной кислоты очень высока. А электродвижущая сила аккумулятора возрастаетъ съ увеличеніемъ концентраціи кислоты. При разряженіи эта кислота, какъ мы видѣли, расходуется, въ результатѣ чего является болѣе низкое напряженіе. Такимъ образомъ причина различій въ напряженіяхъ—явленіе вторичное. При нормальномъ разрядномъ токѣ напряженіе долгое время остается равнымъ 1,95 вольта, а затѣмъ постепенно опускается до 1,80 вольта. Когда напряженіе дойдетъ до этой величины, то слѣдуетъ прекратить разрядку и снова зарядить аккумуляторы.

Емкость аккумулятора тѣмъ больше, чѣмъ больше его пластины и чѣмъ больше число пластинъ соединяемыхъ параллельно. Если нѣсколько одинаковыхъ аккумуляторовъ включены послѣдовательно, какъ изображено на черт. 403, то емкость такой батареи, выраженная въ

амперъ-часахъ, равна емкости одного аккумулятора. Послѣдовательное включеніе повышаетъ напряженіе батареи, слѣдовательно напряженіе тока, но не вліяетъ на емкость въ цѣломъ. Въ самомъ дѣлѣ: если батарея состоитъ изъ 10 послѣдовательно включенныхъ аккумуляторовъ, и во внѣшнихъ проводахъ мы имѣемъ отъ нихъ токъ въ 8 амперъ, то тотъ же самый токъ идетъ и черезъ каждый аккумуляторъ, и въ каждомъ аккумуляторѣ выдѣляющійся водородъ возстановитъ въ одну секунду одно и тоже количество перекиси свинца. Такъ что если, напримѣръ, каждый аккумуляторъ обладаетъ емкостью въ 40 амперъ-часовъ, то черезъ 5 час. вся батарея истощится, такъ какъ истощится каждый аккумуляторъ. Однако, напряженіе тока въ 8 амперъ будетъ при этой системѣ включенія равно приблизительно 20 вольтъ, тогда какъ каждый аккумуляторъ имѣетъ всего 2 вольта напряженія, и, слѣдовательно, вся батарея дастъ намъ $20 \times 40 = 800$ ваттъ-часовъ работы, тогда какъ отдѣльный аккумуляторъ въ состояніи дать лишь 80 ваттъ-часовъ.

Дольше всего служатъ аккумуляторы, если производить заряженіе и разряжать при предписанной силѣ тока. Однако, разряженіе при болѣе сильномъ токѣ не приноситъ очень большого вреда. Не слѣдуетъ только слишкомъ переступать за предѣлъ. Короткое замыканіе, т. е. разряженіе при очень сильномъ токѣ, разрушаетъ пластины. Благодаря успѣхамъ фабрикаціи пластины приготовляются въ настоящее время настолько работоспособными, что могутъ безъ вреда выдерживать болѣе сильные токи, чѣмъ прежде, при той же величинѣ. Хотя все-таки при возрастаніи силы разряднаго тока емкость значительно убываетъ. Всѣ пластины конструируются для разряженія въ теченіе отъ 1 до 10 часовъ. Такъ, напримѣръ, самый маленькій аккумуляторъ, заряжающійся токомъ въ 9 амперъ, даетъ въ продолженіе 7,5 часа разрядный токъ въ 4,5 ампера, емкость его, слѣдовательно, будетъ 33 амперъ-часа. Если же онъ разряжается токомъ въ 6 амперъ, онъ будетъ доставлять его только въ теченіе 5 часовъ, емкость его будетъ, слѣдовательно, только 30 амперъ-часовъ. При силѣ тока въ 9 амперъ онъ доставляетъ его въ продолженіе 3-хъ часовъ, при 11 амперахъ въ продолженіе 2-хъ часовъ, и при 19 амперахъ всего одинъ часъ. Его емкость спускается, слѣдовательно, до 27, 22 и 19 амперъ-часовъ, почти на половину, въ то время какъ сила тока поднимается съ 4, 5 до 19 амперъ. Для самыхъ большихъ аккумуляторовъ, которые доставляютъ токи въ нѣсколько тысячъ амперъ, емкость падаетъ соотвѣтственно съ 18.865 до 10.431 амперъ-часовъ, когда время разряженія уменьшается отъ 7,5 до 1 часа, но сила тока при этомъ повышается съ 2.500 до 10.500 амперъ.

Интересно сравнить вѣсъ аккумулятора съ количествомъ полезной энергіи, накопляемой имъ. Количество накопленной энергіи мы по-

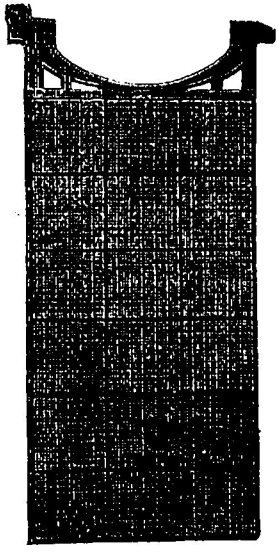
лучимъ, помноживъ емкость аккумулятора, выраженную въ амперъ-часахъ, на напряженіе его въ вольтахъ (въ круглыхъ числахъ оно равно 2 вольтамъ). Энергія тогда выразится въ ваттъ-часахъ. Такъ какъ емкость мѣняется, мѣняется и количество энергіи. Оно меньше при быстромъ разряженіи, чѣмъ при медленномъ. Такъ оба выше разсмотрѣнныхъ аккумулятора при одночасовомъ разряженіи даютъ 38 и 20.860 ваттъ-часовъ, при медленномъ же разряженіи въ продолженіе $7^1/_2$ часовъ соотвѣтственно 67 и 37.730 ваттъ-часовъ. Первый аккумуляторъ вмѣстѣ съ кислотой вѣситъ 12,6 клгр., послѣдній 3.726 клгр. Слѣдовательно, въ маленькомъ аккумуляторѣ на каждый килограммъ приходится отъ 3—5 ваттъ-часовъ накопленной полезной энергіи, въ большомъ отъ $5^1/_2$ до 10 ваттъ-часовъ, смотря по тому, разряжаемъ ли мы ихъ очень сильными или очень слабыми токами. Это—сравнительно очень малое накопленіе работы на килограммъ вѣса. Дѣйствительно, вышеприведенныя числа относятся къ неподвижнымъ, такъ называемымъ станціоннымъ аккумуляторамъ; въ этомъ случаѣ вѣсъ не имѣетъ особеннаго значенія.

Но такъ какъ потребность въ переносныхъ аккумуляторахъ все возрастала въ послѣдніе годы, аккумуляторные заводы прилагаютъ усилія къ тому, чтобы по возможности уменьшить ихъ вѣсъ, сохранивъ ту же емкость. Большое развитіе автомобильнаго дѣла особенно возбудило стремленіе примѣнить электричество и къ этому способу передвиженія. Но для этого необходимымъ условіемъ является то, чтобы аккумуляторы давали гораздо большее количество ваттъ-часовъ полезной работы на килограммъ своего вѣса, чѣмъ вышеприведенные. Автомобиль долженъ перевозить съ собой эти аккумуляторы, такъ какъ они доставляютъ необходимую движущую силу для его электрическаго мотора. Теперь въ этомъ направленіи, т. е. въ стремленіи по возможности уменьшить вѣсъ аккумуляторовъ сравнительно къ количествомъ ваттъ-часовъ, сдѣлано многое даже со свинцовыми аккумуляторами. Заводъ аккумуляторовъ въ Хагенѣ строитъ спеціальные аккумуляторы для автомобилей; они состоятъ изъ очень тонкихъ пластинъ, рѣшетка которыхъ наполняется активной смѣсью. Самый маленькій, наприм., изъ такихъ элементовъ даетъ разрядный токъ въ 11 амперъ при емкости въ 53 амперъ-часа, слѣдовательно обладаетъ мощностью въ 106 ваттъ-часовъ. Такъ какъ весь элементъ, уже наполненный, вѣситъ 3,8 кило, то на килограммъ приходится 28 ваттъ-часовъ. Элементы побольше, дающіе токъ въ 78 амперъ и обладающіе емкостью въ 390 амперъ-часовъ, вѣсятъ наполненные 25,6 кило, такъ что на каждый килограммъ своего вѣса они могутъ отдать 30 ваттъ-часовъ полезной работы. При такомъ количествѣ полезной работы на килограммъ примѣненіе автомобилей дѣлается уже выгоднымъ, и дѣйствительно пользованіе электрическими автомобилями

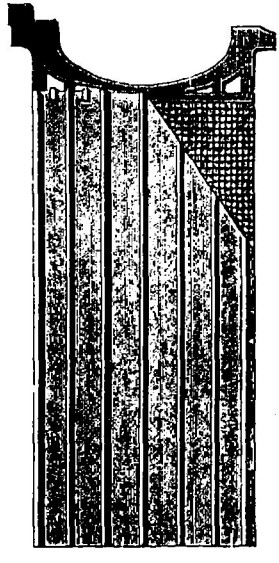
для городского передвиженія распространяется все на болѣе широкіе круги.

Кромѣ аккумуляторныхъ заводовъ въ Хагенѣ и Берлинѣ аккумуляторы поставляются и многими другими фирмами, причемъ въ главнѣйшихъ чертахъ всѣ конструкціи схожи между собой. Такъ фирма Готтфридъ Хагенъ въ Калькѣ около Кельна изготовляетъ за послѣднее время свои отрицательныя пластины, какъ показываетъ черт. 404; онѣ образуютъ рѣшетку съ узкими клѣтками; къ активной массѣ прибавляются вещества, препятствующія уплотненію свинца, и даже, на-

Черт. 404.



Черт. 405.



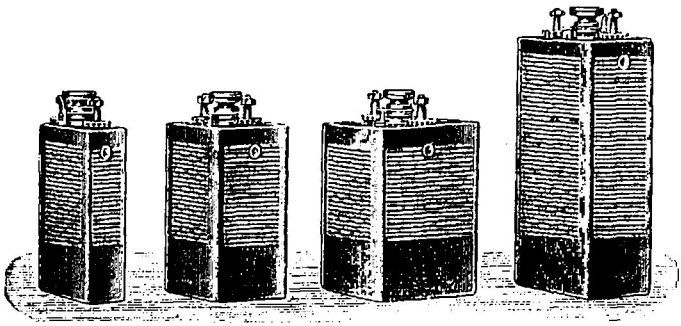
оборотъ, вызывающія его разрыхленіе. Для того же, чтобы избѣжать возможнаго выпаденія свинцовыхъ солей изъ рѣшетки, пластины окружаются слоемъ эбонита, снабженнаго отверстіями, настолько мелкими, что соли не могутъ пройти черезъ нихъ, а кислота можетъ свободно циркулировать (черт. 405). Къ эбонитовымъ пластинамъ приливаются эбонитовыя ребра, какъ это видно на послѣднемъ чертежѣ; они образуютъ собою электрическую изоляцію между отдѣльными пластинами вмѣсто употреблявшихся раньше стеклянныхъ трубочекъ.

Много разъ пытались построить какой-нибудь другой практичный аккумуляторъ не со свинцовыми пластинами. До сихъ поръ только Эдисонъ имѣлъ успѣхъ въ этомъ отношеніи; онъ изобрѣлъ аккумуляторъ, основанный на совсѣмъ другихъ химическихъ процессахъ; онъ имѣлъ прежде всего намѣреніе построить болѣе легкій аккумуляторъ, который былъ бы пригоденъ для автомобилей. Эти аккумуляторы распространяются нѣмецкимъ Акц. О-вомъ Эдисонъ, въ Берлинѣ; они об-

ладаютъ рядомъ преимуществъ, которыхъ не было до сихъ поръ у аккумуляторовъ.

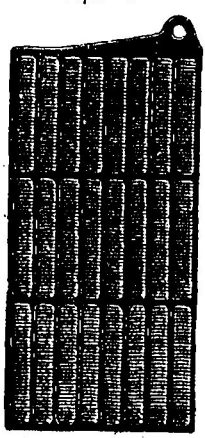
Аккумуляторъ Эдисона представляетъ собой желѣзо-никкелевый элементъ; жидкостью служитъ въ немъ 21% растворъ ѣдкаго кали. На черт. 406 представлены 4 типа этихъ аккумуляторовъ. Они

Черт. 406.



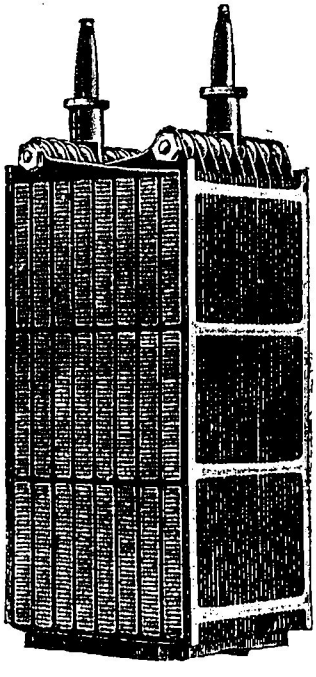
состоятъ изъ желѣзнаго рифленаго ящика, покрытаго никкелемъ, поэтому очень прочны, не бьются. Внутри ящика находятся электроды, состоящіе изъ тонкихъ стальныхъ пластинокъ, которыя служатъ только для укрѣпленія дѣйствующихъ массъ. Въ этихъ пластинкахъ прорѣзаны прямоугольныя отверстія, окна, въ которыя вставляются ящички изъ очень тонкой стали; эти ящички содержатъ дѣйствующую массу, которая кладется въ нихъ въ видѣ брикетовъ. Все вмѣстѣ, пластинка съ ящичками и брикеты сжимается подъ высокимъ давленіемъ. Черт. 407 изображаетъ такой электродъ съ 24 ящичками. На одной пластинѣ аккумулятора брикеты состоятъ изъ мелкаго порошка окиси желѣза и окиси ртути, брикеты же другой пластины—изъ мелкаго порошка гидрата никкеля, къ которому примѣшивается графитъ. Если теперь пустить токъ, то 2 частицы ѣдкаго кали (KHO) распадутся, и на никкелевой пластинѣ выдѣляется кислородъ, превращающій никкелевое соединеніе въ перекись никкеля, тогда какъ на желѣзномъ электродѣ находящееся тамъ желѣзное соединеніе возстановляется; наряду съ этимъ вновь возникаютъ 2 молекулы ѣдкаго кали, причемъ на одномъ электродѣ распадается частица воды, но на другомъ она образуется. Такимъ образомъ, жидкость не претерпѣваетъ никакихъ измѣненій; реакція заключается исключительно въ отнятіи кислорода отъ желѣза и въ передачѣ его никкелю. Если мы такой заряженный элементъ замкнемъ внѣшней цѣпью, то по ней потечетъ токъ разряда, причемъ

Черт. 407.



никкель будетъ возстановляться, а желѣзо окисляться. Для разряднаго тока положительнымъ электродомъ будетъ никкелевый. Такъ какъ жидкость не измѣняется и, слѣдовательно, какъ бы не участвуетъ въ процессѣ, а только является переносчикомъ электричества, то ея можно взять очень мало. Электродвижущая сила при разрядѣ равна 1,23 вольтъ, т. е. значительно меньше электродвижущей силы свинцовыхъ аккумуляторовъ. Но съ другой стороны при одной и той же величинѣ пластинъ этотъ аккумуляторъ можетъ переносить гораздо болѣе сильные разрядные токи. Затѣмъ элементъ можетъ оставаться заряженнымъ въ продолженіе недѣль и даже мѣсяцевъ безъ того, чтобы возникали нежелательные вторичные процессы. Дальше, емкость этихъ аккумуляторовъ не зависитъ отъ силы разряднаго тока. Изображенные выше 4 элемента заряжаются въ продолженіе $3^{3}/_{4}$ часа токомъ въ 7,5, 15, 22 и 30 амперъ и позволяютъ получить при разряженіи токъ въ 5, 10, 15, 20 амперъ, при чемъ они доставляютъ этотъ токъ также около $3^{1}/_{2}$ часовъ. Вслѣдствіе этого на каждый килограммъ приходится отъ 20 до 25 ваттъ-часовъ накопленной энергіи (вышеприведенные элементы вѣсятъ наполненными 1,6, 2,6, 3,8, 4,4 клгр.

Черт. 408.

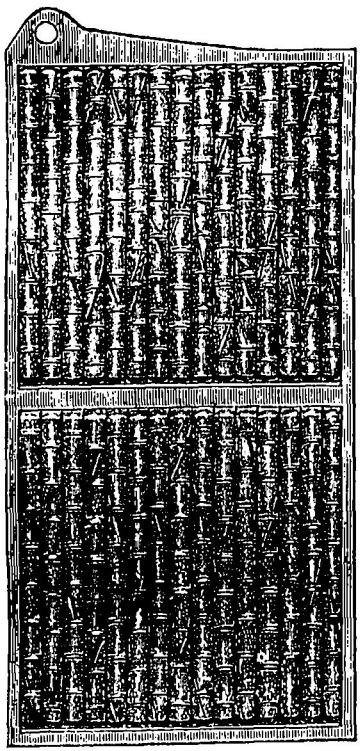


Черт. 408 представляетъ полный наборъ пластинъ элемента типа *II*. Между прочимъ на этомъ наборѣ можно видѣть электроды, ведущіе во внѣшнюю цѣпь.

Чтобы повысить количество накопленной энергіи, приходящееся на килограммъ вѣса, Эдисонъ въ послѣднее время измѣнилъ какъ форму пластинъ, такъ и ихъ приготовленіе. Новый типъ называется типомъ *A*. Отрицательныя пластины представляютъ собою, какъ и прежде, плоскіе ящички съ окисью желѣза и окисью ртути. Положительныя же пластины приготовляются теперь, какъ показываетъ черт. 409 изъ тонкихъ трубокъ, сдѣланныхъ изъ желѣзныхъ листовъ, снабженныхъ отверстіями; содержимое ихъ состоитъ изъ гидрата никкеля съ большой примѣсью мелкаго никкелеваго порошка. Благодаря такому измѣненію, емкость элемента при томъ же вѣсѣ повысилась на $25^{0}/_{0}$, такъ что теперь на килограммъ вѣса аккумулируется около 30 ваттъ-часовъ.

Такимъ образомъ по отношенію къ величинѣ накопляемой энергіи эдисоновскіе аккумуляторы по крайней мѣрѣ равноцѣнны легкимъ

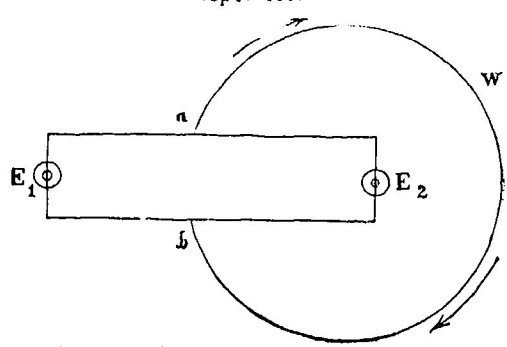
Черт. 409.



свинцовымъ аккумуляторамъ; а такъ какъ эти аккумуляторы отличаются прочнымъ и элегантнымъ устройствомъ и, говоря практически, неразрушимы, то они и завоевываютъ все новыя и новыя области примѣненія и именно въ дѣлѣ электрическихъ автомобилей и лодокъ.

Для заряженія аккумуляторовъ можетъ быть примѣняема, конечно, только машина постояннаго тока, удобнѣе всего машина съ параллельнымъ возбужденіемъ. Такъ какъ аккумуляторный токъ противоположенъ току машины при зарядкѣ, то аккумуляторъ заряжается лишь тогда, когда динамомашина имѣетъ бо́льшую электродвижущую силу, чѣмъ онъ самъ. Если по какой-нибудь причинѣ, напримѣръ, уменьшенію скорости хода газоваго двигателя, скольженію ремня и т. п. скорость динамо уменьшится, а, слѣдовательно, ея электродвижущая сила падетъ, то можетъ случиться, что на моментъ аккумуляторный токъ возьметъ перевѣсъ. Въ такомъ случаѣ у машины съ послѣдовательнымъ и со смѣшаннымъ возбужденіемъ магниты тотчасъ перемагнитятся и останутся перемагниченными и послѣ того, какъ скорость динамомашины стала нормальною. Тогда установится токъ обратнаго направленія, разряжающій аккумуляторы вмѣсто того, чтобы заряжать ихъ. Этого не можетъ случиться съ шунтовою машиною, такъ какъ въ ней по обмоткамъ электромагнитовъ будетъ протекать токъ все одного и того же направленія, несмотря на то, машинный, или по временамъ аккумуляторный токъ беретъ перевѣсъ. Это легко усматривается на схемѣ черт. 410, на которой E_1 E_2 изображаютъ двѣ различныя по величинѣ электродвижущія силы. У точекъ a и b отвѣтвляется сопро-

Черт. 410.

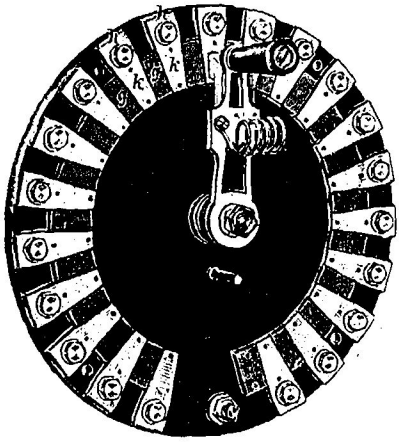


тивленіе w (E_1 —аккумуляторъ, E_2—якорь динамомашины, w обмотка магнитовъ машины). Если E_2 больше E_1, и положительный токъ идетъ отъ E_2 черезъ a къ E_1, то a имѣетъ положительный потенціалъ, b отрицательный, и токъ течетъ по w въ направленіи стрѣлки. Если, наоборотъ, E_1 сильнѣе E_2, то токъ пойдетъ между E_1 и E_2 въ противоположномъ направленіи отъ E_1 черезъ a къ E_2. Вслѣдствіе этого въ a тогда будетъ опять положительное напряженіе, въ b отрицательное, а токъ въ w пойдетъ опять по направленію стрѣлки, какъ и раньше. Какая бы изъ электродвижущихъ силъ ни преодолѣвала, машины или аккумуляторовъ, всегда токъ въ проволокѣ w, т. е. въ обмоткѣ магнитовъ, будетъ течь въ одномъ направленіи. Слѣдовательно, токъ динамомашины не устанавливается въ обратномъ направленіи, хотя иногда вслѣдствіе колебанія скорости онъ и можетъ стать на моментъ обратнымъ.

При всякой аккумуляторной установкѣ долженъ быть переключатель, который бы позволялъ привести въ соединеніе, во-первыхъ, динамомашину съ аккумуляторами, чтобы зарядить эти послѣдніе, и во-вторыхъ, аккумуляторы—съ тѣми приборами (калильными лампами, дуговыми лампами, электродвигателями и т. д.), чрезъ которые аккумуляторы должны разряжаться; притомъ эти переключенія должны производиться просто переводомъ какого-нибудь рычага или выключеніемъ штепселя. Кромѣ того необходимы какъ при заряженіи, такъ и разряженіи амперметръ и вольтметръ, которые бы постоянно указывали, въ порядкѣ ли находятся аккумуляторы. Для регулированія силы тока нуженъ еще реостатъ съ перемѣннымъ сопротивленіемъ, который долженъ быть разсчитанъ, вообще говоря, на сильные токи. Наконецъ, если при большой установкѣ важно, чтобы у зажимовъ аккумуляторной батареи напряженіе оставалось продолжительное время постояннымъ несмотря на то, что напряженіе каждаго отдѣльнаго элемента непрерывно падаетъ, пользуются такъ называемымъ элементнымъ коммутаторомъ, который служитъ для включенія и выключенія новыхъ элементовъ. Если, напримѣръ, имѣется 60 элементовъ, а для лампъ и т. д. необходимо напряженіе въ 110 вольтъ, то вначалѣ, пока каждый аккумуляторъ имѣетъ напряженіе въ 1,95 вольта, включается всего 56 элементовъ, но когда напряженіе каждаго аккумулятора понизится до 1,80 вольта, то слѣдуетъ включить уже 60 элементовъ. Это включеніе производится на коммутаторѣ отъ руки или автоматически.

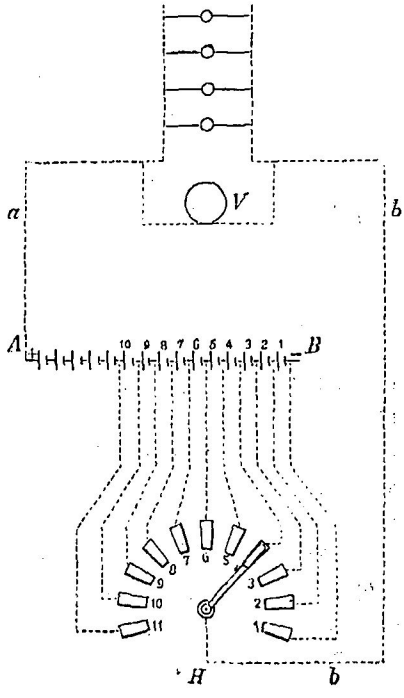
Коммутаторъ состоитъ съ внѣшней стороны, какъ изображено на черт. 411 (элементный коммутаторъ Др. Поль Мейера, Берлинъ) изъ ряда контактныхъ пластинъ k k, расположенныхъ обыкновенно по кругу на шиферной доскѣ; по нимъ-то и передвигается рычагъ коммутатора. Каждый изъ участвующихъ въ переключеніи аккумуля-

Черт. 411.



торовъ соединенъ проволокою съ одною изъ контактныхъ пластинъ. Контактныя пластины отдѣлены другъ отъ друга изолирующими стеклянными пластинами *gg*. Дѣйствіе коммутатора яснѣе всего видно на черт. 412; на немъ показана аккумуляторная батарея *A B*, у которой каждый изъ послѣднихъ 10 элементовъ соединенъ проволокою съ контактною пластиною коммутатора. Одинъ магистральный проводъ *a* идетъ во внѣшнюю цѣпь (въ лампы, на чертежѣ) отъ начала *A* (+полюса) батареи, второй *b* отъ рычага коммутатора *H*. При изображенномъ на чертежѣ положеніи, какъ легко видѣть, всѣ аккумуляторы отъ *A* до 4-го посылаютъ токъ въ провода, тогда какъ аккумуляторы 1, 2, 3 выключены. *V*—вольтметръ.

Черт. 412.

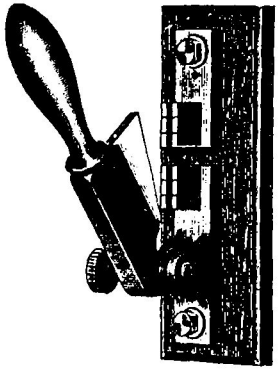


Если желаютъ заряжать аккумуляторы и въ то же время пользоваться ихъ токомъ (напр., для лампъ накаливанія), то нужно устроить два коммутатора, изъ которыхъ одинъ служитъ для только что описанной цѣли, поддерживать постояннымъ напряженіе въ освѣтительной цѣпи; другой же совершенно выключаетъ тѣ вполнѣ уже заряженные аккумуляторы, которые не употребляются для освѣтительной цѣпи и, слѣдовательно, скорѣе зарядились. Оба коммутатора соединяются обыкновенно въ приборѣ съ двумя рычагами и называются тогда двойнымъ элементнымъ коммутаторомъ.

Всѣ аппараты, служащіе для измѣренія тока, включенія его и выключенія устанавливаются обыкновенно на особой, такъ называемой, распредѣлительной доскѣ. Приспособленія для включенія и выключенія тока или для переключенія его изъ одной цѣпи въ другую должны быть построены

особенно солидно и тщательно для сильныхъ токовъ, какими обыкновенно пользуются на практикѣ. Такъ, черт. 413 показываетъ разомкнутый выключитель — рубильникъ, изготовляемый фирмой А. Е. G. На дощечкѣ, укрѣпляемой на распредѣлительной доскѣ, имѣется пара тѣсно расположенныхъ пружинящихъ латунныхъ пластинъ. Между этими пластинами можетъ вдвигаться и быстро выдвигаться, благодаря дѣйствію пружинъ, латунный рычагъ, прикрѣпленный къ ручкѣ. Цѣпь, которую нужно по желанію замыкать и размыкать, подходитъ снизу къ зажиму рычага и идетъ дальше отъ зажима у пластинъ наверху выключателя.

Черт. 413.

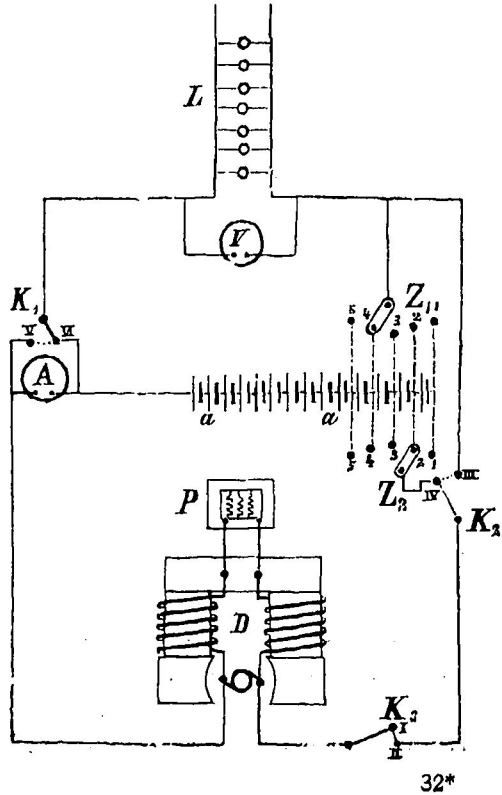


Черт. 414.



Для переключенія тока съ одной цѣпи на другую однимъ движеніемъ пользуются обыкновенно переключателемъ. Черт. 414 представляетъ переключатель, изготовляемый фирмой Сименсъ и Гальске. Особая гладкая пружинящая латунная полоска можетъ быть при помощи ручки передвигаема то на лѣвый контактъ, то на правый, причемъ самые контакты состоятъ изъ широкихъ латунныхъ пластинъ. Токъ подходитъ къ рычагу, а съ него черезъ одну или другую латунную пластинку дальше въ провода, присоединенные къ этимъ пластинкамъ.

Черт. 415.



Черт. 415 показываетъ схему соединенія динамомашины, батареи аккумуляторовъ aa и нѣкотораго числа лампъ накаливанія L_1 которыя должны быть питаемы какъ токомъ отъ динамомашины, такъ и аккумуляторовъ и

притомъ также и во время зарядки. Аккумуляторы и лампы накаливанія соединяются параллельно. Отъ динамомашины D направляются два провода, вправо и влѣво. Между этими проводами включены аккумуляторы (обыкновенно съ указателемъ направленія тока, т. е. простымъ гальваноскопомъ) съ ихъ двойнымъ коммутаторомъ; въ верхней части чертежа показаны лампы накаливаніи, включенныя между тѣми же проводами всѣ параллельно, какъ и вольтметръ V при нихъ. Коммутаторъ (III и IV), изображенный направо, служитъ къ тому, чтобы направить прямо въ лампы токъ отъ однихъ только аккумуляторовъ или (при положеніи, изображенномъ на черт.) токъ отъ машины направить въ аккумуляторы и, такимъ образомъ, зарядить ихъ, питая въ тоже время лампы токомъ отъ той-же машины, Амперметръ A, изображенный налѣво, можетъ показать величину тока, отъ машины или аккумуляторовъ смотря по положенію своего коммутатора (V и VI). Разсмотримъ различные случаи соединеній при такой схемѣ.

Первый случай. Нижній выключатель K_3 въ положеніи I. При этомъ динамомашина совсѣмъ выключена изъ цѣпи, и аккумуляторы одни замкнуты на лампы. Элементный коммутаторъ Z_1 на 4, вслѣдствіе чего крайніе три элемента выключены, и токъ идетъ отъ батареи чрезъ аккумуляторъ 4 въ лампы и возвращается оттуда (чрезъ лѣвый переключатель K_1 въ положеніи VI) въ батарею. Если лѣвый переключатель стоитъ въ положеніи V, то включается и амперметръ, позволяющій опредѣлить силу разряжающаго тока. Вольтметръ, включенный въ отвѣтвленіе, измѣряетъ напряженіе и показываетъ сколько аккумуляторовъ нужно включить или выключить посредствомъ элементнаго коммутатора, чтобы напряженіе держалось на требуемой высотѣ (напр. 110 вольтъ).

Второй случай. Нижній выключатель K_3 въ положеніи II, но правый переключатель K_2 на III. Въ этомъ случаѣ аккумуляторы вполнѣ выключены (при этомъ рычагъ элементнаго коммутатора стоитъ на изоляторѣ), и токъ отъ машины направляется прямо въ лампы. Его сила измѣряется на амперметрѣ, если K_1 стоитъ на VI.

Третій случай. Нижній выключатель на II, переключатель K_2 справа—на IV. Токъ отъ машины идетъ и чрезъ лампы, и чрезъ аккумуляторы; токъ отъ аккумуляторовъ направляется также къ лампамъ, при чемъ токъ отъ машины заряжаетъ всѣ элементы за исключеніемъ 1, который выключенъ, и лампы питаются всѣми аккумуляторами за исключеніемъ 1, 2, и 3. Амперметръ измѣряетъ токъ, проходящій чрезъ аккумуляторы.

Аккумуляторы всегда выгодны въ тѣхъ случаяхъ, когда они могутъ служить къ запасанію той работы, которая безъ нихъ

пропала бы безъ пользы. Напр., на фабрикахъ, гдѣ работаютъ большія паровыя машины, обыкновенно бываетъ возможность приводить въ дѣйствіе еще и динамомашину безъ нарушенія правильнаго хода основныхъ работъ. Динамомашина можетъ заряжать аккумуляторную батарею, которая вечеромъ будетъ отдавать свой зарядъ, питая сѣть электрическаго освѣщенія. Такимъ образомъ, освѣщеніе фабрики производится въ извѣстной мѣрѣ на счетъ той силы, которая представляетъ собою избытокъ при дневной работѣ.

Аккумуляторы играютъ весьма важную роль на центральныхъ электрическихъ станціяхъ, доставляющихъ постоянный токъ. Дѣйствительно, станціи должны быть въ состояніи ежедневно удовлетворять максимальной потребности въ электричествѣ для освѣщенія города. Но эта максимальная потребность существуетъ лишь короткое время, а именно съ тѣхъ поръ, какъ становится темно, до 10 часовъ вечера; только за эти часы машины работаютъ всею своею мощью. Включеніе батареи аккумуляторовъ позволяетъ устанавливать машины гораздо меньшихъ размѣровъ, чѣмъ нужно для максимальной потребности. Днемъ въ часы небольшого спроса на освѣщеніе онѣ заряжаютъ аккумуляторы, вечеромъ же аккумуляторы помогаютъ машинѣ въ удовлетвореніи максимальнаго спроса. Именно на центральныхъ станціяхъ и примѣняются больше всего аккумуляторныя батареи.

Когда центральная станція приводитъ въ движеніе электрическій трамвай, то токъ, доставляемый динамомашиной, испытываетъ многочисленныя и внезапныя измѣненія въ силѣ; каждый трамвайный вагонъ требуетъ гораздо больше тока, когда онъ трогается, чѣмъ при равномѣрномъ движеніи; съ другой стороны мѣстами, передъ остановками, онъ можетъ двигаться совсѣмъ безъ тока благодаря полученной живой силѣ. Такія рѣзкія колебанія нагрузки отражаются на работѣ двигателя динамомашины въ томъ смыслѣ, что потребленіе угля становится значительно больше, чѣмъ если бы двигатель оставался подъ постоянной нагрузкой. Въ такомъ случаѣ отлично помогаетъ батарея аккумуляторовъ, включенная параллельно динамомашинѣ, а слѣдовательно параллельно вагонамъ трамвая. Эта батарея, если она взята достаточно большой, выравниваетъ колебанія тока; роль динамомашины сводится къ постоянному заряженію батареи, продолжающемуся и тогда, когда послѣдняя отдаетъ токъ. Такія батареи называютъ буферными. Онѣ дѣйствуютъ такъ, какъ будто бы колебанія въ потребленіи тока, прежде чѣмъ коснуться динамомашины, ослаблялись аккумуляторами, какъ буферами, и потребленіе тока дѣлается равномѣрнымъ.

Но и для малыхъ установокъ выгодно пользоваться аккумуляторами. Выгода ихъ въ томъ, что они во время разрядки не нуждаются въ присмотрѣ. Поэтому очень рекомендуется пользоваться аккумуля-

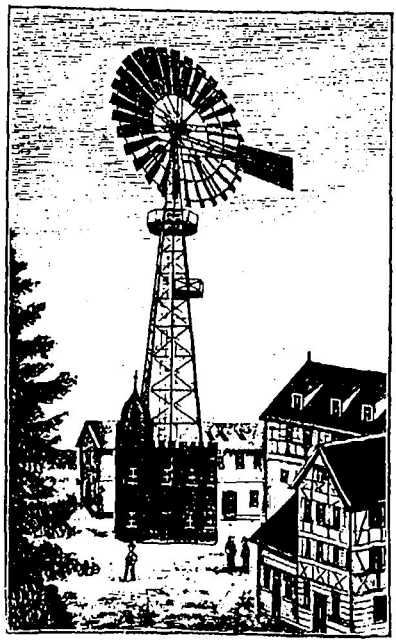
торной батареей соотвѣтственной величины въ частныхъ домахъ, или торговыхъ помѣщеніяхъ, получающихъ токъ отъ собственныхъ динамомашинъ. Въ самомъ дѣлѣ, въ противномъ случаѣ машина должна была бы работать всю ночь, если только хотятъ зажигать въ ночное время хотя бы одну лампу, тогда какъ заряженная аккумуляторная батарея безъ всякаго присмотра и днемъ, и ночью можетъ удовлетворять небольшое потребленіе.

Вообще во многихъ оборудованіяхъ, въ которыхъ пользуются примѣненіями электричества, аккумуляторная батарея служитъ какъ бы резервуаромъ, который вбираетъ электричество и въ любой моментъ отдаетъ обратно. Такъ паровыя машины, нагрузка которыхъ на большинствѣ фабрикъ сложно мѣняется, при наличности аккумуляторной батареи работаютъ равномѣрнѣе, а вслѣдствіе этого и экономичнѣе, потому что, какъ только уменьшится нагрузка онѣ немедленно обращаются на заряженіе батареи и такимъ образомъ могутъ сберегать затраченную работу.

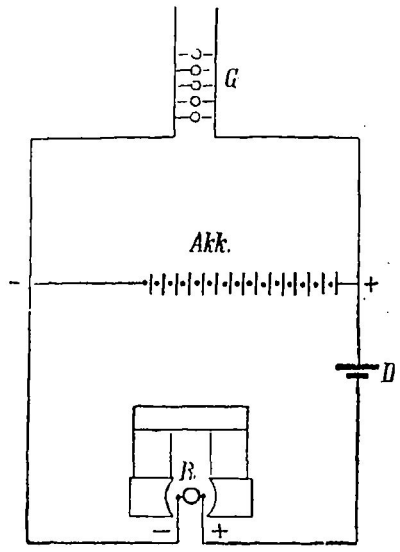
Въ послѣднее время аккумуляторы нашли своеобразное примѣненіе во многихъ сооруженіяхъ, представляющихъ собою использованіе силы вѣтра для электрическаго освѣщенія и вообще электрической работы. Вслѣдствіе неравномѣрности дѣйствія вѣтра это возможно только въ томъ случаѣ, когда, приведя въ движеніе вѣтромъ динамомашину, посредствомъ нея заряжаютъ батарею аккумуляторовъ, которая собираетъ неравномѣрную энергію вѣтра и отдаетъ въ видѣ равномѣрной полезной работы. Такія сооруженія, основанныя на примѣненіи силы вѣтра, существуютъ въ большомъ количествѣ въ отдѣльныхъ помѣстьяхъ Даніи, но встрѣчаются уже и въ Германіи, причемъ по этому типу устраиваютъ даже маленькія электрическія станціи, доставляющія токъ въ различныя мѣста. Конечно, для такой станціи необходимымъ условіемъ является то, чтобы въ данной мѣстности круглый годъ дулъ хотя бы небольшой вѣтеръ. Съ хорошо построенными вѣтряными двигателями (вѣтряными турбинами) можно использовать для работы уже слабый вѣтеръ, имѣющій скорость всего 4 мт. въ секунду; при такомъ вѣтрѣ колеблются лишь небольшія вѣтки деревьевъ, а даже тонкіе сучья остаются безъ движенія. При болѣе сильномъ вѣтрѣ, скорость котораго достигаетъ 6—7 мт., при которомъ колеблются уже сучья деревьевъ, мощность такого вѣтряного двигателя въ три, четыре раза больше. При еще болѣе сильномъ вѣтрѣ явилась бы уже опасность повредить двигатель, если бы не существовало, какъ это и бываетъ всегда, автоматическихъ или неавтоматическихъ приспособленій для того, чтобы ставить поверхность крыльевъ наклонно къ вѣтру, и такимъ образомъ удерживать ихъ скорость въ извѣстныхъ границахъ. Черт. 416 изображаетъ такой вѣтряный двигатель на высокой башнѣ, съ поперечнымъ сѣченіемъ колеса въ

12 мт.; эта турбина при скорости вѣтра отъ 4 до 5 мт. развиваетъ 6 лошадиныхъ силъ мощности, при скорости въ 6 -7 мт. уже 14, а при 8 мт. больше 20 лошадиныхъ силъ; она работаетъ даже при вѣтрѣ, скорость котораго отъ 3 до 4 мт. Сила, развиваемая турбиною, посредствомъ коническихъ колесъ и длинной штанги, а также передачи, находящейся внизу, приводитъ въ движеніе динамомашину. Динамомашина заряжаетъ батарею аккумуляторовъ. Особенно важно имѣть приспособленія, которыя устраняли бы вредное дѣйствіе внезапныхъ или постепенныхъ измѣненій въ силѣ вѣтра. Такъ, если вѣтеръ становится слишкомъ слабымъ, напряженіе динамомашины падаетъ и уже заряженный аккумуляторъ разрядился бы черезъ машину. Нужно,

Черт. 416.



Черт. 417.



слѣдовательно, позаботиться, чтобы токъ аккумулятора не шелъ въ обратномъ направленіи, когда токъ въ динамомашинѣ дѣлается слишкомъ слабымъ. Проще всего это сдѣлать, включивъ между динамомашиной и аккумуляторами элементъ съ алюминіевымъ электродомъ (стр. 175), такъ называемый реактивный элементъ, какъ показываетъ черт. 417. Между динамомашиной, полюсы которой обозначены + и —, и батареей аккумуляторовъ включается реактивный элементъ *D* такимъ образомъ, что его алюминіевая пластина соединяется съ + полюсомъ аккумулятора. Тогда токъ можетъ свободно итти отъ *R* къ аккумулятору, но не наоборотъ отъ аккумулятора къ *R*. Вмѣсто алюминіеваго элемента примѣняютъ также переключатели съ подвижными частями. Наоборотъ, чтобы сдѣлать безвредными внезапные сильные

порывы вѣтра, которые значительно быстрѣе вращаютъ моторъ и динамомашину и могли бы сильно повысить напряженіе динамомашины, нужно лишь присоединить самодѣйствующій выключатель, который автоматически вводилъ бы сопротивленія въ обмотку магнитовъ шунтовой машины при увеличеніи быстроты ея хода и такимъ образомъ ослаблялъ бы ея магнитное поле. Тогда напряженіе, возросшее вслѣдствіе большей скорости, снова достигаетъ нормальной величины. При помощи подобныхъ приспособленій центральная станція, пользующаяся силою вѣтра, можетъ работать безостановочно; нужно только устроить такъ, чтобы во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда вѣтра не бываетъ по цѣлымъ днямъ, можно было пустить въ ходъ какой-либо запасной двигатель, напр. керосиновый и т. под. Такія установки, утилизирующія силу вѣтра, требуютъ меньше издержекъ, чѣмъ установки другого рода, что подтвердилось на дѣлѣ въ цѣломъ рядѣ мѣстностей.

Если когда-нибудь истощеніе каменнаго угля дойдетъ до такой степени, что придется серьезно взяться за регулировку того расточительнаго потребленія его, какое наблюдается въ настоящее время, тогда люди научатся пользоваться не только текучей водой и вѣтромъ, но и другими источниками силы, которые въ настоящее время еще остаются неиспользованными, какъ падающій дождь, приливы и отливы и, наконецъ, непосредственно солнечная теплота.

ГЛАВА IV.

Трансформаторы, умформеры и выпрямители.

Итакъ, мы видѣли, что аккумуляторы сыграли весьма важную роль при практическихъ примѣненіяхъ постояннаго тока. Не меньшее значеніе для техническихъ приложеній перемѣннаго тока пришлось на долю трансформаторовъ, хотя совсѣмъ въ иномъ смыслѣ. Если бы можно было при постоянномъ токѣ, кромѣ аккумуляторовъ, имѣть еще и практичные трансформаторы и можно было, наоборотъ, при перемѣнномъ токѣ, кромѣ трансформаторовъ, имѣть подходящіе аккумуляторы, тогда каждый изъ этихъ типовъ тока былъ бы доведенъ до полнаго совершенства. Но теперь каждый изъ нихъ имѣетъ свои преимущества и свои недостатки. Трансформаторъ перемѣннаго тока есть главная причина, почему перемѣнный токъ во многихъ случаяхъ вытѣснилъ токъ постоянный.

Трансформаторы выполняютъ задачу обращать электрическіе токи слабаго напряженія и большой силы въ токи большого напряженія, но малой силы, и наоборотъ.

Всякій электрическій токъ, какъ мы уже знаемъ, можетъ производить извѣстное дѣйствіе, имѣетъ извѣстную мощность, т. е. въ каждую секунду совершать извѣстную работу. Величина работы, которую токъ, идущій по проводу, можетъ совершать въ каждую секунду, измѣряется произведеніемъ его напряженія на силу тока (см. стр. 128). Если первое выражено въ вольтахъ, а вторая въ амперахъ, то дѣйствіе электрическаго тока выражается въ вольтъ-амперахъ, или ваттахъ. Работа, которую токъ можетъ произвести за извѣстное время, равна, слѣдовательно, произведенію числа ваттовъ на это время.

Два тока могутъ, слѣдовательно, обладать одною и той же мощностью, хотя бы они и имѣли совершенно различныя напряженія и величины, если только произведеніе изъ напряженія (вольты) на силу тока (амперы) у нихъ будетъ однимъ и тѣмъ же. Токъ въ 1.000 вольтъ напряженія и $^1/_2$ ампера силою обладаетъ тою же мощностью, какъ и другой токъ съ напряженіемъ въ 2 вольта и силой въ 250 амп. Произведеніе въ обоихъ случаяхъ равно 500 ваттамъ.

Работа внѣшняго двигателя, напр. паровой машины, именно и придаетъ току его мощность. Отсюда ясно, что принципіально вполнѣ возможно, безъ затраты особой энергіи, увеличить напряженіе тока на счетъ его силы или силу на счетъ напряженія. Остается лишь вопросъ, можно ли и какимъ образомъ выполнить это преобразованіе и, во-вторыхъ, можетъ ли эта трансформація имѣть практическое примѣненіе.

Чтобы отвѣтить сначала на второй вопросъ, о практической пользѣ, мы должны сказать, что она прежде всего заключается въ рѣзко выступающей дешевизнѣ передачи электрической энергіи на большія разстоянія посредствомъ токовъ высокаго напряженія и малой силы по сравненію съ токами малаго напряженія и большой силы, и потому такая трансформація даетъ болѣе легкую, а иногда даже единственную возможность воспользоваться главнымъ преимуществомъ электричества, а именно—его способностью передаваться на любое разстояніе.

Если въ какомъ-либо мѣстѣ A динамомашина производитъ токъ, который долженъ быть посылаемъ въ другое мѣсто B, можетъ быть, очень отдаленное отъ A, для питанія напр. дуговыхъ лампъ, то A и B должны быть соединены проводникомъ и обыкновенно двумя проводами — одинъ для тока туда, другой — для обратнаго. Токи, протекая по этимъ проводамъ, развиваютъ тепло по всей проводкѣ, по закону Джоуля. На это совершенно безполезное нагрѣваніе постоянно теряется извѣстное количество энергіи, которое и доставляется паровымъ двигателемъ, приводящимъ динамомашину въ дѣйствіе. Количество тепла, выдѣляемое въ проводникахъ за каждую секунду, равно сопротивленію проводниковъ, умноженному на квадратъ силы тока. Отсюда мы видимъ, что, при данномъ проводникѣ, чѣмъ больше сила тока, тѣмъ больше и выдѣляемое безполезно количество тепла, пропорціональное квадрату силы тока, а слѣдовательно, и безполезно затрачиваемая работа. Можно и должно требовать, чтобы эта энергія, по необходимости теряемая въ проводникѣ, не превосходила извѣстнаго процента всей энергіи; этому требованію можно удовлетворить двумя способами. Можно, во-первыхъ, уменьшить сопротивленіе проводниковъ. Такъ какъ джоулево тепло пропорціонально сопротивленію, то, теоретически говоря, можно уменьшить эту безполезную трату энергіи до какой угодно величины, уменьшая сопротивленіе проводниковъ. Но практика ставитъ тѣсные предѣлы этому уменьшенію. Уменьшеніе сопротивленія проводовъ при заданной ихъ длинѣ можетъ быть производимо лишь увеличеніемъ сѣченія проволоки; такимъ образомъ, при мѣдныхъ проводахъ пришлось бы, смотря по силѣ тока, употреблять все болѣе и болѣе толстыя проволоки и, наконецъ, мѣдные стержни. Но при этомъ стоимость установки сильно повышается, и

скоро наступаетъ моментъ, когда проценты съ затраченнаго на мѣдь капитала равняются стоимости той энергіи, которая безполезно потратилась бы при меньшемъ сѣченіи проводовъ. Съ этого момента, конечно, увеличеніе діаметра проводовъ не имѣетъ никакого экономическаго значенія. Такой случай оказывается уже при разстояніяхъ между станціями въ 1.000—1.500 метровъ.

Но можно прибѣгнуть ко второму способу, который также позволяетъ достичь того, чтобы безполезная затрата энергіи не переходила назначеннаго предѣла, а именно—къ уменьшенію силы тока. Дѣйствительно, если уменьшать силу тока, то можно уменьшить джоулево тепло до любой величины.

Но такъ какъ тамъ, куда посылается электрическій токъ, требуется токъ извѣстной силы, напр. для питанія дуговыхъ лампъ, то и можетъ показаться, что нельзя по желанію уменьшать силу тока въ цѣпи. Однако здѣсь-то и выступаетъ польза трансформаторовъ. Легко можно, проводя какой угодно слабый токъ по линіи между A и B, получить на питаемой станціи токъ значительной силы, если только трансформировать его на этой станціи. При этомъ, конечно, трансформаторъ не дастъ никакого увеличенія энергіи, и токъ, приходящій въ B, долженъ уже обладать по крайней мѣрѣ тою энергіею, какая потребна на этой станціи. Если же приходящій токъ долженъ быть малой силы, то это значитъ, что его напряженіе должно быть велико, ибо произведеніе силы тока на электродвижущую силу и даетъ мощность тока.

Такимъ образомъ, чтобы передать энергію посредствомъ электрическаго тока на большія разстоянія и при этомъ избѣжать большой потери, не прибѣгая къ очень толстымъ проводамъ, слѣдуетъ пользоваться слабыми токами высокаго напряженія (большой электродвижущей силы). На мѣстѣ потребленія обыкновенно требуется токъ большой силы и сравнительно малаго напряженія, а потому посылаемый токъ слѣдуетъ здѣсь трансформировать, понижая напряженіе и увеличивая его силу.

Но и на генераторной станціи часто токъ получается не въ томъ видѣ, какой нуженъ для передачи на большія разстоянія. Его напряженіе бываетъ иногда слишкомъ мало, такъ какъ постройка динамомашинъ на очень большое напряженіе представляетъ извѣстныя трудности. Въ такомъ случаѣ токъ трансформируется въ первый разъ—на мѣстѣ отправленія, до достаточно высокаго напряженія, и у другого конца линіи снова трансформируется въ обратномъ смыслѣ.

Эта задача преобразованія энергіи электрическаго тока для перемѣнныхъ токовъ разрѣшается сама собою, хотя и несовершеннымъ образомъ, въ тѣхъ индукціонныхъ приборахъ, какіе строятся со временъ Фарадея и описаніе которыхъ мы дали на стр. 260. Они состоятъ

изъ двухъ катушекъ проволоки, первичной и вторичной, одна изъ которыхъ (обыкновенно первичная) заключена въ другую. Внутри первичной катушки обыкновенно находится еще сердечникъ изъ мягкаго желѣза, образуемый пучкомъ желѣзныхъ проволокъ, покрытыхъ снаружи окисью, для избѣжанія токовъ Фуко. Если пропускать по первичной катушкѣ такого прибора перемѣнный токъ, возбуждаемый гдѣ-либо внѣ, напримѣръ, динамомашиною перемѣннаго тока, то колебанія въ силѣ первичнаго тока вызовутъ индукціонные токи во вторичной катушкѣ, и, такимъ образомъ, по этой послѣдней, а также по замыкающей ее внѣшней цѣпи будетъ проходить тоже перемѣнный токъ. Желѣзный сердечникъ усиливаетъ индукціонные токи, такъ какъ при перемѣнахъ направленія первичнаго тока сердечникъ будетъ мѣнять направленіе своего намагниченія, что такъ же, какъ и колебаніе тока въ первичной катушкѣ, вызоветъ индукціонныя электродвижущія силы, которыя будутъ усиливать индукцію отъ первичной катушки.

Электродвижущая сила вторичнаго тока, какъ мы видѣли на стр. 245, зависитъ отъ слѣдующихъ трехъ величинъ. Во-первыхъ, отъ силы первичнаго тока; далѣе, отъ числа оборотовъ проволоки во вторичной катушкѣ и, наконецъ, отъ скорости, съ какою происходитъ измѣненіе первичнаго тока. Изъ этого слѣдуетъ, что при всякомъ заданномъ перемѣнномъ токѣ въ первичной цѣпи можно получить какое угодно напряженіе во вторичной катушкѣ простымъ измѣненіемъ числа оборотовъ ея обмотки. Легко устроить такъ, чтобы вторичный токъ былъ болѣе высокаго напряженія, чѣмъ первичный; для этого стоитъ лишь сдѣлать больше оборотовъ во вторичной катушкѣ, чѣмъ въ первичной. Можно устроить и наоборотъ, чтобы напряженіе вторичнаго тока было менѣе напряженія первичнаго, стоитъ лишь во вторичной обмоткѣ сдѣлать немного витковъ, а въ первичной — больше. Наконецъ, возможно достичь того, чтобы напряженіе въ обѣихъ цѣпяхъ было одно и то же; для этого нужно лишь, чтобы въ первичной и вторичной катушкахъ, если только онѣ расположены вполнѣ симметрично одна относительно другой, было по одному и тому же числу витковъ.

Такимъ образомъ, важное значеніе имѣетъ отношеніе числа первичныхъ витковъ къ числу вторичныхъ. Отношеніе:

$$\frac{\text{число первичныхъ витковъ}}{\text{число вторичныхъ витковъ}}$$

называется коэффиціентомъ трансформаціи трансформатора.

Если этотъ коэффиціентъ больше единицы, то въ первичной катушкѣ больше витковъ, чѣмъ во вторичной, и, слѣдовательно, токъ трансформируется съ высшаго напряженія на низшее.

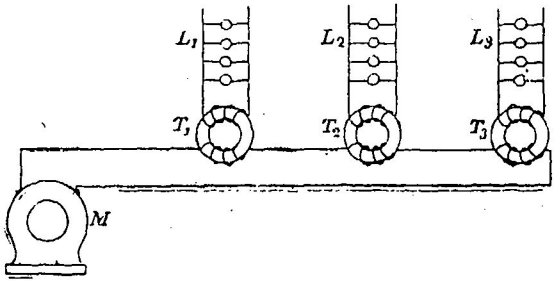
Если же этотъ коэффиціентъ меньше 1, то первичныхъ оборотовъ меньше, чѣмъ вторичныхъ, и, слѣдовательно, изъ тока меньшаго напряженія получается токъ большаго напряженія. Къ этому случаю относятся всѣ такъ называемые индукціонные приборы; они представляютъ изъ себя, слѣдовательно, трансформаторы съ коэффиціентомъ меньшимъ единицы.

Если, наконецъ, этотъ коэффиціентъ равенъ единицѣ, то въ первичной и во вторичной цѣпи напряженія одинаковы. Въ этомъ случаѣ собственно не происходитъ никакого преобразованія электрической энергіи.

Можетъ показаться, что приборы, подходящіе подъ послѣдній случай, не представляютъ никакой выгоды. На самомъ же дѣлѣ они полезны въ слѣдующемъ отношеніи. Если трансформаторъ, т. е. его первичную обмотку, включить въ цѣпь, то его вторичною обмоткою можно пользоваться для производства какихъ-либо электрическихъ дѣйствій, т. е. для питанія калильныхъ или дуговыхъ лампъ, приведенія въ дѣйствіе двигателей и проч. Если въ ту же первичную цѣпь включены еще другой, третій и т. д. трансформаторы, то вторичныя ихъ обмотки остаются совершенно независящими одна отъ другой. То, что происходитъ во вторичной обмоткѣ второго трансформатора, не оказываетъ никакого вліянія на вторичную цѣпь перваго, если только токъ главной цѣпи остается неизмѣннымъ. Такимъ образомъ, трансформаторы представляютъ собою средство къ полученію отъ одной первичной цѣпи ряда независимыхъ другъ отъ друга вторичныхъ цѣпей. Каждый трансформаторъ представляетъ собою до нѣкоторой степени отдѣльную динамомашину, питающую вторичную цѣпь. Именно для этой цѣли и были устраиваемы первые трансформаторы (Яблочковымъ), имѣвшіе притомъ коэффиціентъ трансформаціи равнымъ 1.

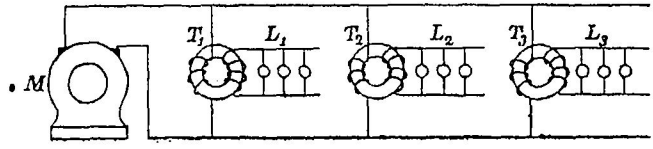
Схема подобнаго включенія трансформаторовъ изображена на черт. 418. Кольца $T_1 T_2 T_3$ изображаютъ трансформаторы. Нижніе витки представляютъ первичную обмотку, верхніе — вторичную. Провода, идущіе отъ машины M, проходятъ послѣдовательно по 3 первичнымъ обмоткамъ трансформаторовъ, а отъ каждаго трансформатора идутъ вторичныя цѣпи L_1 L_2 L_3 — питающія хотя бы лампы накаливанія или моторы, включенные параллельно.

Черт. 418.



Но гораздо цѣлесообразнѣе, въ смыслѣ дешевой передачи энергіи въ разныя мѣста, включать трансформаторы (т. е. ихъ первичныя обмотки) не послѣдовательно, а параллельно. Схема подобнаго включенія изображена на черт. 419, на которомъ буквы имѣютъ тѣ же значенія, что на предыдущемъ чертежѣ. Первичныя обмотки всѣхъ

Черт. 419.



трансформаторовъ включены параллельно; въ ихъ вторичныя обмотки включены тоже параллельно пріемные приборы. Дальнѣйшія детали такой схемы и выгоды ея будутъ изложены въ IX главѣ; здѣсь мы займемся исключительно конструкціей самихъ трансформаторовъ и не будемъ разбирать способовъ ихъ включенія.

Главное требованіе, предъявляемое каждому трансформатору, состоитъ въ томъ, чтобы онъ производилъ преобразованіе энергіи безъ большихъ потерь. Другими словами, энергія, получаемая во вторичной цѣпи отъ зажимовъ вторичной обмотки трансформатора, не должна быть на много меньше энергіи, входящей въ первичную обмотку чрезъ ея зажимы. Полное равенство этихъ количествъ энергіи невозможно; въ трансформаторѣ по необходимости произойдетъ потеря энергіи. Прежде всего въ первичной и вторичной обмоткахъ произойдетъ выдѣленіе джоулева тепла, развиваемаго на счетъ поступающей энергіи и пропадающаго безполезно для дѣйствія трансформатора. Кромѣ этого, въ сердечникѣ катушекъ возбуждаются токи Фуко, поглощающіе энергію. Наконецъ, въ-третьихъ, при періодически измѣняющемся направленіи намагниченія въ желѣзѣ выступаютъ задерживающія силы (стр. 189), которыя должны быть преодолѣваемы также на счетъ извѣстной части энергіи, затрачиваемой на первичную цѣпь. Эти потери, происходящія при періодическомъ измѣненіи намагниченія, называются (см. стр. 190) потерею на гистерезисъ. Для краткости обозначаютъ послѣднія двѣ потери,—какъ потери въ желѣзѣ, въ сердечникѣ, тогда какъ джоулево тепло есть потеря въ обмоткѣ (потери въ мѣди).

Вслѣдствіе всѣхъ этихъ потерь энергія, идущая отъ зажимовъ вторичной обмотки въ потребляющіе приборы, по необходимости меньше энергіи, направляющейся въ первичную обмотку. Отношеніе обоихъ этихъ количествъ энергіи называется коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія трансформатора и выражается въ процентахъ.

Въ новѣйшихъ трансформаторахъ полезное дѣйствіе доходитъ до 98%, такъ что при трансформаціи электрической энергіи теряется лишь 2% ея.

Этотъ превосходный результатъ былъ достигнутъ впервые фирмою Ганцъ и К° благодаря особой конструкціи ея трансформаторовъ и черезъ возможное устраненіе вышеперечисленныхъ потерь.

Желѣзныя массы трансформаторовъ Ганцъ и К° имѣютъ форму кольца, а не форму прямого стержня, какъ у индукціонныхъ приборовъ. Это кольцо вполнѣ покрывается обѣими обмотками. Оно не имѣетъ свободныхъ полюсовъ, если его намагнитить, но, когда его магнитизмъ мѣняется, оно дѣйствуетъ совершенно такъ же, какъ магнитъ, имѣющій полюса. Трансформаторы этого типа, въ которыхъ желѣзо образуетъ замкнутую массу, называются безполюсными трансформаторами. Эта замкнутая форма желѣзнаго сердечника имѣетъ большое преимущество передъ разомкнутымъ сердечникомъ, имѣющимъ форму стержня, такъ какъ въ случаѣ замкнутаго кольца всѣ возникающія магнитныя силовыя линіи распространяются, вообще говоря, только въ желѣзѣ и имъ не приходится проходить частью чрезъ воздухъ. Такимъ образомъ, въ этомъ случаѣ совсѣмъ нѣтъ утечки (разсѣянія) магнитныхъ силовыхъ линій (стр. 188). Когда измѣняется намагниченіе, увеличивается или уменьшается и число силовыхъ линій; но все это происходитъ внутри желѣзнаго сердечника, и потому всѣ безъ исключенія вновь возникающія или исчезающія силовыя линіи пересѣкаютъ витки обмотки и возбуждаютъ въ нихъ индукціонный токъ.

Далѣе, замкнутый желѣзный сердечникъ, ради уничтоженія токовъ Фуко, не дѣлается массивнымъ, но составляется изъ желѣзной проволоки или изъ желѣзныхъ тонкихъ пластинокъ; съ этимъ пріемомъ мы встрѣчались уже неоднократно.

Для того же, чтобы по возможности уменьшить потери на гистерезисъ, уменьшено насколько возможно число измѣненій намагниченія желѣза въ 1 секунду. Для этого пришлось, конечно, уменьшить число періодовъ въ секунду у перемѣннаго тока, проходящаго чрезъ первичную обмотку трансформатора. Поэтому именно въ настоящее время альтернаторы разсчитываются обыкновенно на 50 періодовъ въ секунду, т. е. на 100 перемѣнъ тока.

Наконецъ, чтобы уменьшить потери на джоулево тепло въ трансформаторахъ, дѣлаютъ соотвѣтственно небольшимъ сопротивленіе обмотокъ. Это обстоятельство имѣетъ еще, какъ мы увидимъ потомъ, ту выгоду, что напряженіе у зажимовъ вторичной обмотки мѣняется въ этомъ случаѣ очень мало, независимо отъ того, разомкнута или не разомкнута вторичная цѣпь.

Замкнутые безполюсные трансформаторы изготовляются фирмой Ганцъ и К° двумя способами. Первый способъ состоитъ въ томъ, что изготовляется сначала кольцеобразный желѣзный сердечникъ изъ проволоки, полосъ или пластинъ, и на него наматывается первичная и

вторичная обмотки, либо одна поверхъ другой, либо же, что лучше, отдѣльными секторами. Трансформаторы такого типа называются трансформаторами съ сердечникомъ, такъ какъ они снабжены желѣзнымъ сердечникомъ, на которомъ производится намотка обѣихъ катушекъ.

Но такой же безполюсный трансформаторъ можетъ быть устроенъ еще и иначе, если обѣ обмотки окружить оболочкою изъ желѣза. При этомъ намагниченіе желѣза тоже не производитъ полюсовъ, и потому такой трансформаторъ тоже безполюсный. Чтобы помѣшать появленію токовъ Фуко, желѣзная часть приготовляется изъ оксидированныхъ проволокъ, наматываемыхъ перпендикулярно къ мѣднымъ. Такой трансформаторъ называется трансформаторомъ съ оболочкою. Изъ изолированныхъ мѣдныхъ проволокъ, которыя, соотвѣтственнымъ образомъ соединенныя, составляютъ первичную и вторичную цѣпи, образуется кольцо; поверхъ него наматывается желѣзная проволока. Въ общемъ, однако, трансформаторы съ сердечникомъ теперь болѣе распространены, чѣмъ съ оболочкою.

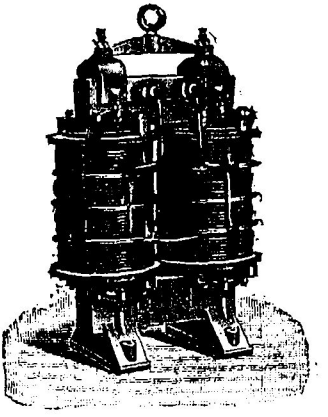
Однако конструкція трансформатора съ дѣйствительно кольцевымъ желѣзнымъ сердечникомъ оказалась неудобной и дорогой для выполненія, поэтому она теперь вытѣснена другою конструкціей замкнутаго сердечника, не имѣющаго формы кольца. Обыкновенно поступаютъ такъ: на 2 желѣзные сердечника, круглые или прямоугольные, насаживаются вперемежку катушки первичной и вторичной обмотки, и затѣмъ эти сердечники скрѣпляются между собою вверху и внизу желѣзнымъ, прямоугольнаго сѣченія, ярмомъ и, такимъ образомъ, превращаются въ замкнутый сердечникъ. Обмотки трансформатора и вся проводка, примыкающая къ этимъ обмоткамъ, различаются, какъ «высоковольтная» и «низковольтная». Часто, кромѣ зажимовъ, ведущихъ къ концамъ низковольтной обмотки, на трансформаторѣ помѣщаютъ еще 3-й зажимъ, ведущій къ серединѣ этой обмотки. Тогда между 2-мя крайними зажимами господствуетъ полная разность потенціаловъ низковольтной цѣпи, но между любымъ изъ крайнихъ зажимовъ и среднимъ имѣется половинная разность потенціаловъ. Это представляетъ часто большія удобства. Такъ, если вторичная обмотка обладаетъ полною разностью потенціаловъ въ 100 вольтъ, то дуговыя лампы, которыя нуждаются лишь въ половинной разности потенціаловъ, въ 50 вольтъ, могутъ быть включены между крайнимъ и среднимъ зажимомъ.

Всѣ большія фирмы, занимающіяся изготовленіемъ машинъ простого перемѣннаго и многофазнаго токовъ, строятъ въ настоящее время, главнымъ образомъ, трансформаторы съ сердечниками, различающіеся между собою не по основному принципу, но лишь по внѣшнему виду и способу изготовленія; и если только матеріалы хороши и

размѣры цѣлесообразны, то у всѣхъ нихъ полезное дѣйствіе очень высоко. Величина трансформатора характеризуется тѣмъ, что указывается его мощность, выражаемая въ киловольтъ-амперахъ. Намъ уже извѣстно (стр. 290), что при перемѣнномъ токѣ произведеніе числа вольтъ на число амперъ не даетъ, вообще говоря, величины дѣйствительной мощности въ ваттахъ—именно послѣдняя меньше, нежели упомянутое произведеніе. Трансформаторъ на 50 киловольтъ-амперъ при безиндукціонной нагрузкѣ, напримѣръ, при нагрузкѣ исключительно лампами накаливанія, можетъ подать всѣ 50 киловаттъ. Такимъ образомъ если вторичное напряженіе будетъ 100 вольтъ, то сила тока можетъ быть доведена до 500 амперъ. При индукціонной нагрузкѣ дѣйствительная мощность будетъ меньше.

На черт. 420 изображенъ трансформаторъ фирмы Сименсъ-Шуккертъ. На желѣзномъ сердечникѣ его насажены первичныя и вторичныя катушки. Первичныя напряженія, для которыхъ они строются, измѣняются отъ 5000 до 10000 вольтъ, вторичныя же на 115, 230 и 525 вольтъ; при этомъ наименьшій трансформаторъ въ 7,5 киловольтъ-амперъ имѣетъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $95^0/_0$, наибольшій же въ 100 киловольтъ-амперъ $98^0/_0$. Такую величину коэффиціента полезнаго дѣйствія трансформаторъ имѣетъ при томъ условіи, что во вторичной цѣпи проходитъ токъ максимальной силы. Въ этомъ случаѣ говорятъ, что трансформаторъ работаетъ при полной нагрузкѣ.

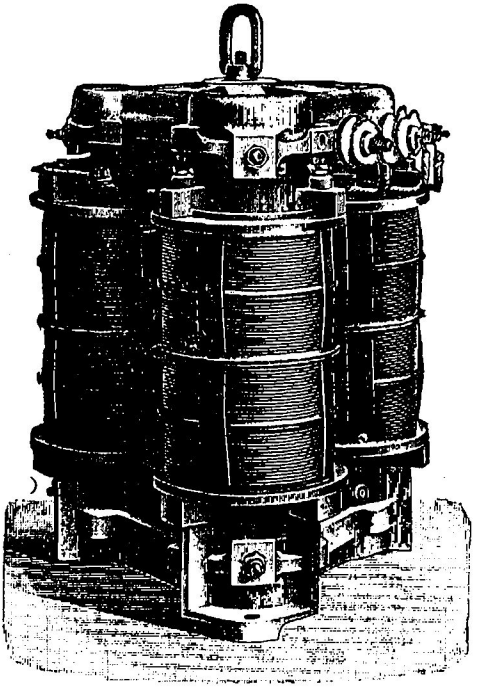
Черт. 420.



Для всякаго трансформатора существенно необходимо, чтобы между первичною и вторичною обмотками и сердечникомъ была особенно надежная изоляція; въ противномъ случаѣ при тѣхъ высокихъ напряженіяхъ до сотенъ тысячъ вольтъ, которыя въ немъ существуютъ, малѣйшіе недочеты изоляціи могутъ повести къ тому, что между этими частями начнутъ проскакивать искры, а это можетъ привести трансформаторъ въ полную негодность. Во многихъ случаяхъ не довольствуются твердой изолировкой катушекъ трансформатора слюдой и т. под. матерьялами, а ставятъ весь трансформаторъ въ спеціальный кожухъ съ масломъ; отсюда названіе ихъ: масляные трансформаторы. Конечно употребляемое для этой цѣли масло должно удовлетворять спеціальнымъ условіямъ. Такъ оно должно обладать превосходными изоляціонными свойствами, не должно разъѣдать ни изоляцію, ни металлическія части трансформатора и не должно легко воспламеняться, такъ какъ вслѣдствіе выдѣленія джоулеваго тепла катушки

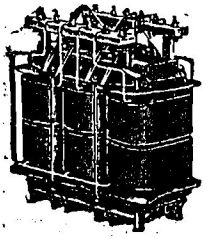
трансформаторовъ сильно нагрѣваются. Объемъ масла обычно берется съ тѣмъ разсчетомъ, чтобы нагрѣваніе его не превосходило опредѣленнаго предѣла, а именно 50—60°.

Черт. 421.

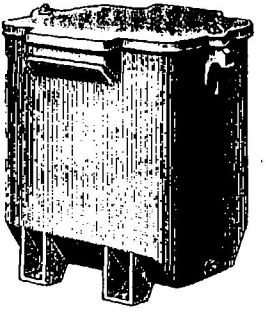


Особый видъ трансформаторовъ представляютъ трансформаторы для многофазныхъ токовъ. Подъ многофазнымъ токомъ разумѣютъ систему изъ нѣсколькихъ — обыкновенно трехъ — перемѣнныхъ токовъ, сдвинутыхъ одинъ относительно другого по фазѣ. Можно было - бы трансформировать отдѣльно всѣ три перемѣнныхъ тока, пропуская каждый чрезъ особый трансформаторъ. Преобразованные токи сохранятъ между собою ту же разность фазъ, какая была до трансформаціи, и ихъ можно затѣмъ снова соединить въ одну цѣпь. Но можно соединить три трансформатора въ одинъ приборъ, соединивъ три сердечника внизу и вверху соотвѣтственными желѣзными ярмами; такимъ образомъ каждый сердечникъ является замкнутымъ на другіе два и потому образуетъ безполюсный магнитъ. Соединеніе это можно произвести различными способами. Такъ въ трехфазныхъ трансформаторахъ Сименсъ-Шукерта (черт. 421) три сердечника поставлены въ вершинахъ треугольника и соединяются сверху и снизу ярмомъ. На каждомъ сердечникѣ концентрично надѣты катушки первичной и вторичной цѣпи. Три конца обмотки высокаго и низкаго напряженія ведутъ къ соотвѣтственнымъ зажимамъ высокаго и низкаго напряженія съ противуположныхъ сторонъ прибора.

Черт. 422.



Черт. 423.



У трехфазныхъ трансформаторовъ Всеобщей Компаніи Электри-

чества, которые всѣ безъ исключенія изготовляются съ маслянной изоляціей, три сердечника расположены въ одной плоскости (черт. 422); катушки надѣты также концентрично. Строются они до 10000 вольтъ первичнаго напряженія. Помѣщенъ трансформаторъ въ кожухъ для масла, либо гладкій (черт. 423), либо волнистый для лучшаго охлажденія. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія и у этихъ трансформаторовъ доходитъ до 98%.

Во всѣхъ трансформаторахъ сопротивленіе вторичной обмотки (низкое напряженіе) всегда дѣлается столь малымъ, чтобы джоулево тепло при полной нагрузкѣ (максимальный токъ) не превосходило 1% всей энергіи. Одновременно достигается и то преимущество, что потеря напряженія въ этой обмоткѣ даже при полной нагрузкѣ очень незначительна. А потому напряженіе у зажимовъ этой обмотки почти равно электродвижущей силѣ вторичной цѣпи. Такъ, напримѣръ, въ лучшихъ трансформаторахъ разница между напряженіями при разомкнутой цѣпи и при полной нагрузкѣ равна только 2—3% всего напряженія. Слѣдовательно, при всякомъ сопротивленіи внѣшней цѣпи, т. е. при всякой нагрузкѣ, напряженіе у зажимовъ вторичной обмотки остается постояннымъ, пока лишь число перемѣнъ и первичное напряженіе остаются неизмѣнными. Такимъ образомъ, у хорошо построеннаго трансформатора напряженіе у вторичныхъ зажимовъ всегда постоянно, если только поддерживается постояннымъ напряженіе у зажимовъ первичной цѣпи. Это обстоятельство имѣетъ огромное значеніе, такъ какъ раціональное распредѣленіе энергіи можетъ быть достигнуто лишь при томъ условіи, чтобы генераторъ (въ данномъ случаѣ трансформаторъ) давалъ постоянно одно и то-же напряженіе у своихъ зажимовъ, независимо отъ того, мало или велико сопротивленіе внѣшней цѣпи. По этой-то причинѣ трансформаторы столь пригодны для распредѣленія энергіи.

Итакъ, трансформаторы позволяютъ по желанію измѣнять оба фактора перемѣннаго тока, опредѣляющіе несомую имъ энергію, т. е. напряженіе и силу тока, причемъ можно увеличить одно за счетъ другого, или уменьшить одно въ пользу другого. При этомъ трансформаторы перемѣннаго тока весьма удобны еще тѣмъ, что при высокомъ коэффиціентѣ полезнаго дѣйствія они не требуютъ никакого ухода за собою. Они не заключаютъ въ себѣ никакихъ подвижныхъ частей, но лишь неподвижныя обмотки. Такимъ образомъ, эти приборы позволяютъ легко преобразовать перемѣнные токи высокаго напряженія въ токи низкаго напряженія, а, слѣдовательно, съ помощью ихъ можно воспользоваться всѣми экономическими преимуществами, представляемыми высокимъ напряженіемъ и незначительной силой тока для передачи на большія разстоянія.

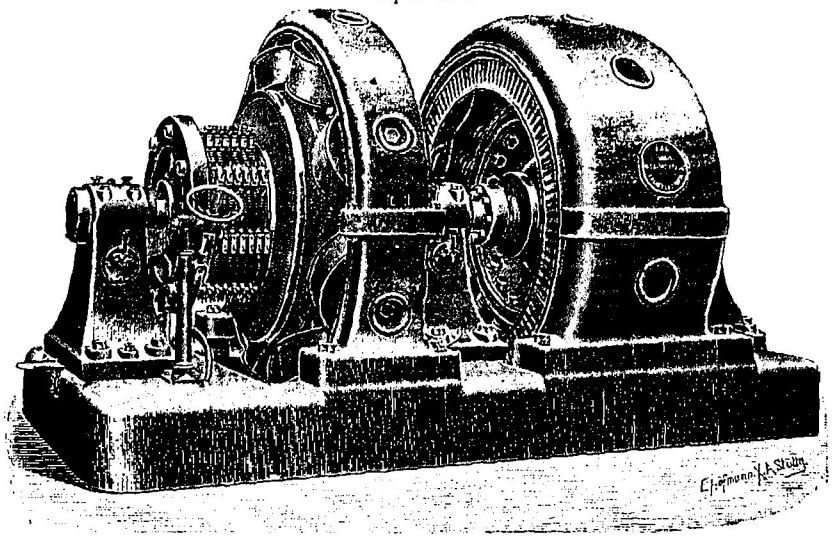
До сихъ поръ не существуетъ еще способовъ трансформаціи постоянныхъ токовъ до очень высокаго напряженія помощью приборовъ безъ подвижныхъ частей.

Однако для нѣкоторыхъ цѣлей были устраиваемы трансформаторы постояннаго тока. Часто случается, что на центральной станціи, работающей постояннымъ токомъ при напряженіи около 110 вольтъ (какъ большинство станціи), для какихъ-либо цѣлей является потребность въ нѣсколько болѣе высокомъ напряженіи. Если, напримѣръ, бываетъ нужно зарядить токомъ этой станціи батарею въ 100 аккумуляторовъ, причемъ нежелательно раздѣленіе элементовъ на двѣ группы, то является необходимымъ напряженіе въ 250 вольтъ. Или—если тою-же цѣпью питается электрическій трамвай, который требуетъ обыкновенно напряженіе еще немного большее, около 300—500 вольтъ. Для такихъ цѣлей устраиваются „трансформаторы постояннаго тока", которые, слѣдовательно, должны превращать постоянный токъ одного напряженія въ постоянный токъ другого напряженія, нѣсколько болѣе высокаго, хотя не настолько, какъ у трансформаторовъ перемѣннаго тока. Такой трансформаторъ состоитъ изъ двухъ спаренныхъ динамомашинъ, насаженныхъ на общую ось или соединенныхъ между собою ремнями. Одна изъ нихъ служитъ моторомъ и пускается въ ходъ трансформируемымъ токомъ; но вмѣстѣ съ собою она вращаетъ и вторую машину, со щетокъ которой, такимъ образомъ, можно получить токъ. Якорь второй машины имѣетъ такую обмотку, что при томъ-же числѣ оборотовъ, что и у первой, онъ производитъ бо́льшую или меньшую электродвижущую силу. Такимъ образомъ, вмѣсто тока, входящаго въ первую машину, получаютъ со второй токъ другого напряженія, т. е. трансформируютъ поступающую энергію. Если об'ѣ машины построены, какъ шунтовыя динамо, то напряженіе у второй динамо можно мѣнять по желанію въ широкихъ предѣлахъ, стоитъ только уменьшать или увеличивать сопротивленіе въ цѣпи ея индукторовъ. Если же увеличивать или уменьшать сопротивленіе въ цѣпи индукторовъ первой машины, идущей какъ моторъ, то будетъ мѣняться скорость ея вращенія. (Это будетъ выяснено впослѣдствіи въ теоріи моторовъ). Но вмѣстѣ съ первой машиной растетъ скорость второй, бѣгущей, какъ динамо, вмѣстѣ же со скоростью растетъ и ея напряженіе. Такимъ образомъ, въ соотвѣтственномъ измѣненіи сопротивленія индукторовъ первой машины—мотора, мы имѣемъ другой способъ измѣнять въ широкихъ предѣлахъ напряженіе у второй динамо. Но, такъ какъ вообще говоря динамо постояннаго тока не можетъ выдерживать очень высокихъ напряженій, что было выяснено, то и трансформація этого тока вообще возможна далеко не въ тѣхъ предѣлахъ, какъ трансформація перемѣннаго. Въ то время, какъ для перемѣннаго тока весьма легко трансформировать токъ съ 5000 или 10000 вольтъ

на 100 или наоборотъ—для постояннаго тока мы должны довольствоваться трансформаціей съ 500 на 100 или наоборотъ Кромѣ того, трансформаторы постояннаго тока вращаются и, слѣдовательно, не могутъ обойтись безъ надзора, тогда какъ неподвижные трансформаторы перемѣннаго тока совсѣмъ не нуждаются въ уходѣ.

Тотъ же принципъ „моторъ динамо" можетъ быть примѣненъ для преобразованія перемѣннаго тока въ постоянный или наоборотъ. Для этого насаживаютъ на одну ось моторъ перемѣннаго тока и динамо постояннаго или наоборотъ—моторъ постояннаго тока и динамо перемѣннаго. Въ первомъ случаѣ моторъ питается перемѣннымъ токомъ, а машина даетъ постоянный токъ; во второмъ случаѣ наоборотъ. Если, напримѣръ, въ цѣпи перемѣннаго тока намъ нужно заряжать аккумуляторы, то приходится прибѣгать къ подобнымъ преобразователямъ, получившимъ названіе моторъ-генераторовъ.

Черт. 424.



Разумѣется, такимъ же пріемомъ мы можемъ превратить постоянный токъ въ трехфазный или наоборотъ, стоитъ только насадить на одну ось моторъ постояннаго тока и динамо трехфазнаго или моторъ трехфазнаго тока и динамо постояннаго. Черт. 424 изображаетъ подобный моторъ-генераторъ для превращенія трехфазнаго тока въ постоянный. На общемъ основаніи справа расположенъ трехфазный альтернаторъ, слѣва моторъ постояннаго тока. Иногда оба якоря съ соотвѣтственными обмотками заклиниваются на общемъ валу. Такое преобразованіе токовъ можно произвести и помощью одной машины постояннаго тока, если только помимо присоединенія обмотки къ коллектору нѣкоторыя опредѣленныя ея точки присоединить къ обычнымъ

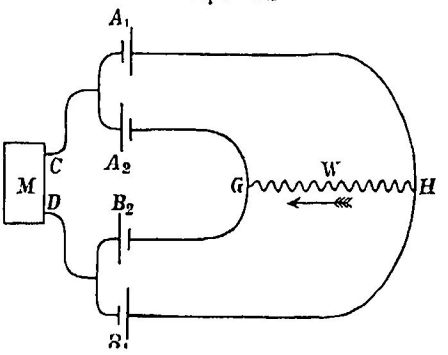
контактнымъ кольцамъ машинъ перемѣннаго тока. Такіе преобразователи, конвертеры или умформеры, съ удобствомъ примѣняются для превращенія постояннаго тока въ однофазный, трехфазный или многофазный и наоборотъ, а также для превращенія одного рода перемѣннаго тока въ другой. Детально останавливаться на конструкціи умформера мы здѣсь не будемъ.

Умформеры, превращающіе перемѣнный и многофазный токъ въ постоянный, имѣютъ большое и важное примѣненіе. Какъ было указано, перемѣнный, а въ особенности трехфазный токъ, все больше и больше вытѣсняютъ постоянный токъ съ большихъ установокъ, гдѣ требуется передача энергіи на большія разстоянія, что гораздо выгоднѣе достигается перемѣнными токами. Но перемѣнные токи безусловно не годятся для нѣкоторыхъ цѣлей, какъ-то: электрохимическіе заводы или установки съ аккумуляторами. Здѣсь требуется обязательно постоянный токъ; поэтому часто теперь на городскихъ установкахъ дѣлаютъ такъ: съ главной станціи передача энергіи производится при помощи трехфазнаго тока высокаго напряженія, но въ отдѣльныхъ участкахъ, гдѣ является надобность, этотъ токъ превращается въ постоянный.

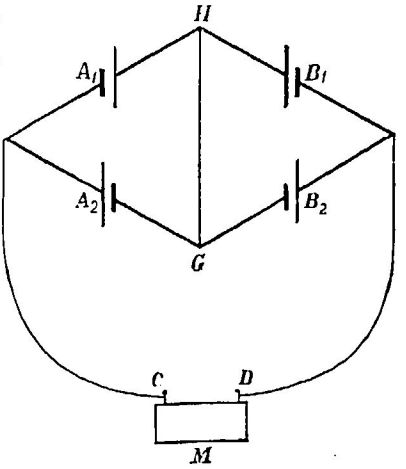
Кромѣ этихъ способовъ имѣется еще одинъ совершенно особый методъ превращенія перемѣннаго и трехфазнаго токовъ въ постоянный, совсѣмъ безъ помощи вращающихся машинъ, а именно—при помощи особыхъ свойствъ алюминіеваго анода. На стр. 175 было указано, что электролитическій сосудъ, содержащій въ качествѣ электродовъ алюминій и какой нибудь другой индиферентный проводникъ, напримѣръ уголь, или желѣзо, обнаруживаетъ особыя свойства, а именно: если пустить токъ въ такомъ направленіи, чтобы кислородъ выдѣлялся на алюминій, то кислородъ этотъ создаетъ на алюминіи столь плохо проводящій слой, что въ этомъ направленіи можетъ проходить лишь почти незамѣтный токъ, тогда какъ въ противоположномъ направленіи токъ проходитъ свободно. Если взять въ качествѣ электролита растворъ двууглекислаго натра или борнокислаго алюминія, то токи напряженіемъ въ 100 и выше вольтъ такого направленія, при которомъ алюминіевые электроды соединены съ положительнымъ полюсомъ, значительно ослабляются, такъ что въ этомъ направленіи протекаетъ лишь самый незначительный токъ. Эти элементы Греца или алюминіевыя выпрямители, какъ ихъ называютъ, можно примѣнять и для выпрямленія перемѣннаго тока. Если, напримѣръ, пропустить перемѣнный токъ напряженіемъ въ 110 вольтъ черезъ такой элементъ, то, очевидно, та часть перемѣннаго тока, при которой алюминій служитъ анодомъ, не будетъ пропущена, остальная часть, другого направленія, проходитъ свободно. Такимъ образомъ можно получить прерывистый токъ постояннаго направленія; при этомъ однако теряется почти половина перемѣннаго тока. Схема включенія, изображенная на черт. 425,

предложенная Грецемъ, даетъ возможность обратить въ пульсирующій постоянный токъ оба направленія перемѣннаго тока. M представляетъ машину перемѣннаго тока, A_1, A_2, B_1, B_2 четыре выпрямителя, причемъ болѣе длинный штрихъ означаетъ алюминіевый электродъ; другіе электроды обыкновенно желѣзные. Къ каждому изъ обоихъ полюсовъ машины D и C присоединяютъ параллельно два такихъ элемента одинъ своимъ алюминіевымъ электродомъ, другой желѣзнымъ. Свободные алюминіевые электроды A_1 и B_1 соединяются между собою проводникомъ A_1HB_1, оба желѣзные электрода проводникомъ A_2GB_2. Между этими двумя проводниками включаются уже пріемники W, по которымъ протекаетъ постоянный токъ. Пусть въ нѣкоторый моментъ полюсъ C, напримѣръ, положителенъ; тогда токъ отъ него можетъ идти лишь по CA_1 до H,

Черт. 425.



Черт. 426.

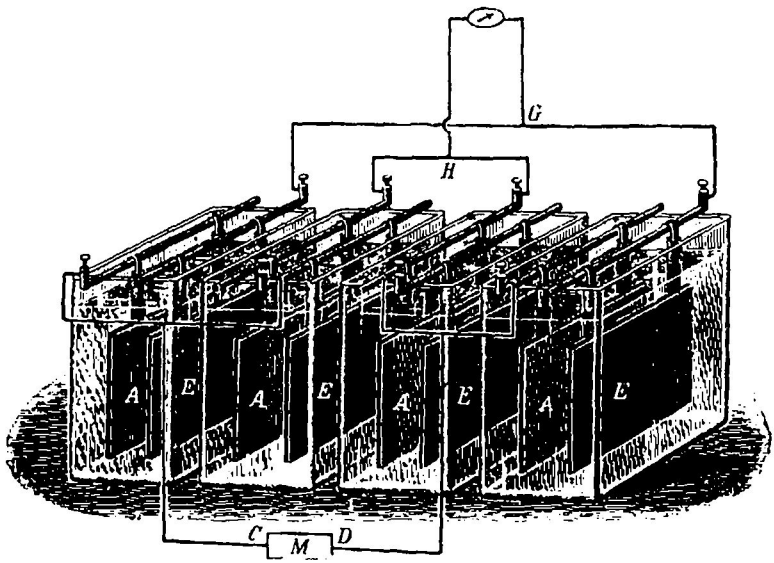


затѣмъ черезъ W по направленію стрѣлки до G (т. к. путь черезъ B_1 закрытъ благодаря присутствію здѣсь алюминіеваго анода) и далѣе черезъ B_2 къ отрицательному полюсу D. Когда въ слѣдующую половину періода перемѣннаго тока C станетъ отрицательнымъ полюсомъ и D положительнымъ, то токъ пойдетъ отъ D черезъ B_1 (въ B_2 встрѣтится алюминіевый анодъ) къ H, затѣмъ опять въ направленіи стрѣлки къ G (т. к. путь черезъ A_1 теперь закрытъ) и далѣе черезъ A_2 къ отрицательному полюсу C. Такимъ образомъ обѣ половины перемѣннаго тока въ проводникѣ HG оказываются одного направленія. Болѣе наглядно изображена схема выпрямителя на черт. 426, гдѣ проставлены тѣ же буквы; здѣсь видно, что 4 элемента включены въ 4 вѣтви моста Витстона. Въ мостикѣ HG токъ постояннаго направленія, если M источникъ перемѣннаго тока.

Хотя описанное устройство для практическаго примѣненія въ широкомъ масштабѣ недостаточно еще приспособлено, однако оно уже и теперь очень удобно благодаря дешевизнѣ своей въ такихъ

установкахъ перемѣннаго тока, гдѣ для мелкихъ пріемниковъ нуженъ постоянный токъ небольшой силы. Форма электродовъ несущественна; однако, какъ показалъ опытъ, цѣлесообразно стремиться къ тому, чтобы алюминіевые электроды постоянно цѣликомъ находились въ жидкости. При работѣ выпрямителя жидкость въ немъ сильно нагрѣвается, поэтому сосуды для элементовъ выбираются большого объема. Простая конструкція такого элемента показана на черт. 427 (фирмы Полифосъ *E. G.* въ Мюнхенѣ). Электроды изготовлены изъ желѣза *E* и алюминія *A*, жидкость—растворъ двууглекислаго натра. Пластины прикрѣплены къ металлическимъ стержнямъ, которые положены на стѣнки сосудовъ. Выступающіе изъ жидкости стерженки, держащіе пластины, заключены въ стеклянную оболочку. Зажимы цѣпи перемѣн-

Черт. 427.



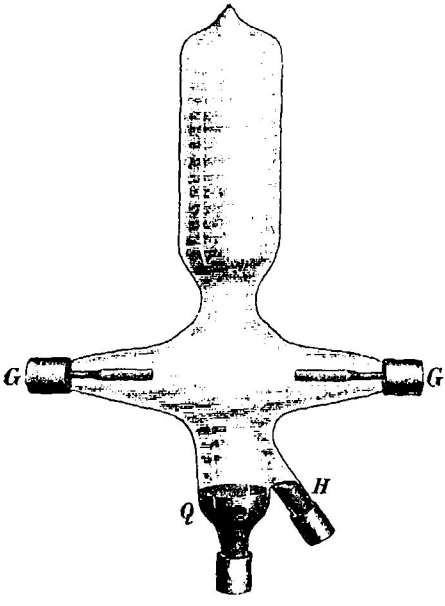
наго тока впереди и постояннаго назади; они расположены точно такъ же, какъ на черт. 425. Нѣкоторыя фирмы въ настоящее время изготовляютъ подобные аппараты мощностью до 4 киловаттъ съ коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія 75%.

Такой электролитическій выпрямитель перемѣннаго тока имѣетъ большое принципіальное преимущество передъ вращающимся умформеромъ, т. к. не требуетъ за собою ухода. Работаетъ онъ самостоятельно, не имѣетъ подвижныхъ частей, не требуетъ смазки и регулировки. Однако, какъ сказано, для большихъ мощностей онъ технически недостаточно еще разработанъ.

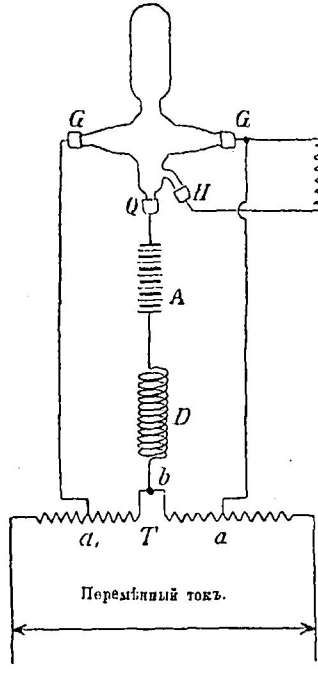
Тѣми же приблизительно преимуществами обладаетъ другой выпрямитель, основанный на первый взглядъ на совершенно другомъ, но въ дѣйствительности довольно близкомъ принципѣ, именно ртутный вы-

прямитель. Основанъ онъ на особенности ртутной вольтовой дуги въ пустотѣ. Извѣстно, что вольтову дугу между углями можно получить и при перемѣнномъ токѣ, чего однако нельзя при металлическихъ электродахъ, благодаря большой теплопроводности послѣднихъ. Для явленія вольтовой дуги необходима весьма высокая температура катода (бѣлое каленіе), т. к. только изъ столь сильно раскаленныхъ тѣлъ легко отдѣляются отрицательные электроны. Это бѣлое каленіе производится при зажиганіи дуги благодаря тому, что положительные электроны ударяются о катодъ и нагрѣваютъ его. При перемѣнномъ токѣ катодъ успѣваетъ охладиться во время перемѣны направленія тока, когда катодъ становится анодомъ, и при металлическомъ электродѣ это охлажденіе достаточно для того, чтобы токъ, безъ новаго искусственнаго образованія дуги (зажиганія), не могъ возникнуть въ этомъ новомъ направленіи; при угольныхъ

Черт. 428.



Черт. 429.



электродахъ, благодаря меньшей теплопроводности, охлажденіе за тотъ же промежутокъ времени не будетъ настолько значительно, чтобы дуга при перемѣнѣ направленія тока не могла самостоятельно образоваться. Явленіе это весьма остроумно приспособлено для выпрямленія перемѣннаго тока, причемъ воспользовались парами ртути, какъ носителемъ вольтовой дуги. На черт. 428 изображенъ такой выпрямитель въ томъ видѣ, какъ онъ изготовляется фирмой Вестингауза въ Берлинѣ. Изъ баллона выкачанъ воздухъ; справа и слѣва у него

имѣются два графитовыхъ электрода, G, G, внизу большой ртутный электродъ Q и рядомъ маленькій H, спеціально предназначенный для зажиганія дуги. Для выпрямленія перемѣннаго тока, напримѣръ, для зарядки аккумуляторной батареи примѣняется схема, указанная на черт. 429. Перемѣнный токъ проходитъ черезъ трансформаторъ T, который взятъ не для измѣненія напряженія, а лишь для цѣлей включенія. Отъ точекъ a и a_1 токъ подходитъ къ графитовымъ электродамъ G; отъ средней точки трансформатора идетъ проводъ черезъ индукціонную (реактивную) катушку D къ ртутному электроду выпрямителя Q.

Въ эту же цѣпь включается аккумуляторная батарея A такимъ образомъ, чтобы къ Q былъ обращенъ положительный ея полюсъ. При пусканіи прибора въ дѣйствіе одинъ изъ графитовыхъ электродовъ G черезъ пусковое сопротивленіе соединяется со вспомогательнымъ электродомъ H; наклонивъ аппаратъ, чтобы ртуть изъ H на моментъ пришла въ соприкосновеніе со ртутью въ Q, благодаря чему въ этомъ мѣстѣ получается дуга, мы приводимъ аппаратъ въ дѣйствіе. Высокая температура электрода Q, разъ она уже получилась, сохраняется затѣмъ сама собою, т. к. графитовые электроды GG, попеременно становясь положительными полюсами, посылаютъ токъ черезъ приборъ. Чтобы ртутный электродъ не охладился при прохожденіи перемѣннаго тока черезъ нуль, въ цѣпь Qb включена реактивная катушка, которая обусловливаетъ сдвигъ фазы между токомъ и напряженіемъ (стр. 299). Благодаря этому токъ, идущій отъ одного изъ электродовъ G, сохранитъ еще достаточную силу, когда другой электродъ станетъ уже положительнымъ и въ свою очередь пошлетъ токъ къ катоду. Такимъ образомъ дуга не успѣваетъ погаснуть. Въ обратномъ направленіи отъ Q къ GC токъ идти не можетъ, т. к. для функціонированія этой лампы необходимы хорошо проводящіе токъ пары ртути; послѣдніе же образуются лишь благодаря высокой, несмотря на охлаждающее вліяніе стѣнокъ, температурѣ ртутнаго электрода, который постоянно выдѣляетъ поэтому новыя количества паровъ.

Такіе ртутные выпрямители до настоящаго времени изготовляются для силъ тока до 30 амперъ; во время работы они также не требуютъ никакого ухода, однако довольно дороги, хотя съ другой стороны очень долговѣчны. Если эти выпрямители будутъ строить на значительно бо́льшую силу тока, то стеклянные баллоны въ виду высокой температуры придется замѣнить металлическими. Въ настоящее время производятся опыты съ такими выпрямителями для испытанія пригодности ихъ на большую мощность.

Вышеописанными способами пытаются получить удобный и легкій переходъ отъ перемѣннаго тока къ постоянному. Вообще же говоря, во всей области эксплоатаціи электричества постепенно произо-

шло разграниченіе областей примѣненія перемѣнныхъ и постояннаго тока. Первый, особенно трехфазный, примѣняется въ случаяхъ разбросанности мѣстъ потребленія или необходимости далеко отнести генераторную станцію отъ центра потребленія. Для скученныхъ мѣстъ потребленія и главнымъ образомъ небольшихъ установокъ преимущественно употребляется токъ постоянный. Въ настоящее время существуетъ уже цѣлый рядъ установокъ трехфазнаго тока высокаго напряженія съ трансформаторами въ такихъ мѣстахъ, гдѣ иначе, какъ при экономичной высоковольтной передачѣ, совершенно непримѣнимо было бы электрическое оборудованіе. Превращеніе этого перемѣннаго тока въ постоянный приведенными выше способами придаетъ этимъ установкамъ еще и тѣ преимущества для многихъ примѣненій, которыми перемѣнный токъ самъ по себѣ не обладаетъ.

ГЛАВА V.

Электрическая дуга.

Человѣчеству до сихъ поръ еще не удалось получить искусственнымъ путемъ болѣе яркаго и блестящаго источника свѣта, чѣмъ электрическая (вольтова) дуга. По силѣ излучаемаго свѣта дуга впереди всѣхъ искусственныхъ источниковъ и уступаетъ лишь солнцу. Однако, чтобы дѣйствительно использовать въ достаточной мѣрѣ этотъ свѣтъ для практическихъ цѣлей понадобилась огромная изобрѣтательность ума и высокое состояніе техники. Кто видѣлъ лѣтъ 30 съ лишнимъ тому назадъ первыя попытки примѣненія вольтовой дуги для освѣщенія, тотъ помнитъ, конечно, что, несмотря на поразительную яркость свѣта, его миганіе, бѣганіе и ненадежность подвергали сильному сомнѣнію возможность широкаго примѣненія вольтовой дуги для цѣлей освѣщенія.

Электрическая дуга, какъ было объяснено на страницѣ 130, образуется, если сильный электрическій токъ проходитъ между двумя угольными концами, раздѣленными другъ отъ друга небольшимъ слоемъ раскаленнаго воздуха. Вліятствіе значительнаго сопротивленія току, какое представляетъ собою слой воздуха, выдѣляется по закону Джоуля большое количество тепла, которое и остается сконцентрированнымъ въ этомъ мѣстѣ, такъ какъ воздушный слой невеликъ, и нагрѣваетъ какъ этотъ воздухъ, такъ и сами угольные концы.

Опытъ показываетъ, что при питаніи дуги постояннымъ токомъ между углями необходимо существованіе разности потенціаловъ ок. 40 вольтъ, чтобы дуга могла существовать; при перемѣнномъ же токѣ достаточно 28 вольтъ. Такое высокое, необходимое для поддерживанія дуги напряженіе въ большей своей части обусловлено совсѣмъ не сопротивленіемъ воздушнаго промежутка. Сопротивленіе горячаго воздуха не такъ значительно, чтобы причинять большую потерю напряженія.

Самый переходъ тока съ углей въ воздухъ совершается съ большимъ сопротивленіемъ перехода, въ мѣстѣ соприкосновенія. Концы углей и воздухъ между ними становятся горячими и раскаленными, причемъ

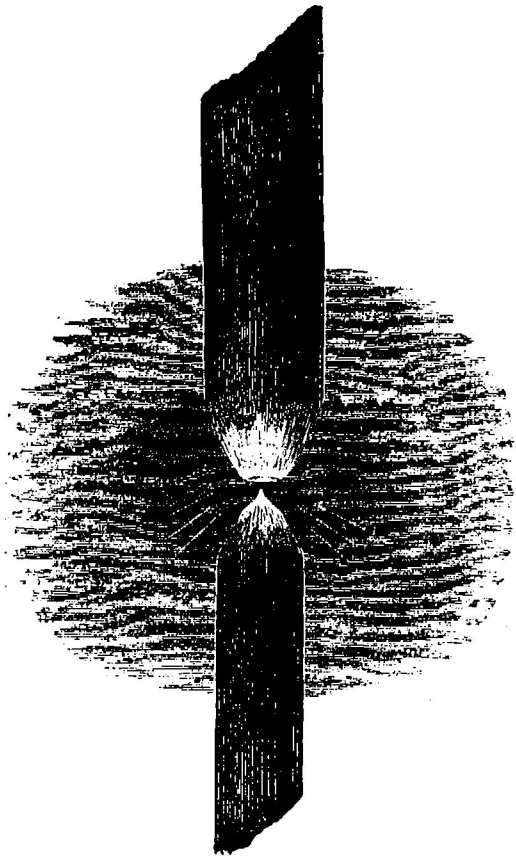
концы углей раскалены до-бѣла, а воздухъ свѣтится фіолетовымъ свѣтомъ. Высокая температура углей, которая колеблется между 2.500 и 3.500°, раскаляетъ воздухъ. Концы углей, повидимому, прямо обращаются въ пары, а отчасти отъ нихъ отрываются раскаленныя пылинки, которыя и несутся въ дугѣ къ противоположному электроду. Такова обычная картина электрической свѣтовой дуги (вольтовой дуги). Но не сама дуга испускаетъ главнымъ образомъ свѣтъ; состоя изъ раскаленныхъ газовъ, она испускаетъ свѣтъ лишь въ слабой степени. Главную часть свѣта испускаютъ раскаленные до-бѣла концы самихъ углей. Раскаленныя угольныя частицы летятъ съ обоихъ электродовъ сквозь раскаленный воздушный промежутокъ, а иногда по сторонамъ его, по прилегающимъ слоямъ воздуха. Но это распыленіе электродовъ не одинаково у нихъ обоихъ. Частицы отрываются въ гораздо большемъ числѣ отъ положительнаго электрода, чѣмъ отъ отрицательнаго, и вслѣдствіе этого, если дуга продолжается нѣкоторое время и токъ постоянный, то положительный угольный электродъ очень скоро выгораетъ и образуетъ раскаленный до-бѣла кратеръ. Въ тоже время положительный уголь обладаетъ гораздо болѣе высокой температурой, чѣмъ отрицательный (3.500 противъ 2.500). Отрицательный уголь въ это время заостряется. Черт. 430 представляетъ картину горящей дуги. Въ горящей дугѣ можно всегда замѣтить большое число шариковъ, носящихся то туда, то сюда, и иногда осѣдающихъ то здѣсь, то тамъ. Это явленіе происходитъ отъ неоднородности углей. Случайныя подмѣси плавятся и образуютъ эти шарики. Угли для дуги приготовляются на заводахъ особымъ пріемомъ изъ спрессованнаго до 200—400 атмосферъ угольнаго порошка (однородные угли); иногда же готовятъ угольные полые цилиндры, полости которыхъ заполняются легко-летучимъ веществомъ, обыкновенно растворимымъ стекломъ, смѣшаннымъ съ сажей (угли съ фитилями). Черт. 430 изображаетъ подобную пару углей. Верхній уголь — уголь съ фитилемъ, а нижній — однородный. Примѣненіе фитиля имѣетъ цѣлью удержать дугу въ срединѣ угля, не позволяя ей перебѣгать по углю; это достигается большею проводимостью фитиля.

Угли, раскаляясь до-бѣла, сгораютъ, какъ было упомянуто, при доступѣ кислорода воздуха; притомъ, въ случаѣ постояннаго тока положительный уголь сгораетъ скорѣе отрицательнаго. Поэтому въ дугахъ постояннаго тока положительный, верхній уголь берутъ обыкновенно вдвое толще, чѣмъ нижній, отрицательный (черт. 430). Тогда оба угля сгораютъ приблизительно одинаково быстро.

Легко понять, что вольтову дугу можно получить и посредствомъ перемѣннаго тока. Вѣдь нагрѣваніе электродовъ зависитъ, согласно Джоулеву закону, отъ квадрата силы тока. Поэтому, если всѣ обстоятельства остаются одними и тѣми-же, нагрѣваніе не измѣнится

отъ того, въ какомъ направленіи потечетъ положительный токъ. Количество-же свѣта, испускаемое углями, зависитъ лишь отъ нагрѣванія, и потому перемѣнные токи такъ же подходящи для электрическаго освѣщенія дугами, какъ и постоянные, если только перемѣны тока быстро слѣдуютъ другъ за другомъ. Въ современныхъ машинахъ перемѣннаго тока число перемѣнъ бываетъ обыкновенно около ста, число совершенно достаточное для того, чтобы дуга поддерживалась и чтобы свѣтъ, производимый такимъ токомъ, казался совершенно непрерывнымъ.

Черт. 430.



Есть однако обстоятельство, которымъ различается электрическій свѣтъ отъ дуги съ постояннымъ токомъ и токомъ перемѣннымъ. Если по углямъ идетъ токъ постояннаго направленія, то положительный уголь сгораетъ скорѣе отрицательнаго приблизительно въ два раза, и на положительномъ электродѣ все время остается сверкающій кратеръ. Въ электрическихъ лампахъ для постояннаго тока, описаніе которыхъ будетъ дано ниже, всегда положительный уголь устанавливается надъ отрицательнымъ. Положительный уголь служитъ такимъ образомъ до извѣстной степени рефлекторомъ, отбрасывающимъ лучи свѣта внизъ. Свѣтъ не распредѣляется равномѣрно во всѣ стороны, но его бо́льшая часть направляется внизъ, и меньшая — въ стороны, что очень выгодно. Въ случаѣ перемѣннаго тока каждый уголь служитъ то положительнымъ, то отрицательнымъ электродомъ; вслѣдствіе этого оба угля сгораютъ одинаково быстро: у нихъ не образуется кратеровъ, они оба остаются заостренными, какъ были съ начала горѣнія. Чтобы въ этомъ случаѣ направить свѣтъ внизъ, можно употреблять особые рефлекторы, излишніе при токѣ постоянномъ.

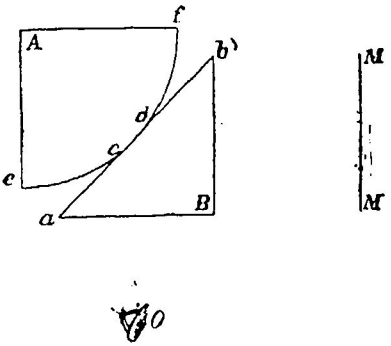
Если электрическая дуга горитъ безъ колпака, то сила свѣта, получаемаго отъ нея, будучи измѣрена фотометромъ, оказывается значительно мѣняющеюся въ зависимости отъ направленія, въ какомъ лучъ падаетъ въ глазъ или на фотометръ. Такъ, напр., для лампы, питаемой постояннымъ токомъ, сила свѣта, наблюдаемая по горизонтальному направленію, будетъ едва одною пятою той силы, какая наблюдается подъ угломъ въ 60° къ горизонтальной линіи. По этой причинѣ источникъ электрическаго свѣта, питаемый постояннымъ токомъ, слѣдуетъ подвѣшивать на такой вышинѣ, чтобы лучи падали на освѣщаемую поверхность подъ извѣстнымъ угломъ. При употребленіи колпака различіе въ освѣщеніи перестаетъ быть столь значительнымъ.

Чтобы судить о силѣ электрическаго свѣта, слѣдуетъ сравнить его съ другими свѣтящимися тѣлами. Какъ произвести такое сравненіе — учитъ фотометрія.

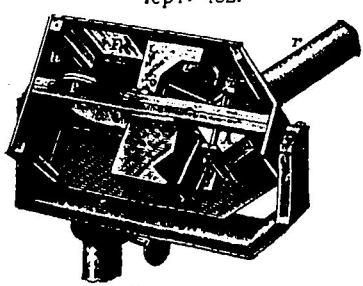
Черт. 431.



Для точнаго сравненія двухъ источниковъ свѣта теперь употребляютъ по большей части фотометръ Луммера и Бродгуна. Черт. 431 изображаетъ схему этого прибора. Онъ состоитъ изъ двухъ прямоугольныхъ стеклянныхъ призмъ, *A* и *B*, хорошо пришлифованныхъ въ одномъ мѣстѣ *cd* другъ къ другу. Когда свѣтъ падаетъ отъ поверхности *LL*, то онъ свободно проходитъ черезъ мѣсто соприкосновенія и попадаетъ въ глазъ *O*, но на поверхности *ac* и *df* свѣтъ испытываетъ отраженіе и не попадаетъ въ глазъ. Такимъ образомъ, наблюдатель увидитъ свѣтлое пятно *cd* на темномъ фонѣ. Напротивъ, если вся система призмъ освѣщена лучами, идущими отъ поверхности *MM*, то лучи проходятъ черезъ мѣсто соприкосновенія *cd* и не попадаютъ въ глазъ *O*, тогда какъ на поверхностяхъ *db* и *ac* они испытываютъ отраженіе и идутъ въ глазъ. Значитъ, глазъ увидитъ темное поле *cd* на свѣтломъ фонѣ. Если же свѣтъ идетъ отъ обѣихъ поверхностей, то глазъ увидитъ или свѣтлое пятно на болѣе темномъ фонѣ, или болѣе темное пятно на свѣтломъ фонѣ въ зависимости отъ того, которая поверх-

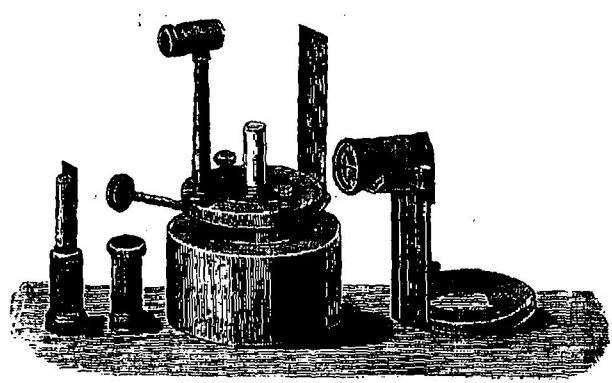


Черт. 432.



ность свѣтлѣе, *LL* или *MM*. Наконецъ, возможенъ случай, что глазъ совсѣмъ не отличить разности освѣщеній центральнаго пятна и окружающаго поля. Это произойдетъ тогда, когда съ обѣихъ сторонъ на призмы падаетъ одинаково сильный свѣтъ. На изображенной выше схемѣ оба источника свѣта находятся подъ прямымъ угломъ другъ къ другу, что представляетъ значительныя неудобства. Поэтому прибѣгаютъ къ такой системѣ. Весь приборъ помѣщается въ темный ящикъ (на черт. 432 онъ изображенъ безъ верхней доски). *AB* изображаетъ выше описанную систему призмъ, разсматриваемую черезъ трубу *r*. Оба источника свѣта устанавливаются на одной прямой и бросаютъ свой свѣтъ съ двухъ сторонъ черезъ окошки *F* (изъ которыхъ одно, переднее не изображено на чертежѣ), на фарфоровую пластинку *P* (на черт. видна только одна сторона, *b*). Отсюда свѣтъ отбрасывается на зеркала *e* и *f*, и наконецъ, уже по надлежащимъ направленіямъ, попадаетъ въ систему призмъ. Фотометръ передвигается на особыхъ салазкахъ между двумя источниками свѣта до тѣхъ поръ, пока центральное пятно не сольется съ окружающимъ полемъ. Тогда, значитъ, фотометръ получаетъ одинаковое количество свѣта отъ обоихъ источниковъ; а въ такомъ случаѣ силы свѣта этихъ источниковъ относятся, какъ квадраты ихъ относительныхъ разстояній до фотометра. Такимъ способомъ сравниваютъ разные источники свѣта. Фотометръ устраивается подвижнымъ на линейкѣ, на которой нанесены линейныя дѣленія. Помѣщеніе, въ которомъ производятся фотометрическія измѣренія, должно быть, конечно, совершенно затемненнымъ, чтобы въ него не проникалъ никакой свѣтъ, кромѣ свѣта отъ сравниваемыхъ источниковъ.

Черт. 433.

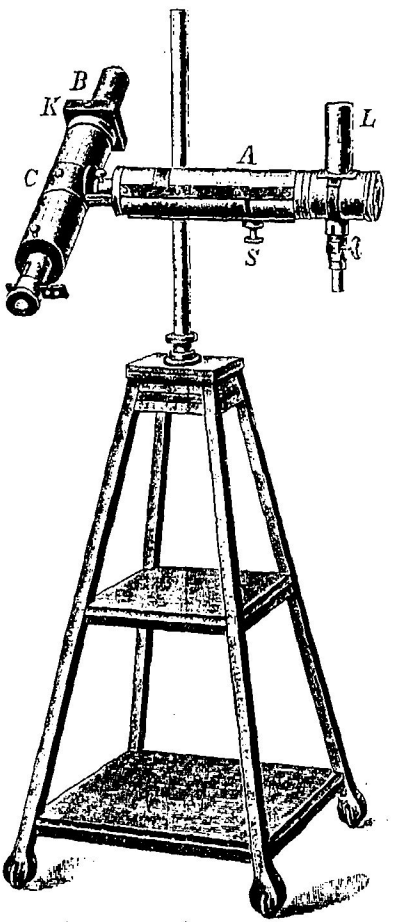


За единицу силы свѣта, съ которой и сравниваютъ другіе источники, принята теперь сила свѣта амилацетатовой лампы Гефнеръ-Альтенека. Въ ней горитъ чистый амилъ-ацетатъ; ея фитиль прибл. 8 мм. внутренняго и 8,1 мм. внѣшняго діаметра. Черт. 433 изображаетъ такую нормальную лампу, и сила свѣта ея при высотѣ пламени въ 40 мм. принимается за единицу, которая и называется „единицею Гефнера“ или свѣчею Гефнера (*HK*). Высоту пламени из-

мѣряютъ особымъ приборчикомъ, изображеннымъ на чертежѣ. Эта лампа удобна, т. к. при соблюденіи указанныхъ предписаній она даетъ надежное постоянство силы свѣта. Силу свѣта этой лампы можно себѣ легко представить. Обыкновенный уличный газовый рожокъ или обычная лампочка накаливанія даютъ 16 свѣчей Гефнера.

Сила свѣта дуги находится, конечно, въ зависимости отъ силы тока, проходящаго по углямъ, и оказывается возможнымъ, измѣняя силу тока, мѣнять силу свѣта въ очень большихъ предѣлахъ отъ нѣсколькихъ сотенъ до многихъ десятковъ тысячъ свѣчей.

Черт. 434.



Для практики значительно большій интересъ представляетъ сравненіе источниковъ свѣта по яркости или—точнѣе по освѣщенности, даваемой источникомъ въ данномъ мѣстѣ, чѣмъ по силѣ даваемаго ими свѣта. Конечно, освѣщенность эта зависитъ отъ силы свѣта даннаго источника, напримѣръ, освѣщенность отдѣльныхъ мѣстъ для рабочихъ въ фабричномъ помѣщеніи или отдѣльныхъ мѣстъ школьной комнаты зависитъ отъ силы свѣта источника, освѣщающаго данное помѣщеніе. Однако, помимо этого, освѣщенность въ сильной степени опредѣляется еще и разстояніями отъ лампы дающей свѣтъ, до всѣхъ освѣщаемыхъ мѣстъ. Часто на практикѣ можетъ возникнуть вопросъ, освѣтить ли данное помѣщеніе однимъ очень сильнымъ источникомъ свѣта, или нѣсколькими болѣе слабыми источниками, но зато цѣлесообразно размѣщенными. Отсюда и является вторая задача фотометріи—опредѣленіе освѣщенности всякаго даннаго мѣста. Необходимо и для освѣщенности установить единицу. Освѣщенность какой либо площади зависитъ, во-первыхъ, отъ силы свѣта источника и, во-вторыхъ, отъ разстоянія послѣдняго до освѣщаемой площади; поэтому за единицу принимаютъ освѣщенность нѣкоторой поверхности, освѣ-

щаемой источникомъ свѣта силой въ одну гефнеровскую свѣчу на разстояніи 1 метра; единицу эту называютъ люксомъ. Освѣщенность въ одинъ люксъ весьма невелика: для чтенія и работы по опредѣленію глазныхъ врачей необходимо по крайней мѣрѣ 50 люксовъ. Объ основныя работы фотометріи, измѣреніе силы свѣта и освѣщенности, очень удобно производятся помощью фотометра Вебера. На черт. 434 онъ изображенъ на стативѣ. Въ основу прибора и здѣсь положена система призмъ Луммеръ-Бродгуна (кубъ Л.-Б.), помѣщенная въ C, въ мѣстѣ пересѣченія трубой A, вращающейся въ вертикальной плоскости, трубы B. На концѣ L горизонтальной трубы находится бензиновая лампочка, высота пламени которой можетъ быть регулируема по приложенной шкалѣ. Лампочка освѣщаетъ пластинку изъ матоваго стекла, находящуюся внутри трубы A; ее можно помощью винта S передвигать вдоль трубы. Эта освѣщенная матовая пластинка служитъ однимъ источникомъ свѣта для Луммеръ-Бродгуновскаго куба. Для измѣренія силы свѣта испытуемаго источника свѣта, труба B наставляется на этотъ источникъ, и въ коробку K вставляются фарфоровыя или закопченыя стеклянныя пластинки, степень прозрачности которыхъ опредѣлена разъ-навсегда. Онѣ служатъ вторымъ источникомъ свѣта для Луммеръ Бродгуновскаго куба. Вращаютъ винтъ S до тѣхъ поръ, пока не получится одинаковое освѣщеніе всего поля зрѣнія въ окулярѣ, т. е. его средней части и окружающаго кольца. Затѣмъ измѣряютъ по шкалѣ на трубѣ A разстояніе матовой пластинки отъ лампы, а также разстояніе коробки K до испытуемаго источника свѣта; отсюда можно получить отношеніе силъ свѣта бензиновой лампочки (эталона) и испытуемаго источника свѣта. При опредѣленной высотѣ пламени сила свѣта бензиновой лампочки выражается опредѣленнымъ числомъ HK (единицъ силы свѣта); слѣдовательно и сила свѣта испытуемаго источника выразится въ тѣхъ же единицахъ.

Подобнымъ же образомъ измѣряется и освѣщенность (въ люксахъ); а именно, направляютъ трубу C на бѣлый экранъ, установленный въ мѣстѣ, гдѣ желаютъ измѣрить освѣщенность. Затѣмъ передвигаютъ матовую пластинку S до достиженія одинаковой освѣщенности пластинки и экрана. Зная первую въ люксахъ, нетрудно опредѣлить въ тѣхъ же единицахъ искомую освѣщенность экрана.

Такимъ образомъ съ помощью фотометра легко разрѣшимы всѣ вопросы, связанные съ силой свѣта источника и освѣщенностью, имъ обусловленною. При этомъ всѣ величины выражаются численно съ достаточною точностью.

Если угли приведены въ соприкосновенію, то сопротивленіе не достаточно велико, чтобы вызвать большое нагрѣваніе; концы углей не раскаляются до-бѣла, и электрическій свѣтъ не образуется. Поэтому необходимо послѣ приведенія углей въ соприкосновеніе раздви-

нуть ихъ нѣсколько, чтобы образовалась дуга. Но если бы теперь угли и были раздвинуты на соотвѣтственное разстояніе такъ, чтобы дуга имѣла подходящую и удобную длину, все же при неподвижномъ закрѣпленіи углей это разстояніе увеличилось бы само собою по мѣрѣ сгоранія (соединеніе съ кислородомъ воздуха и распыленіе) углей, и скоро наступилъ бы моментъ, когда токъ уже не могъ бы преодолѣть сопротивленія воздушнаго слоя. Токъ прекратился бы, а съ нимъ и электрическій свѣтъ.

Поэтому первымъ требованіемъ при практической постановкѣ электрическаго освѣщенія было—сдѣлать угли подвижными, придумать способъ регулировки, который позволялъ бы постоянно поддерживать одно и то же разстояніе между углями. Регулировка эта должна была удовлетворить цѣлому ряду условій. Во первыхъ, она должна постоянно сближать концы углей, которые по мѣрѣ сгоранія сами по себѣ расходятся все на большее разстояніе, и, такимъ образомъ, поддерживать постоянною силу свѣта. Во вторыхъ, регуляторъ долженъ въ началѣ горѣнія сдвигать угли, а какъ только дуга зажглась, раздвинуть ихъ. Въ третьихъ, регулировка должна такъ сообразовать разстояніе между угольными концами съ возможными колебаніями силы тока, чтобы при ослабленіи тока промежутокъ укорачивался, и тѣмъ уменьшалось бы сопротивленіе, при усиливающемся токѣ, наоборотъ, дуга удлинялась бы, и тѣмъ токъ уменьшался бы вновь до нормальной силы.

Уже съ самаго начала примѣненія дугового освѣщенія были устраиваемы подобные регуляторы, которые кратко называются просто электрическими лампами. Само собою разумѣется, что такая чувствительная регулировка, которая слѣдовала бы за каждымъ колебаніемъ тока, невозможна иначе, какъ при томъ условіи, что токъ самъ участвуетъ въ регулировкѣ. Электромагнитныя силы тока представляютъ собою простое и удобное средство для того, чтобы производились соотвѣтствующія передвиженія. Здѣсь можно пользоваться электромагнитами, притягивающими якорь, или соленоидами, втягивающими въ себя желѣзный сердечникъ. Примѣнить электромагнитъ особенно просто. Пропустивъ токъ, производящій свѣтъ, вокругъ сердечника изъ мягкаго желѣза, мы уже обладаемъ приспособленіемъ, которое можетъ произвести большія или меньшія передвиженія, смотря по силѣ тока, если желѣзному сердечнику противупоставленъ подвижной якорь, къ которому прикрѣпленъ уголь. Вѣдь сила, съ которою притягивается якорь къ электромагниту, при прочихъ равныхъ условіяхъ находится въ прямой зависимости отъ силы тока, протекающаго по виткамъ послѣдняго.

Но если притягательной силѣ электромагнита ничто не противодѣйствуетъ, то якорь всегда будетъ вполнѣ притянутъ къ электро-

магниту. Во избѣжаніе этого слѣдуетъ устроить противодѣйствіе притяженію электромагнита, которое постоянно стремилось бы удалить отъ него якорь. Такое противодѣйствіе можно устроить, напр., въ видѣ пружины, которая, если магнитъ притягиваетъ якорь книзу, тянула бы его кверху. При нѣкоторомъ опредѣленномъ положеніи якоря должно существовать равновѣсіе между силою притяженія со стороны магнита и силою упругости пружины. Всякое увеличеніе тока сдѣлаетъ магнитъ сильнѣе, что и заставитъ якорь опуститься и натянетъ пружину. Это опусканіе якоря заставитъ угли раздвинуться, токъ ослабѣетъ, а съ нимъ и магнитъ; пружина пересилитъ и приведетъ якорь и угли въ нормальное положеніе.

Равнымъ образомъ, для электрической регулировки вмѣсто системы электромагнита съ якоремъ и противодѣйствующей пружины можно воспользоваться, и даже съ большимъ удобствомъ, соленоидомъ, т.-е. катушкой, обтекаемой токомъ.

Такая катушка вѣдь втягиваетъ въ себя желѣзный стержень (стр. 201), и если къ этому стержню прикрѣпить одинъ изъ углей, то и этотъ послѣдній придетъ въ движеніе. Если же сердечникъ прикрѣпить къ одному плечу рычага, т.-е. вращающагося стержня, а къ другому угледержатель съ добавочнымъ грузомъ, то передвиженіе сердечника вызоветъ соотвѣтственное перемѣщеніе угля, зависящее отъ отношенія плечъ и добавочнаго груза.

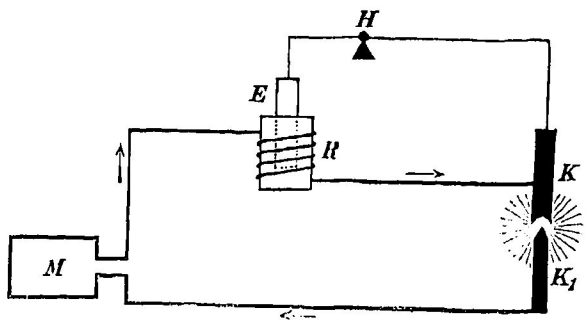
На этомъ принципѣ основывалось въ общихъ чертахъ устройство первыхъ электрическихъ лампъ. Однако ихъ конструкціи слишкомъ сложны. Въ новѣйшихъ лампахъ достигнута большая простота и большая надежность дѣйствія. При этомъ никогда движеніе якоря электромагнита не связываютъ прямо съ движеніемъ механизма. По большей части якорь является только спускнымъ механизмомъ, работаетъ же чисто механическая система колесъ и грузовъ. При такомъ устройствѣ уголь перемѣщается плавно и равномѣрно.

Такая электрическая регулировка, безразлично, оборудованная электромагнитомъ или соленоидомъ приведена на черт. 435. Токъ отъ машины M проходитъ черезъ регуляторъ R, затѣмъ черезъ угли KK_1 обратно въ машину. Угли и катушка регулятора включены послѣдовательно. Желѣзный сердечникъ E и верхній уголь K прикрѣплены къ двуплечему рычагу съ точкой опоры въ H. Увеличеніе силы тока вызываетъ, очевидно, втягиваніе сердечника, а слѣдовательно раздвиженіе углей, что и приводитъ токъ къ нормальной силѣ.

Однако только что описанная электрическая регулировка употребительна лишь въ спеціальныхъ случаяхъ. Такая лампа лишь тогда дѣйствуетъ хорошо, когда она находится одна во внѣшней цѣпи машины, и никакой другой лампы въ той же цѣпи не горитъ. Дѣйстви-

тельно, регулировка этихъ лампъ производится тѣмъ, что при ослабленіи тока угли сближаются, при усиленіи его они расходятся. Если же теперь двѣ или больше лампъ ввести послѣдовательно въ одну цѣпь, то эта регулировка является лишь воображаемою. Возьмемъ случай двухъ лампъ, включенныхъ послѣдовательно въ одну и ту же цѣпь. Пусть первая горитъ какъ разъ нормально, у второй же угли слишкомъ разошлись. Тогда регулирующій механизмъ сближаетъ угли второй лампы, и тѣмъ полный токъ усиливается. Вслѣдствіе этого усиленія регуляторъ первой лампы долженъ придти въ дѣйствіе и раздвинуть угли. Теперь вторая лампа горитъ правильно, первая же—плохо. Что полезно для одной изъ лампъ, то портитъ горѣніе другой. Между лампами происходитъ своего рода вѣчная борьба за существованіе.

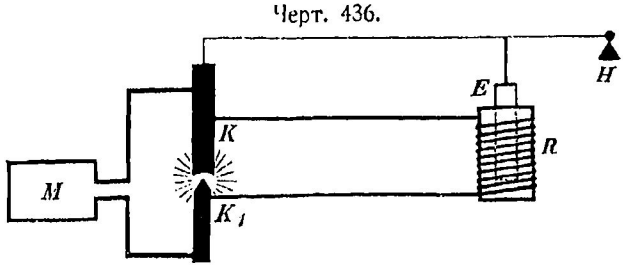
Черт. 435.



Въ случаѣ лампы, описанной выше, регулирующій механизмъ включается прямо въ главную цѣпь тока. Подобный регуляторъ можетъ быть употребляемъ лишь для лампы, горящей одиноко въ отдѣльной цѣпи, т. е. для лампы, какъ отдѣльнаго источника свѣта.

Простымъ измѣненіемъ схемы включенія углей можно значительно уменьшить указанные недостатки. Новый принципъ заключается въ слѣдующемъ. Если токъ, вступая въ лампу, раздѣляется такъ, чтобы регулирующее приспособленіе было въ отвѣтвленіи, а не въ главной цѣпи, тогда, согласно законамъ развѣтвленныхъ токовъ, получаются гораздо болѣе благопріятныя соотношенія. Такая схема дана на черт. 436.

Черт. 436.



Здѣсь токъ, идущій отъ машины M, развѣтвляется и идетъ частью чрезъ угли KK_1, частью чрезъ регулирующій механизмъ R.

Желѣзный сердечникъ E и верхній уголь прикрѣплены къ одноплечему рычагу съ точкой опоры въ H. Силы тока въ этихъ двухъ вѣтвяхъ находятся въ обратномъ отношеніи къ сопротивленіямъ этихъ послѣднихъ, какъ мы видѣли на ст. 78. Если, слѣдовательно, сопротивленіе дуги увеличивается, то усиливается токъ въ вѣтви регулятора; желѣзный сердечникъ втягивается сильнѣе и верхній уголь приближается къ нижнему. При этомъ имѣетъ мало значенія то обстоятельство, какъ великъ дѣйствительный токъ въ обѣихъ вѣтвяхъ. Регуляторъ приходитъ въ дѣйствіе главнымъ образомъ въ зависимости отъ явленій, происходящихъ въ данной лампѣ. Колебанія тока, происходящія отъ внѣшнихъ причинъ, измѣняютъ токъ въ одинаковомъ отношеніи въ обѣихъ вѣтвяхъ и потому оказываютъ на регуляторъ гораздо болѣе слабое вліяніе, чѣмъ это происходило при первоначальномъ способѣ включенія. Однако все это вѣрно лишь въ случаѣ незначительныхъ колебаній внѣшняго тока, какъ это легко видѣть на крайнемъ примѣрѣ, а именно: если внѣшній токъ станетъ очень слабымъ; тогда, разумѣется, и регулирующій механизмъ будетъ дѣйствовать крайне слабо. Но на практикѣ приходится имѣть дѣло главнымъ образомъ именно съ незначительными колебаніями силы тока.

Электромагнитъ или соленоидъ въ подобныхъ лампахъ, называемыхъ шунтовыми, долженъ имѣть обмотку, состоящую изъ очень многихъ витковъ тонкой проволоки, чтобы, несмотря на слабый токъ, электромагнитное дѣйствіе, зависящее отъ произведенія числа витковъ на силу тока (см. стр. 191), было достаточно сильное.

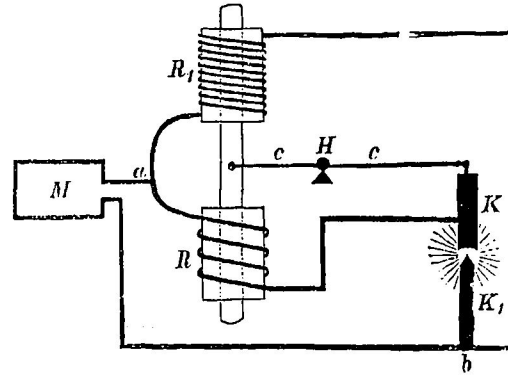
Итакъ, и въ шунтовыхъ лампахъ вліяніе колебаній внѣшняго тока не избѣгнуто, хотя и ослаблено; эти внѣшнія колебанія отзываются и здѣсь вредно на ходѣ регулировки, хотя и въ меньшей степени. Если напр. токъ, поступающій къ лампѣ, по какой либо внѣшней причинѣ становится слишкомъ сильнымъ, то токи въ обоихъ отвѣтвленіяхъ также усилятся; поэтому дуга будетъ горѣть сильнѣе нормальнаго, но и магнитъ регулятора становится сильнѣе, чѣмъ въ нормальномъ состояніи. Чѣмъ сильнѣе магнитъ, тѣмъ ближе онъ сдвигаетъ угли; такимъ образомъ, и безъ того уже сильный свѣтъ становится еще сильнѣе; обратное происходитъ съ дугою, ослабленною ниже нормы. Отсюда слѣдуетъ, что внѣшнія колебанія тока не выравниваются этимъ регуляторомъ. И при этомъ эти колебанія вредятъ еще всѣмъ лампамъ въ цѣпи, хотя и въ меньшей степени, чѣмъ когда регуляторъ включается не въ отвѣтвленіи.

Полная независимость большого числа лампъ, включенныхъ послѣдовательно въ одну и туже цѣпь, впервые была достигнута благодаря устройству, предложенному Гефнеръ-Альтенекомъ. Это устройство, дѣйствительно, дало впервые возможность многимъ лам-

памъ прекрасно горѣть въ одной и той же цѣпи, что было достигнуто благодаря новой схемѣ регулировки. Это были такъ называемыя дифференціальныя лампы, которыя фирма Сименсъ и Гальске ввела на своихъ многочисленныхъ установкахъ.

Въ дифференціальныхъ лампахъ токъ, идущій отъ машины, тоже развѣтвляется. Въ одну вѣтвь включены угли, въ другую—регулирующее приспособленіе. Но существенною особенностью является то, что въ вѣтви, въ которой находятся угли, имѣется тоже регулирующее приспособленіе, которое, притомъ, противодѣйствуетъ первому. На схемѣ (черт. 437) можно уяснить себѣ дѣйствіе дифференціальной лампы.

Черт. 437.



Изъ машины M токъ направляется къ точкамъ a и b и здѣсь развѣтвляется. Главный токъ идетъ чрезъ соленоидъ R и угли K и K_1 къ b, токъ отвѣтвленія проходитъ чрезъ соленоидъ R_1 къ b.

Желѣзный сердечникъ входитъ въ оба соленоида; къ нему на шарнирѣ прикрѣпленъ двуплечій рычагъ CC съ осью вращенія въ H. Рычагъ этотъ несетъ верхній уголь K, нижній уголь неподвиженъ. Какъ только пересиливаетъ токъ соленоида R_1, желѣзный сердечникъ втягивается въ этотъ послѣдній, и верхній уголь опускается. Если усилится токъ въ R, сердечникъ втягивается въ него, и уголь K поднимается. Такимъ образомъ устроено очень просто дифференціальное дѣйствіе катушекъ.

Токъ во внѣшней цѣпи при такомъ способѣ регулировки не находится подъ вліяніемъ дѣйствія лампы, такъ какъ угли всегда устанавливаются на одно и тоже сопротивленіе. Такимъ образомъ то, что происходитъ въ одной изъ лампъ, не оказываетъ вліянія на другія. Итакъ, внѣшній токъ находится внѣ зависимости отъ правильности горѣнія лампы и наоборотъ. Такимъ образомъ помощью принципа дифференціальнаго регулятора можно включать послѣдовательно въ цѣпь рядъ лампъ, которыя будутъ работать совершенно независимо одна отъ другой.

Различія между тремя типами лампъ (лампы серіесъ съ послѣдовательно соединеннымъ регулирующимъ механизмомъ, шунтовыя и дифференціальныя) легко можно разъяснить слѣдующимъ образомъ.

Соленоидъ лампы перваго типа включенъ въ ту же цѣпь, въ которой находятся и угли; онъ не приводитъ въ движеніе своего якоря, установленнаго пружиною въ опредѣленномъ положеніи, до тѣхъ поръ, пока сила тока, проходящаго по его обмоткѣ и черезъ угли, остается постоянной. Когда токъ усиливается или ослабѣваетъ, соленоидъ начинаетъ регулировать, стремясь такимъ образомъ поддержать постоянство тока. Итакъ, лампы разсматриваемаго типа регулируются на постоянную силу тока. Если же соединено нѣсколько лампъ послѣдовательно, токъ въ цѣпи ихъ можетъ оставаться неизмѣннымъ, хотя бы въ каждой изъ нихъ и измѣнилось разстояніе между углями и сопротивленіе. Ясно отсюда, что лампы съ послѣдовательно соединеннымъ регулирующимъ механизмомъ могутъ функціонировать удовлетворительно только каждая въ отдѣльности.

Въ шунтовыхъ лампахъ якорь катушки не движется до тѣхъ поръ, пока остается постояннымъ токъ въ отвѣтвленіи, и начинаетъ двигаться, какъ только токъ въ отвѣтвленіи увеличивается или уменьшается. Такъ какъ сопротивленіе отвѣтвленія (обмотка регулирующаго соленоида) остается постояннымъ, то сила тока въ отвѣтвленіи зависитъ только отъ величины напряженія между точками, къ которымъ оно приключено. Но отвѣтвленіе приключается къ углямъ; отсюда ясно, что регулирующій механизмъ не дѣйствуетъ, пока напряженіе между углями остается безъ измѣненія, и приходитъ въ дѣйствіе, какъ только это напряженіе мѣняется. Итакъ, шунтовыя лампы регулируются на постоянное напряженіе. Такъ какъ напряженіе между углями равно произведенію силы тока на соотвѣтственное сопротивленіе, то очевидно, что нѣсколько соединенныхъ послѣдовательно лампъ могутъ и въ этомъ случаѣ вредить одна другой. Если сопротивленіе одной лампы станетъ слишкомъ великимъ, и токъ въ ней слишкомъ слабымъ, то онъ будетъ слишкомъ слабымъ и во всѣхъ другихъ лампахъ, и поэтому ихъ сопротивленіе возрастетъ вслѣдствіе раздвиганія углей. Двѣ подобныя лампы, соединенныя послѣдовательно, горятъ обѣ одновременно или очень темно, или очень ярко. Наоборотъ, если шунтовыя лампы соединены между собою параллельно, и напряженіе между внѣшними проводами остается постояннымъ, какъ это теперь всегда бываетъ, лампы горятъ очень хорошо; эти лампы достаточно хорошо регулируютъ и тогда, если онѣ соединены послѣдовательно по двѣ, если только добавочные грузы правильно подрегулированы на силу тока.

Наконецъ, въ дифференціальныхъ лампахъ регулирующій механизмъ стремится поддержать неизмѣннымъ сопротивленіе между углями. Если оно слишкомъ велико, дѣйствуетъ шунтовая катушка; если оно слишкомъ мало, дѣйствуетъ катушка, включенная въ главную цѣпь. Итакъ, дифференціальная лампа регулируется на постоянное

сопротивленіе. Поэтому въ рядѣ послѣдовательно соединенныхъ лампъ поддерживается постоянно одно и то же сопротивленіе и одна и та-же сила тока, если только машина, доставляющая токъ, работаетъ безъ всякихъ колебаній. Поэтому лампы этого типа особенно пригодны для послѣдовательнаго соединенія.

Всѣ лампы, какія были придуманы до настоящаго времени, принадлежатъ или къ лампамъ серіесъ, или къ шунтовымъ лампамъ, или, наконецъ, къ дифференціальнымъ лампамъ. Въ отношеніи своихъ электрическихъ частей онѣ различаются мало, но зато въ высшей степени разнообразны по своимъ механическимъ приспособленіямъ.

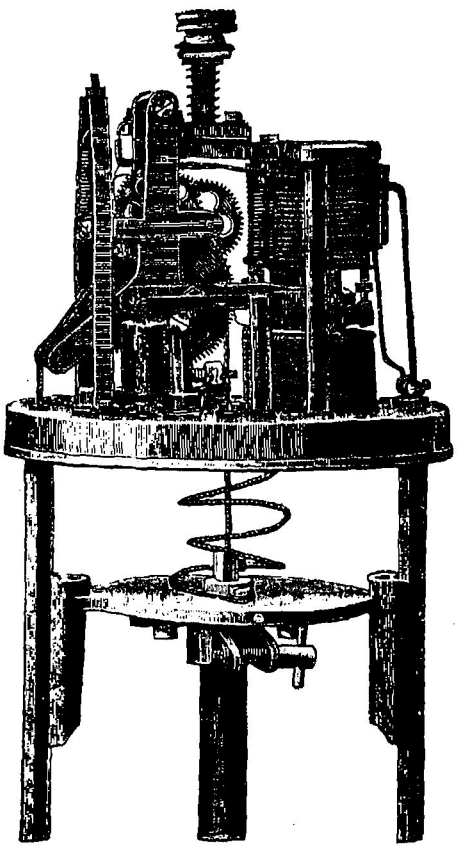
Если нѣсколько лампъ, дифференціальныхъ или шунтовыхъ, включено послѣдовательно, то устраивается еще приспособленіе, позволяющее совершенно выключить лампу изъ цѣпи, если она почему нибудь, напримѣръ по причинѣ обломки углей, не можетъ больше горѣть. Въ этомъ случаѣ токъ направился бы весь въ ту вѣтвь, въ которой находится катушка съ большимъ числомъ витковъ тонкой проволоки, нагрѣлъ бы ее слишкомъ сильно, а, съ другой стороны, и самъ настолько бы ослабъ, что и остальныя лампы тотчасъ бы потухли. Вотъ почему во всѣхъ этихъ лампахъ, на случай ихъ потуханія, току предоставляется другой путь, кромѣ тонкой обмотки шунтовой катушки. Обыкновенно токъ отвѣтвленія заставляютъ протекать вокругъ еще одного сердечника изъ мягкаго желѣза. Этотъ послѣдній намагничивается, но такъ какъ токъ отвѣтвленія очень слабъ, то намагничиваніе недостаточно, чтобы притянулся якорь. Лишь только лампа потухнетъ, и весь токъ направится въ отвѣтвленіе, электромагнитъ станетъ достаточно силенъ, чтобы притянуть якорь, который приводитъ въ соприкосновеніе толстую проволоку съ зажимомъ главной цѣпи; тогда токъ главною своею частью направится въ эту толстую проволоку, которая и замѣнитъ собою обломавшійся уголь.

На ряду съ электрической регулировкой у дуговыхъ лампъ всегда имѣется механическая, приводимая въ дѣйствіе электрической. Механическія системы весьма разнообразны. При механической регулировкѣ сущность всегда заключается въ томъ, что электрическая система приводитъ въ движеніе якорь, а этотъ послѣдній, задерживая или спуская какія нибудь колеса, приводитъ въ движеніе весь механизмъ, заставляя его сдвигать или раздвигать угли по мѣрѣ надобности.

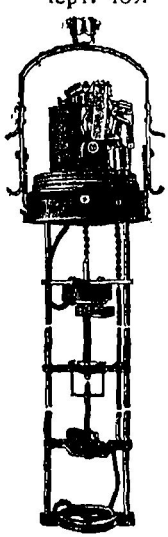
Приведемъ нѣсколько примѣровъ такихъ лампъ. Дифференціальная лампа Сименсъ-Шукерта изображена на черт. 438. Ея электрическая часть состоитъ изъ 4 катушекъ: 2 верхнія включены въ цѣпь главнаго тока, о чемъ можно заключить по толщинѣ проволоки ихъ обмотки, а двѣ нижнія суть шунтовыя катушки. Желѣзный сердечникъ, имѣющій форму *H*, имѣетъ 4 колѣна, изъ которыхъ каж-

дое вставлено въ одну изъ 4 катушекъ; сердечникъ этотъ соединенъ съ вилкой, движеніе которой отпускаетъ или останавливаетъ движущій механизмъ. Система колесъ связана съ блокомъ, черезъ который перекинутъ тросикъ, несущій на своихъ концахъ угледержатели. Благодаря большей тяжести верхняго угля, весь механизмъ начинаетъ двигаться, пока угли не соприкоснутся. Въ этотъ моментъ черезъ толстыя катушки пойдетъ токъ, втянетъ наверхъ сердечникъ, и это движеніе раздвигаетъ слегка угли, послѣ чего дифференціальный регуляторъ сдвигаетъ ихъ постепенно до нужнаго разстоянія. Въ подобномъ же родѣ сконструирована этой фирмой и шунтовая лампа.

Черт. 438.



Черт. 439.



Черт. 439 изображаетъ шунтовую лампу Всеобщей Компаніи Электриче(ства В. К. Э.). Электрическая регулировка состоитъ изъ электромагнита притягивающаго свой якорь. Электромагнитъ, обмотанный тонкой проволокой, изображенъ на чертежѣ слѣва. Пока угли не сошлись, весь токъ идетъ по обмоткѣ электромагнита, который и притягиваетъ свой якорь. Это движеніе спускаетъ сближающій угли механизмъ. А именно, угледержатели укрѣплены на цѣпи, перекинутой черезъ одно изъ колесъ механизма. Какъ только начинается вращеніе колесъ, угли сближаются; при этомъ свѣтящаяся точка остается всегда на одномъ и томъ же мѣстѣ,

такъ какъ угли передвигаются одновременно. Въ моментъ, когда сближающіеся угли наконецъ коснутся, весь токъ пойдетъ черезъ угли, электромагнитъ размагнитится, и особая пружина оттянетъ якорь. Это движеніе раздвигаетъ угли, причемъ появляется дуга. По мѣрѣ сгоранія углей, электромагнитъ опять все сильнѣе намагничивается, все глубже притягиваетъ якорь, пока не притянетъ его настолько, что якорь отпуститъ сближающій механизмъ и т. д. В. К. Е. строитъ и дифференціальныя лампы въ подобномъ же родѣ.

Тамъ, гдѣ освѣщеніе производится исключительно дуговыми лампами, предпочитаютъ включать эти лампы въ большомъ числѣ послѣдовательно. Тогда единственно примѣнимыми являются дифференціальныя лампы. При параллельномъ включеніи лампъ по большей части пользуются также дифференціальными лампами.

При этомъ, если въ главной линіи мы имѣемъ напряженіе 110 вольтъ, то обыкновенно включаютъ по 2 лампы послѣдовательно, такъ что вся установка распадается на параллельныя группы, изъ которыхъ каждая заключаетъ 2 послѣдовательно включенныя лампы.

Напряженіе между углями бываетъ различное въ зависимости отъ силы тока, при которомъ работаетъ лампа. Нижеслѣдующая таблица даетъ соотвѣтствующія величины силы тока (въ амперахъ) и напряженія у зажимовъ лампы (въ вольтахъ) для лампъ постояннаго тока:

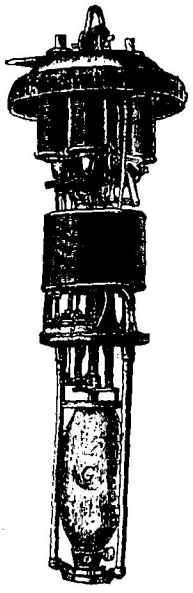
Сила тока	3,	6,	9,	12,	15,	20,	30	40 ампер.
Напряженіе у зажимовъ.	36,	38,	41,	42,	43,	44,	45,	52 вольта.
Длина дуги	0,7,	1,6,	2,5,	3,2,	3,5,	4,2,	5,0,	6 мм.

Если одна дуговая лампа питается отъ цѣпи въ 65 вольтъ (какъ иногда случается), или если двѣ дуговыя лампы, соединенныя послѣдовательно, питаются отъ цѣпи въ 110 вольтъ, то приходится включать послѣдовательно съ лампами еще добавочное сопротивленіе для поглощенія лишнихъ вольтъ. Положимъ, 2 лампы горятъ при 12 амперахъ, и напряженіе въ цѣпи равно 110 вольтамъ. Для горѣнія лампъ нужно только 84 вольта. Необходимо поэтому выбрать такое сопротивленіе, чтобы въ немъ при токѣ въ 12 амперъ поглощалось напряженіе въ 26 вольтъ, т. е. надо взять сопротивленіе въ 2,2 ома. Когда измѣняется разстояніе между углями, а вмѣстѣ съ тѣмъ и сопротивленіе лампы, то это измѣненіе оказываетъ меньшее вліяніе на силу тока въ присутствіи добавочнаго сопротивленія, чѣмъ безъ него. Дѣйствительно, общее сопротивленіе лампы въ первомъ случаѣ состоитъ изъ суммы перемѣннаго сопротивленія дуги и постояннаго добавочнаго. Такія сопротивленія (дуговые реостаты) состоятъ обыкновенно изъ голой проволоки, намотанной на изолирующій остовъ. Включаются они въ цѣпь лампы, недалеко отъ нея и защищаются обычно метал-

лическимъ колпакомъ. При первоначальной регулировкѣ лампы длина проволоки необходимой для добавочнаго сопротивленія подбирается опытнымъ путемъ. Въ послѣднее время стали включать подъ 110 вольтъ не 2, а 3 лампы послѣдовательно, безъ добавочнаго сопротивленія. При этомъ, конечно, въ виду малой разности потенціаловъ, приходящейся на каждую лампу, сильно уменьшается какъ длина дуги, такъ и сила свѣта.

Продолжительность горѣнія дуговой лампы естественно зависитъ отъ длины и толщины примѣняемыхъ углей. Уголь сгораетъ въ присутствіи кислорода воздуха подъ вліяніемъ высокой температуры дуги. Можно считать, какъ среднее, что въ часъ сгораетъ 20 мм. каждаго угля. Для различной силы тока берутъ угли различной толщины и, кромѣ того, при токѣ постоянномъ, какъ уже говорилось, положительный уголь берется съ сѣченіемъ въ два раза большимъ, чѣмъ отрицательный. Обыкновенно угли берутся такой длины, чтобы горѣніе продолжалось отъ 6 до 10 часовъ. Уже давно были начаты попытки значительно увеличить время горѣнія дуговыхъ лампъ, и попытки эти увѣнчались успѣхомъ, который достигнутъ тѣмъ, что вольтова дуга герметически закрывается въ особомъ стеклянномъ колоколѣ, и доступъ кислорода изъ атмосферы прекращается или сильно затрудненъ. Такія лампы продолжительнаго горѣнія могутъ горѣть непрерывно 150 часовъ. Напряженіе, необходимое для дуги въ этомъ случаѣ значительно выше обыкновеннаго: до 70 и 80 вольтъ. На черт. 440 изображена такая лампа: *G* — стеклянный колпакъ, въ который заключена дуга. Обыкновенно вся лампа кромѣ того помѣщается въ большой стеклянный колпакъ (шаръ).

Черт. 440.

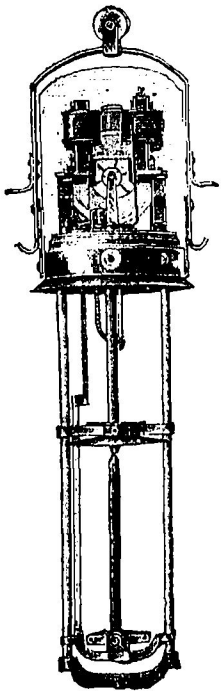


Мы говорили до сихъ поръ главнымъ образомъ о дуговыхъ лампахъ тока постояннаго. Какъ уже было упомянуто, электрическая дуга съ такимъ же успѣхомъ можетъ быть образована и перемѣннымъ токомъ. Регулирующій механизмъ лампъ можно въ существенныхъ частяхъ оставить такимъ же, какъ и при постоянномъ токѣ. Электрическая часть регулирующаго механизма всегда, вѣдь, состоитъ изъ электромагнита съ якоремъ или изъ соленоидовъ съ желѣзными подвижными сердечниками; а электромагнитъ притягиваетъ мягкое желѣзо одинаково и сѣвернымъ, и южнымъ полюсами, такъ какъ въ желѣзѣ всегда индуктируются противоположные полюса; и соленоидъ втягиваетъ сердечникъ изъ мягкаго желѣза независимо отъ направленія проходящаго черезъ него тока. Такимъ образомъ, въ обоихъ случаяхъ можетъ быть

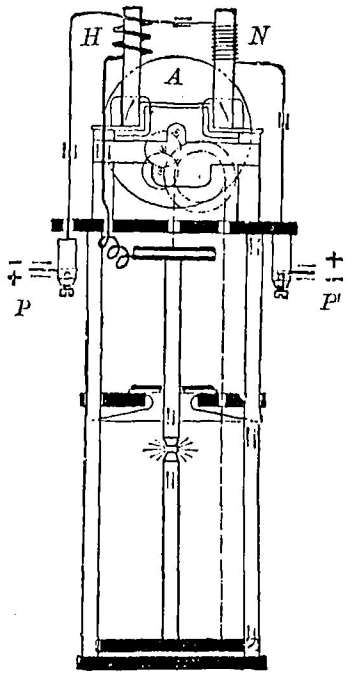
примѣненъ и перемѣнный токъ. Необходимо только составить желѣзный сердечникъ электромагнита изъ пластинъ, чтобы уничтожить токи Фуко.

Другой принципъ положенъ въ основу регулятора т. наз. моторной лампы В. К. Э. для перемѣннаго тока. На черт. 441 представленъ ея общій видъ безъ колпака, на черт. 442—схематически ея механизмъ. Круглый алюминіевый дискъ можетъ вращаться около горизонтальной оси. Онъ проходитъ въ зазоръ между полюсными наконечниками электромагнитовъ H главной цѣпи и N отвѣтвленной, расположенныхъ симметрично относительно оси. Полюса этихъ магнитовъ частью покрыты мѣдными пластинами; при прохожденіи черезъ катушки перемѣннаго

Черт. 441.



Черт. 442.



тока какъ въ мѣдныхъ пластинахъ, такъ и въ дискѣ возбуждаются индукціонные токи, которыя начинаютъ вращать дискъ; съ послѣднимъ помощью зубчатой передачи и цѣпи соединены угледержатели. Электромагнитъ главной цѣпи дѣйствуетъ раздвигая угли, отвѣтвленной — наоборотъ, сдвигая. Такъ подводится къ зажимамъ P и P'.

Въ одномъ, однако, отношеніи дуговыя лампы постояннаго и перемѣннаго тока различаются между собою. Именно, при постоянномъ токѣ большая часть свѣта направляется внизъ, такъ какъ въ верхнемъ положительномъ углѣ образуется кратеръ. При перемѣнномъ же токѣ

приходится искусственно придавать свѣтовымъ лучамъ это направленіе, въ виду того, что оно очень удобно на практикѣ; съ этою цѣлью въ дуговыхъ лампахъ перемѣннаго тока употребляется особый рефлекторъ, помѣщаемый надъ дугой и отражающій внизъ лучи, идуіціе вверхъ.

Напряженіе между углями при перемѣнномъ токѣ, какъ было указано на стр. 524, меньше, чѣмъ при постоянномъ. Оно также мѣняется съ силою тока и длиною дуги. Въ слѣдующей таблицѣ приведены соотвѣтственныя величины силы тока, напряженія и длины дуги:

Сила тока	6,	10,	15,	20,	35 амперъ.
Напряженіе	28,	29,	31,	32,	34 вольта.
Длина дуги	1,5,	1,7,	1,9,	2,3,	2,7 мм.

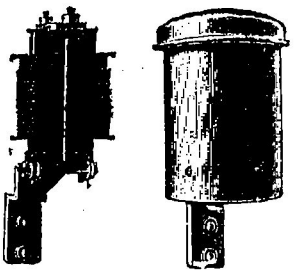
Само собою понятно, что всякая лампа перемѣннаго тока даетъ меньше свѣта, чѣмъ лампа постояннаго тока при той же силѣ тока. Дѣйствительно, энергія, потребляемая лампою при постоянномъ токѣ, равняется прибл. 45 вольтамъ, умноженнымъ на силу тока, тогда какъ при перемѣнномъ токѣ всего лишь около 30 вольтъ на силу тока. Соотвѣтственно этому и количество свѣта при перемѣнномъ токѣ равно приблизительно $^2/_3$, или $66^0/_0$ количества свѣта, получаемаго при постоянномъ токѣ той же силѣ. Однако и при одинаковой потребленной мощности, т. е. при тѣхъ же ваттахъ, свѣтовой эффектъ лампы перемѣннаго тока меньше, чѣмъ при постоянномъ токѣ. Это зависитъ отъ того, что температура углей при перемѣнномъ токѣ ниже. При перемѣнномъ токѣ постоянно чередуются то максимумъ силы тока, то нулевой токъ, слѣдовательно послѣ каждаго максимума наступаетъ хотя бы мгновеніе охлажденія углей. Поэтому въ среднемъ температура не достигаетъ той величины, что при постоянномъ токѣ.

Если желаютъ питать нѣсколько послѣдовательно соединенныхъ лампъ перемѣннаго тока на 30 вольтъ отъ цѣпи, которая имѣетъ часто напряженіе въ 110 вольтъ, можно для поглощенія лишнихъ вольтъ примѣнить добавочное сопротивленіе, какъ и при постоянномъ токѣ. Но, кромѣ того, въ случаѣ лампъ перемѣннаго тока есть легкій способъ включить даже одну лампу въ цѣпь, питаемую 110-ю вольтами, притомъ безъ особенной потери энергіи. Задача состоитъ въ томъ, чтобы держать на зажимахъ лампы прибл. 30 вольтъ, тогда какъ въ цѣпи, куда она включена, господствуетъ 110 вольтъ. При перемѣнномъ токѣ это достигается введеніемъ въ цѣпь реактивной катушки (см. стр. 259). Реактивная катушка представляетъ изъ себя просто электромагнитъ съ обмоткой весьма небольшого сопротивленія. Благодаря желѣзному сердечнику, самоиндукція такой катушки весьма велика, и въ ней возникаютъ сильные индукціонные токи, непрерывно

противодѣйствующіе главному перемѣнному току и ослабляющіе его. Въ результатѣ напряженіе у зажимовъ лампы сильно падаетъ. Но это уменьшеніе не связано здѣсь съ потерей энергіи, какъ въ случаѣ поглощенія вольтъ сопротивленіемъ, ибо теряется только та энергія, которая ушла на джоулево тепло, а эта часть энергіи весьма невелика въ виду малаго сопротивленія катушки. Часть работы тратится еще на гистерезисъ, но все-же эти потери весьма малы сравнительно съ потерями въ случаѣ примѣненія сопротивленій для поглощенія вольтъ.

На черт. 443 изображена такая реактивная катушка. Обыкновенно она помѣщается въ кожухѣ, подобномъ представленному на черт. 444. Реактивная катушка должна быть подобрана на данную силу тока и данную частоту.

Черт. 443. Черт. 444.



Второй способъ заключается въ примѣненіи небольшихъ трансформаторовъ, первичная обмотка которыхъ питается токомъ въ 110 вольтъ, а вторичная даетъ напряженіе въ 30 и 60 вольтъ (для 1 и 2 лампъ). Подобные трансформаторы строятся и для другихъ напряженій въ проводахъ. Выгода примѣненія этихъ трансформаторовъ будетъ ясна изъ слѣдующаго разсчета. Положимъ, одна 12-ти-амперная дуговая лампа должна питаться перемѣннымъ токомъ отъ цѣпи въ 110 вольтъ. Сама дуговая лампа потребляетъ $30 \times 12 = 360$ ваттъ (приблизительно).

Во всей же цѣпи лампъ будетъ потребляться $110 \times 12 = 1.320$ ваттъ. Слѣдовательно, пришлось бы добавочнымъ сопротивленіемъ поглотить 960 ваттъ, и это было бы непрерывной безполезной тратой. Если же примѣнить трансформаторъ, то на его вторичныхъ зажимахъ будетъ напряженіе 30 вольтъ (въ дѣйствительности нѣсколько больше, до 40). Такъ какъ напряженіе понижается трансформаторомъ со 110 до 40 вольтъ, то первичная обмотка трансформатора будетъ потреблять токъ силою въ $12 \times \frac{40}{110} = 4{,}4$ ампера. Такимъ образомъ, въ первичной обмоткѣ будетъ потребляться $4{,}4 \times 110 = 484$ ватта, и будетъ весьма малая потеря энергіи. Подобные малые трансформаторы примѣняются на установкахъ всѣми большими фирмами. Совершенно подобный разсчетъ примѣнимъ для реактивныхъ катушекъ.

Расходъ энергіи на единицу силы свѣта въ различныхъ дуговыхъ лампахъ нѣсколько разнится. Въ среднемъ можно принять, что дуговая лампа на каждый амперъ получаемаго ею тока даетъ силу свѣта въ 100 норм. свѣчей. Такъ какъ напряженіе у зажимовъ дуговой лампы равно 40—50 вольтамъ, въ среднемъ 45 вольтамъ, то, слѣдовательно, на каждые 45 ваттовъ получается 100 свѣчей. Если принять въ со-

ображеніе трату энергіи на сопротивленіе въ машинѣ и проводахъ, то можно считать въ общемъ, что въ случаѣ динамомашины средняго размѣра отъ каждой лошадиной силы (736 ваттовъ) получается сила свѣта въ 1.200 норм. свѣчей.

За послѣдніе годы техника сдѣлала громадные успѣхи въ области освѣщенія, именно въ смыслѣ увеличенія силы свѣта лампъ при томъ же потребленіи энергіи. Со времени появленія первыхъ дуговыхъ лампъ потребность въ хорошемъ яркомъ освѣщеніи сильно возросла; вскорѣ перестали довольствоваться освѣщеніемъ улицъ, залъ и выставочныхъ магазинныхъ оконъ лампами въ 1.000 свѣчей; потребовалось значительно большее, двойное и даже еще болѣе яркое освѣщеніе при незначительномъ увеличеніи потребляемой энергіи. Идя навстрѣчу этой потребности, Бремеръ [1]) предложилъ слѣдующее средство: онъ прибавилъ къ составу углей дуговыхъ лампъ такія соли, которыя, благодаря высокой температурѣ дуги, обращались въ пары, сильно способствующіе увеличенію свѣтового эффекта дуги. Лампы, снабженныя такими углями, получили названіе пламенныхъ дуговыхъ лампъ. Вообще говоря, это тѣ же угли въ видѣ стержня, въ сильной лишь степени пропитанные солями кальція, барія, стронція и т. п., такъ что во время горѣнія лампы свѣтъ испускаетъ не только кратеръ угля, но также въ сильной степени и раскаленные пары примѣсей. Пары эти окрашиваютъ пламя дуги въ различные, характерные для каждаго металла цвѣта. Соли кальція даютъ желтый свѣтъ, стронція—красный и барія—молочно-бѣлый. Эта окраска свѣта вольтовой дуги даетъ не только то преимущество, что нѣсколько смягчаетъ свѣтъ дуги, холодный вслѣдствіе богатства синими лучами, но, что еще важнѣе, значительно увеличиваетъ свѣтовой эффектъ дуги безъ увеличенія силы тока. Такъ какъ пары солей обладаютъ сравнительно небольшимъ сопротивленіемъ, то можно значительно увеличивать длину дуги, увеличивая тѣмъ самымъ количество получаемаго свѣта. При одномъ и томъ же потребленіи энергіи желтые угли даютъ свѣту болѣе, чѣмъ вдвое, красные и молочно-бѣлые раза въ полтора больше обыкновенныхъ. Такое повышеніе экономичности происходитъ частью и оттого, что пары этихъ солей испускаютъ преимущественно видимые лучи, тогда какъ въ спектрѣ до-бѣла раскаленныхъ углей очень много темныхъ лучей, которые въ данномъ случаѣ совершенно безполезны. Для увеличенія яркости пламенныхъ дуговыхъ лампъ ихъ обыкновенно заключаютъ въ очень небольшіе колпачки, чѣмъ еще болѣе усиливается

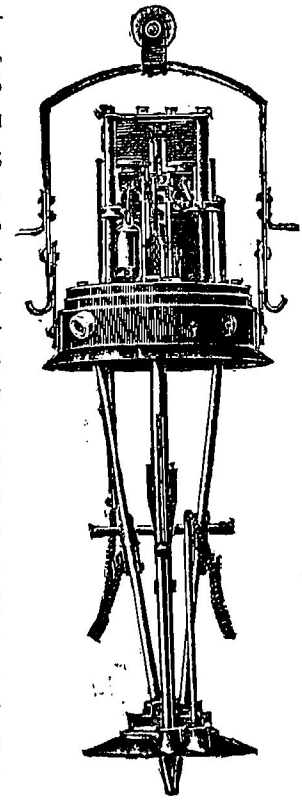
---

[1]) Въ техникѣ вольтовыхъ дугъ пріоритетъ несомнѣнно принадлежитъ русскимъ изобрѣтателямъ. Вышеуказанное предложеніе пользоваться цвѣтными пламенами, какъ и многое другое въ электротехникѣ, впервые было сдѣлано Яблочковымъ. (Прим. перев.).

впечатлѣніе яркости. Пропитанные угли по способу, предложенному Бремеромъ, изготовляются многими фирмами. Они имѣютъ фитили съ богатымъ содержаніемъ упомянутыхъ солей; сѣченіе этихъ фитилей однако очень невелико: діаметръ ихъ не больше $^1/_5$ общаго діаметра угля. Напротивъ угли, предложенные Блонделемъ, имѣютъ фитиль діаметромъ равнымъ $^2/_3$ общаго діаметра. И эти угли обнаружили прекрасныя качества. Они извѣстны подъ названіемъ Блонделевскихъ или Т. В. — углей.

Чтобы направить потокъ свѣта преимущественно книзу, въ этихъ лампахъ угли большею частью ставятъ не одинъ надъ другимъ, но наклонно одинъ къ другому. На черт. 445 изображена такая лампа, именно пламенная дуговая лампа перемѣннаго тока фирмы A. E. G.; механизмъ ея тотъ же, что у описанной выше, такъ называемой, моторной лампы. У лампъ съ наклонными углями вращающійся алюминіевый дискъ движетъ вверхъ и внизъ вертикальную штангу, которая на поперечинѣ помощью особыхъ салазокъ держитъ наклонно угли. При движеніи штанги вверхъ между углями образуется дуга, послѣ чего угли медленно расходятся другъ отъ друга. Пламенныя дуговыя лампы имѣютъ тотъ недостатокъ, что испускаютъ тяжелые и вредные пары, поэтому онѣ не примѣнимы для внутреннихъ помѣщеній. По той же причинѣ ихъ регулирующій механизмъ долженъ быть тщательно изолированъ отъ разъѣдающаго дѣйствія этихъ паровъ.

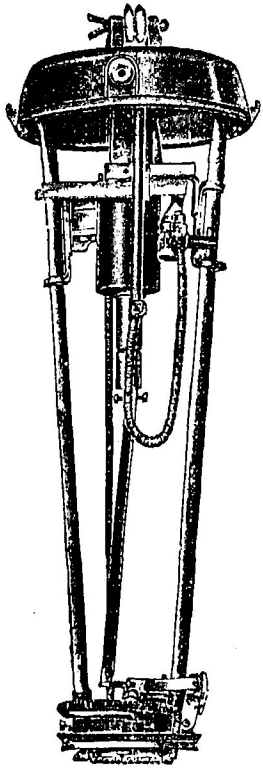
Черт. 445.



Наклонная постановка углей употребляется иногда и въ обыкновенныхъ дуговыхъ лампахъ съ чистыми углями. И, наоборотъ, пламенныя лампы, а именно съ Т. В. — углями, конструируются также и съ углями, установленными одинъ надъ другимъ. Ввиду того, что колпаки такихъ лампъ сильно загрязняются осаждающимися парами — недавно появились колпаки съ вентиляціей: сильный токъ воздуха, идущій вдоль внутреннихъ стѣнокъ колпака, препятствуетъ ихъ загрязненію.

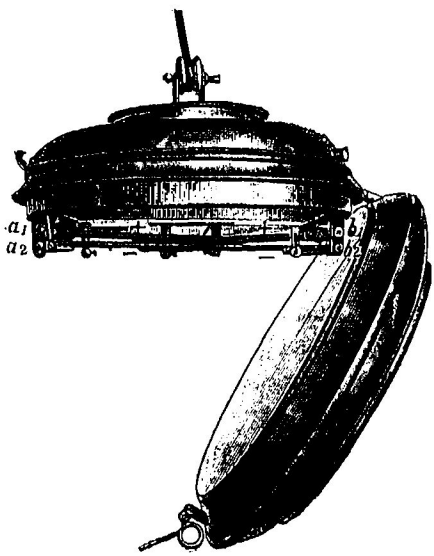
Значительнаго усовершенствованія конструкціи дуговыхъ лампъ достигли въ послѣдніе годы тѣмъ, что появились лампы съ регуляторами, совершенно лишенными часового механизма, и все же съ плавною и равномѣрною подачею углей. Эти лампы нельзя, конечно, назвать совершенно лишенными механизма, такъ какъ въ нихъ необходимъ

Черт. 446.



электромагнитъ или замѣняющее его приспособленіе, чтобы раздвинуть на должное разстояніе концы углей, первоначально находящихся въ соприкосновеніи, какъ это необходимо для образованія дуги. Но дальнѣйшее плавное и постепенное сдвиганіе углей производится безъ помощи часового механизма. Первая лампа подобнаго рода — лампа Бека изготовляется Нѣмецкимъ Обществомъ дуговыхъ лампъ Бека во Франкфуртѣ на/М. Одинъ изъ углей этой лампы снабженъ угольнымъ же ребромъ, которымъ онъ упирается на металлическую пластинку, укрѣпленную внизу лампы. По мѣрѣ сгоранія углей сгораетъ и ребро, такъ что уголь, благодаря собственному вѣсу, чрезъ промежутки времени въ нѣсколько секундъ, постепенно опускается. Второй уголь, обыкновенный — круглый, установленъ наклонно къ первому и, такимъ образомъ, съ нимъ связанъ, что осѣдаетъ одновременно съ нимъ. На черт. 446 представлена эта лампа (безъ углей). Весь механизмъ заключается въ электромагнитѣ, который при возбужденіи втягиваетъ якорь и тѣмъ самымъ раздвигаетъ угли, до того соприкасавшіеся своими концами. Такимъ образомъ, образуется дуга. Подача углей, какъ было указано, происходитъ совершенно автоматически. Подобныя лампы безъ регулирующаго механизма строются теперь и другими фирмами.

Черт. 447.



Изъ нихъ совершенно особую форму имѣетъ лампа Тимаръ-Дрегера, которую строитъ Общество электротехнической индустріи въ Берлинѣ. Лампа эта весьма плоская, что дѣлаетъ ее особо удобной для низкихъ помѣщеній, напримѣръ, на корабляхъ. Черт. 447 показываетъ общій видъ такой лампы съ открытой стеклянной крышкой. Плоская ея форма обусловлена расположеніемъ углей, которые установлены

горизонтально параллельно одинъ другому на небольшомъ разстояніи другъ отъ друга. Въ каждой лампѣ имѣются двѣ пары углей; каждый уголь вращается около своей оси a_1, a_2, b_1, b_2. До включенія лампы каждый положительный уголь опирается концомъ своимъ на отрицательный. При включеніи токъ пройдетъ черезъ обмотку электромагнита, заключеннаго въ кожухѣ лампы, который, притянувъ якорь, приподыметъ положительный уголь; такимъ образомъ образуется между концами углей дуга. Послѣдняя не появится гдѣ-нибудь по серединѣ углей благодаря электродинамическому дѣйствію тока на дугу. Силовыя линіи контура тока, образованнаго лѣвымъ положительнымъ угломъ, дугой и отрицательнымъ угломъ, направлены перпендикулярно за плоскость чертежа. По мнемоническому правилу лѣвой руки нужно указательный палецъ направить за плоскость чертежа, средній по направленію дуги сверху внизъ, тогда большой палецъ будетъ обращенъ вправо, указывая направленіе давленія, испытываемаго дугой. То же самое можно сказать и относительно второй пары углей.

Такимъ образомъ, вольтова дуга въ области освѣщенія дала широкую возможность конструктивной разработки какъ самыхъ лампъ, такъ и углей къ нимъ. Какъ обыкновенныя дуговыя лампы, силой свѣта отъ 500 до 2.000 свѣчей, такъ и пламенныя лампы, сила свѣта которыхъ переходитъ за 3.000 свѣчей, въ настоящее время отвѣчаютъ почти всѣмъ цѣлямъ освѣщенія во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, гдѣ требуется яркое и достаточно безопасное освѣщеніе. Удобство, съ которымъ каждую лампу, простымъ включеніемъ или выключеніемъ тока, можно съ опредѣленнаго мѣста сразу зажечь и вновь загасить, еще болѣе повышаетъ степень ихъ примѣнимости. По своей яркости и бѣлизнѣ свѣта вольтова дуга наиболѣе приближается къ дневному свѣту; пропитанные же Бремеровскіе и Блонделевскіе угли позволяютъ окрашивать свѣтъ дуги во всевозможные пріятные для глаза оттѣнки.

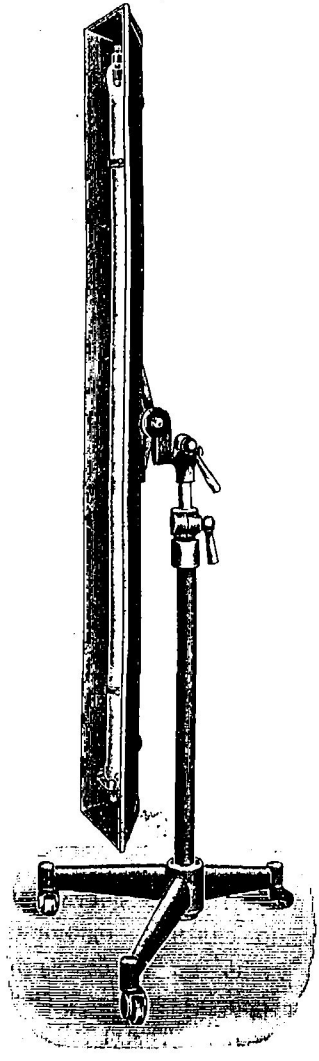
Въ настоящее время уже почти не строютъ небольшихъ дуговыхъ лампъ въ 100—300 свѣчъ, что прежде долгое время практиковалось фирмами, такъ какъ лампы накаливанія съ металлическою нитью, о которыхъ рѣчь будетъ въ слѣдующей главѣ, оказались для этой цѣли значительно проще и почти одинаково экономичны. Съ другой стороны, при нѣкоторыхъ условіяхъ можно питать дуговыя лампы токомъ столь большой силы, что онѣ даютъ свѣтовый потокъ колоссальной мощности.

Извѣстны конструкціи лампъ, сила свѣта которыхъ достигала 50.000—70.000 единицъ свѣта. Эти чрезвычайно сильные, одинокіе источники свѣта, конечно, употребительны лишь въ особенныхъ случаяхъ; съ давнихъ поръ употребляются они на маякахъ; въ новѣйшее время на многихъ большихъ корабляхъ устраиваются дуговыя лампы,

причемъ дѣлается приспособленіе къ тому, чтобы ихъ свѣтъ распространялся въ любомъ направленіи. Эти морскіе рефлекторы (прожекторы) приготовляются особенно искусно фирмою Шуккертъ.

Всѣ дуговыя лампы, о которыхъ шла рѣчь выше, какъ бы онѣ не различались по конструкціи и даже по идеѣ, имѣли то общее между собою, что у нихъ дуга образуется между двумя угольными электродами. Однако, какъ было указано и выше (стр. 132), вполнѣ возможно образовать дугу и между другими, легко обращающимися въ парообразное состояніе, электродами. Въ особенности это относится къ ртути, которая легко и удобно образуетъ дугу. Ртутная лампа Аронса, о которой было упомянуто выше, представляетъ собою аппаратъ, имѣющій лишь научное значеніе и оказавшій, какъ таковой, дѣйствительно немалую услугу. Вскорѣ однако Куперъ Юиттъ придалъ ей такую форму, что она оказалась удобной и для практическихъ цѣлей, и въ настоящее время такія ртутныя лампы строются уже нѣсколькими фирмами.

Черт. 448.



Въ нихъ дуга образуется въ безвоздушномъ пространствѣ стеклянной запаянной трубки. Если послѣднюю желательно включить въ цѣпь съ напряженіемъ въ 110 вольтъ, т. е. чтобы дуга горѣла при этомъ напряженіи, то длина ея должна быть довольно большой—отъ 50 до 100 см.

Въ противоположность конструкціи Аронса въ этой лампѣ лишь одинъ изъ электродовъ ртутный, именно катодъ, анодъ дѣлается обыкновенно изъ желѣза или графита. Для зажиганія дуги были испробованы различныя средства. Наиболѣе простой способъ, встрѣчающійся поэтому наиболѣе часто—зажиганіе наклономъ лампы. Включивъ лампу въ цѣпь, медленно придаютъ ей такой наклонъ, чтобы ртуть переливалась отъ катода къ аноду — этимъ цѣпь тока замыкается при условіи достаточнаго количества ртути. При обратномъ наклоненіи ртуть побѣжитъ назадъ и между анодомъ и катодомъ образуется дуга, которая заполняетъ всю стеклянную трубку. Трубку прикрѣпляютъ такимъ образомъ, чтобы удобно было произвести наклонъ. На черт. 448

изображена лампа Боаса, которая можетъ вращаться на стойкѣ во всѣ стороны, а также наклоняется для зажиганія. Въ другихъ случаяхъ лампу подвѣшиваютъ къ потолку, такъ что она можетъ вращаться около горизонтальной оси; для зажиганія лампа наклоняется, а затѣмъ снова возвращается въ прежнее положеніе помощью свисающихъ внизъ цѣпей.

Свѣтъ ртутной лампы зеленоватосиній и для обычныхъ цѣлей освѣщенія, несмотря на свою яркость, не особенно пріятенъ, т. к. придаетъ, напримѣръ, лицамъ мертвенно блѣдный цвѣтъ. Съ другой стороны лампы эти особенно пригодны для рекламныхъ цѣлей въ магазинныхъ выставочныхъ окнахъ, не тамъ, конечно, гдѣ выставляется цвѣтной товаръ, а при выставкѣ металлическихъ, ювелирныхъ, стеклянныхъ и т. п. издѣлій. Отличный отъ обычнаго цвѣтъ ртутной лампы, уже самъ по себѣ привлекаетъ вниманіе проходящихъ къ этимъ окнамъ.

Дуга въ этихъ лампахъ имѣетъ совершенно тотъ же видъ, что и извѣстное намъ (см. стр. 339) явленіе разряда въ гейсслеровой трубкѣ. На черт. 449 представлена картина такой дуги изъ ртутныхъ паровъ въ безвоздушномъ пространствѣ. У катода K, гдѣ находится ртуть, видно яркое свѣтящееся пятно, образующее во ртути какъ бы воронку, перебѣгающую по поверхности ртути. Изъ этой воронки исходитъ потокъ паровъ ртути, въ началѣ невидимый, затѣмъ идетъ темное мѣсто—такъ называемое темное катодное пространство; къ нему прилегаетъ длинный яркій свѣтящійся столбъ, соотвѣтствующій положительному свѣченію въ гейслеровой трубкѣ. Далѣе къ аноду можно опять замѣтить небольшое темное пространство и, наконецъ, положи-

Черт. 449.



тельный электродъ, охваченный узкимъ свѣтящимся ореоломъ. Дуга можетъ возникнуть лишь при томъ условіи, что катодъ имѣетъ настолько высокую температуру, что онъ въ состояніи выбрасывать достаточное количество отрицательныхъ электроновъ. Послѣдніе, пролетѣвъ небольшое разстояніе темнаго пространства, съ такою огромною скоростью ударяются о молекулы паровъ ртути, что іонизируютъ ихъ. Получающіяся отъ этого положительно заряженныя частицы летятъ обратно къ катоду и, ударяясь въ него постоянно, снова его нагрѣваютъ. Такимъ образомъ поддерживается высокая температура катода; отрицательные же электроны продолжаютъ свои полеты и свою работу іонизаціи встрѣчныхъ нейтральныхъ молекулъ. Длинный свѣтящійся столбъ по всей вѣроятности состоитъ изъ подобныхъ молекулъ, ко-

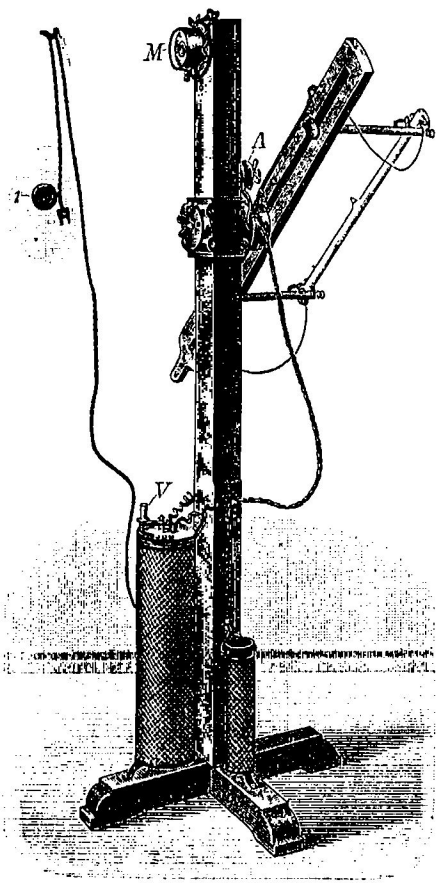
торыя іонизируются отрицательными электронами, но тотчасъ же снова соединяются съ подобнымъ же электрономъ (стр. 354).

Главное преимущество свѣта ртутной дуги передъ обыкновенной—его богатство лучами короткой длины волны, такъ называемыми ультрафіолетовыми лучами. Эти лучи обладаютъ особенно сильнымъ фотографическимъ дѣйствіемъ, а также весьма полезны въ медицинѣ при леченіи накожныхъ болѣзней; однако, ртутная дуга, образованная въ стеклянной трубкѣ, какъ въ лампѣ Куперъ-Юитта, почти совершенно теряетъ это преимущество, такъ какъ стекло поглощаетъ большую часть ультрафіолетовыхъ лучей. Поэтому вмѣсто обыкновенныхъ стеклянныхъ трубокъ для спеціальныхъ цѣлей употребляютъ трубки изъ особаго стекла, предложенныя извѣстной фирмой Шотта и Ко. въ Іенѣ, которой наука и техника обязана уже столь многими цѣнными усовершенствованіями. Стекло это почти вовсе не задерживаетъ ультрафіолетовыхъ лучей. Названо оно увіоловымъ стекломъ, откуда и ртутная лампа изъ такого стекла называется увіоловой лампой. Форма лампы изображена на черт. 450. Стеклянная трубка длиной отъ 40 до 60 сант. на обоихъ своихъ концахъ имѣетъ впаянныя платиновыя проволочки, которыя внутри трубки соединены съ заостренными угольками; катодъ въ трубкѣ покрытъ, конечно, ртутью. Такая лампа монтируется на подставкѣ, какъ это показано на черт. 451, гдѣ изображены также: добавочное сопротивленіе *V*, выключатель *A* и амперметръ *M*.

Черт. 450.



Черт. 451.



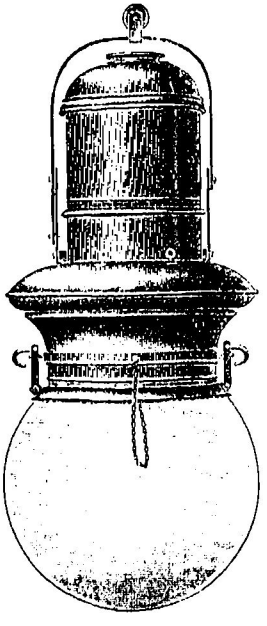
Примѣненіе такой лампы изъ увіолова стекла или изъ кварца, также свободно пропускающаго ультрафіолетовые лучи, широко распространено между фотографами. Благодаря богатству ультрафіолетовыми лучами, наиболѣе дѣйствующими фотографически, онѣ несравнимо

болѣе примѣнимы для фотографіи въ темнотѣ, чѣмъ обыкновенные дуговые фонари. Наибольшее значеніе, однако, эти лампы должны получить въ области медицины. Здѣсь, благодаря изобилію тѣхъ же ультрафіолетовыхъ лучей, этимъ лампамъ, насколько въ настоящее время уже можно судить, открывается такое же широкое поле примѣненія для леченія накожныхъ болѣзней, какое до сихъ поръ принадлежало исключительно извѣстной лампѣ Финзена; онѣ значительно удобнѣе финзеновскихъ для пользованія и потому вытѣсняютъ эти послѣднія съ каждымъ днемъ все болѣе и болѣе. Такимъ образомъ къ длинному перечню заслугъ, оказанныхъ электричествомъ человѣчеству, нужно прибавить еще одну въ области практической медицины.

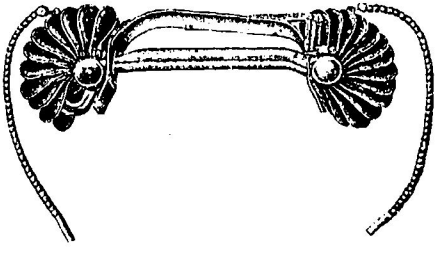
Съ другой стороны и въ области собственно освѣщенія ртутныя, особенно кварцевыя, лампы начинаютъ сильно конкурировать съ обычными дуговыми благодаря особенной ихъ экономичности.

Кварцевая лампа, изготовляемая Обществомъ кварцевыхъ лампъ въ Ганау, изображенная на черт. 452, по внѣшнему виду очень напоминаетъ обыкновенный дуговой фонарь. Внутри колпака находится кварцевая трубка, въ которой образуется дуга. Трубка эта называется горѣлкой лампы (черт. 453); на ея концахъ къ ней припаяны кварцевыя же поперечныя сосуды, въ которыхъ находятся ртутные электроды. Сосуды эти съ внѣшней стороны окружены металлическими вѣерами, которые служатъ охладителями сосудовъ, излучая выдѣляющееся въ нихъ тепло. Ввиду того, что кварцъ выноситъ значительно болѣе высокую температуру, чѣмъ стекло, эти лампы способны перерабатывать въ свѣтъ значительно большія количества энергіи.

Черт. 452.



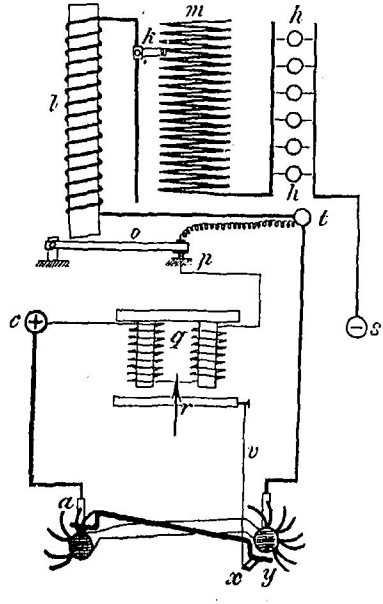
Черт. 453.



Слѣдствіемъ допустимой высокой температуры является то, что давленіе паровъ ртути въ трубкѣ не ниже внѣшняго; такимъ образомъ это не суть трубки съ пустотой, какъ въ другихъ ртутныхъ лампахъ. Такое высокое, сравнительно, давленіе даетъ возможность сильно укоротить

трубку для одного и того же напряженія, что и обусловливаетъ удобную компактную конструкцію этой лампы; далѣе, и свѣтъ ея не имѣетъ въ столь сильной степени непріятной зеленовато-синей окраски и болѣе приближается къ желтовато-бѣлому свѣту. Свѣтовой потокъ дуги не заполняетъ уже всего сѣченія трубки, но проходитъ внутри ея тонкой нитью. Для зажиганія лампы устроено автоматическое приспособленіе, наклоняющее трубку до зажиганія послѣ включенія тока. Изъ схемы на черт. 454 понятенъ способъ дѣйствія этого приспособленія. Горѣлка ax или, точнѣе, связанная съ нею металлическая скоба ay соединена тягой v съ якоремъ r электромагнита q, включеннаго параллельно трубкѣ; въ главную цѣпь включены добавочныя сопротивленія h и m изъ желѣзной проволоки, а также реактивная катушка l.

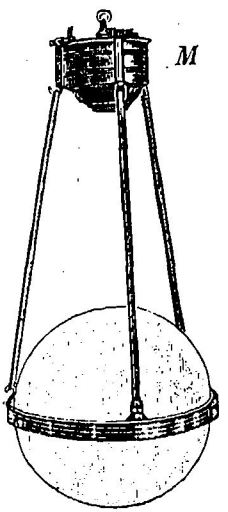
Черт. 454.



При включеніи тока электромагнитъ притягиваетъ якорь и поворачиваетъ горѣлку такимъ образомъ, что положительный ея полюсъ a поднимается, отрицательный x понижается. Ртуть переливается изъ a къ x и замыкаетъ главную цѣпь тока; катушка l притягиваетъ якорь o, размыкая въ p отвѣтвленную цѣпь. Якорь r освобождается и трубка принимаетъ прежнее положеніе, ртуть отходитъ обратно и образуетъ дугу. Дальнѣйшей регулировки лампа вообще говоря не требуетъ. Добавочныя сопротивленія h изъ желѣзной проволоки позволяютъ тотчасъ же по приложеніи напряженія пускать черезъ лампу токъ большой силы, что приводитъ къ быстрому закипанію ртути, и, такимъ образомъ, количество выдѣляемыхъ ртутью паровъ сразу дѣлается достаточнымъ. Благодаря большой силѣ тока желѣзная проволока тотчасъ же накаливается до-красна, что вчетверо увеличиваетъ ея сопротивленіе; такимъ образомъ сила тока тотчасъ же падаетъ до нормальной величины. Яркость лампы, благодаря очень высокой температурѣ, весьма велика. Лампы, работающія при 220 вольтахъ и потребляющія 3,5 ампера, даютъ силу свѣта до 3000 свѣчъ. Другія лампы при 220 вольтахъ и 2,5 или 1,5 ампера даютъ силу свѣта въ 1500 и 800 свѣчей. Третій типъ лампъ для напряженія въ 110 вольтъ потребляетъ 4 или 2,5 ампера, давая силу свѣта въ 1200 или 700 свѣчей. Экономичность такой лампы, обусловленная ея высокой температурой, замѣчательно высока; кварцевая лампа потребляетъ 0,25

ватта на свѣчу, далеко оставляя за собою въ этомъ отношеніи обыкновенныя дуговыя лампы и конкурируя лишь съ пламенными дугами; въ сравненіи съ этими послѣдними кварцевая лампа имѣетъ, однако, то преимущество, что не требуетъ никакого за собою ухода. Хотя стоимость кварцевой лампы достаточно высока, зато стоимость ея эксплоатаціи сравнительно невелика, такъ какъ кварцевой горѣлкѣ фирмы гарантируютъ 1000 часовъ горѣнія. Каждая лампа можетъ быть самостоятельно включена въ цѣпь съ напряженіемъ въ 110 (или 220) вольтъ, тогда какъ обыкновенныя дуговыя лампы могутъ включаться въ 110 вольтовую цѣпь лишь по двѣ послѣдовательно. Свѣтъ замѣчательно ровный и весь уходъ за лампой заключается въ томъ, чтобы черезъ каждые 1.000—10.000 часовъ горѣнія мѣнять горѣлки. Такъ какъ свѣтъ кварцевой лампы все же значительно отличается отъ дневного, скорѣе напоминая по своей окраскѣ лунный свѣтъ, то эти лампы непригодны, вообще говоря, для обслуживанія театровъ, ресторановъ и т. п. Съ другой стороны онѣ имѣютъ преимущества передъ другими при освѣщеніи фабрикъ, вообще рабочихъ помѣщеній. Для послѣдней цѣли выработанъ типъ кварцевой лампы (Сатурнъ), дающей косвенное или полукосвенное освѣщеніе отраженнымъ свѣтомъ. Это значитъ, что лампа бросаетъ весь свой свѣтовой потокъ или часть его на бѣлый потолокъ освѣщаемаго помѣщенія, и послѣдній уже отбрасываетъ разсѣянный отраженный свѣтъ болѣе равномѣрно по всему помѣщенію. На черт. 455 изображенъ подобный типъ лампы для низкихъ помѣщеній съ автоматическимъ зажиганіемъ. Горѣлка окружена колпакомъ, состоящимъ изъ двухъ полушарій; нижнее полушаріе изъ опаловаго стекла даетъ прямо внизъ разсѣянный свѣтъ; верхнее же полушаріе изъ прозрачнаго стекла пропускаетъ большую часть свѣтового потока, которая затѣмъ отражается потолкомъ внизъ. Электромагнитъ *M* помѣщенъ вверху отдѣльно отъ самой лампы. Благодаря своимъ разнообразнымъ преимуществамъ кварцевая лампа завоевываетъ все новыя и новыя области примѣненія.

Черт. 455.



Освѣщеніе совершенно особаго рода, долгое время не выходившее изъ стадіи развивающихся попытокъ, недавно получило практическое примѣненіе въ видѣ, такъ называемаго, свѣта Мура. Въ основу этого освѣщенія положенъ принципъ гейслеровыхъ трубокъ (стр. 339). Красота и блескъ свѣтящихся гейслеровыхъ трубокъ бросается всякому въ глаза, но чтобы этотъ свѣтъ можно было примѣнить для практическихъ цѣлей освѣщенія — эта мысль постоянно считалась слишкомъ

утопичной. Впервые американцу Макъ Фарлонъ Муру послѣ многолѣтнихъ опытовъ удалось, путемъ ряда совершенно новыхъ приспособленій, дать этотъ свѣтъ для практическихъ цѣлей въ удобномъ, цѣлесообразномъ и остроумномъ видѣ. Помѣщеніе, освѣщаемое по системѣ Мура, имѣетъ своеобразный видъ, такъ какъ оно совершенно лишено лампъ или фонарей въ общепринятомъ смыслѣ. По потолку, либо вдоль стѣнъ всего помѣщенія идетъ система свѣтящихся стеклянныхъ трубъ, освѣщающихъ все помѣщеніе. На черт. 456, представленъ видъ конторы, освѣщаемой подобнымъ образомъ: вдоль потолка идетъ длинная стеклянная трубка *aaa...* съ нѣсколькими прямоугольными колѣнами, подвѣшенная на простыхъ тягахъ къ потолку. Трубки эти въ общей сложности могутъ имѣть длину отъ 20 до 160 метровъ и собираются на мѣстѣ изъ отдѣльныхъ трубокъ въ 2 метра каждая,

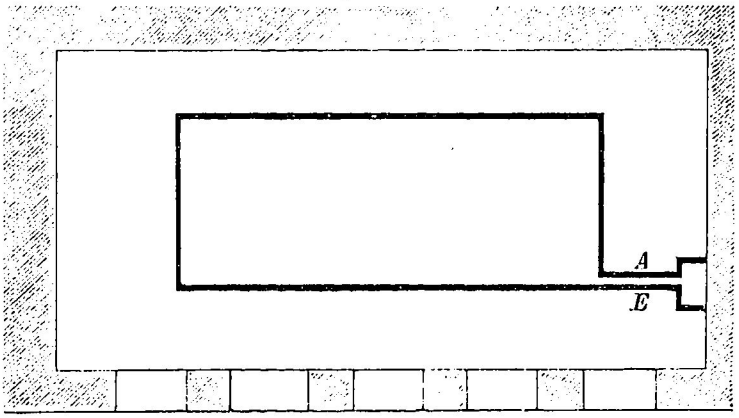
Черт. 456.



которыя спаиваются вмѣстѣ; затѣмъ въ нихъ разрѣжается воздухъ. Внѣшній діаметръ трубокъ обыкновенно бываетъ 44 мм. Во всей системѣ происходитъ гейслеровское свѣченіе, возбуждаемое перемѣннымъ токомъ достаточно высокаго напряженія. Обычный токъ въ 110 или 220 вольтъ трансформируется на напряженіе въ 5.000 или 6.000 вольтъ, и этимъ токомъ высокаго напряженія питаютъ систему трубокъ, при этомъ къ самой трубкѣ можно прикасаться безъ всякой опасности. Главнѣйшее затрудненіе при практическомъ примѣненіи такого способа освѣщенія заключалось въ слѣдующемъ: по мѣрѣ прохожденія тока черезъ трубку, степень разрѣженія въ ней постепенно возрастаетъ, такъ какъ частицы газа понемногу поглощаются стѣнками трубокъ. Съ увеличеніемъ же степени разрѣженія связано повышеніе необходимаго напряженія, во избѣжаніе того, чтобы свѣтъ не

сталъ неспокойнымъ, мигающимъ и въ концѣ концовъ не погасъ бы вовсе. Отсюда главное требованіе было найти способъ держать вакуумъ на одинаковой высотѣ, чтобы характеръ свѣта съ теченіемъ времени не мѣнялся. Муру удалось придумать остроумный вентиль, который и далъ возможность практическаго примѣненія этого новаго источника свѣта.

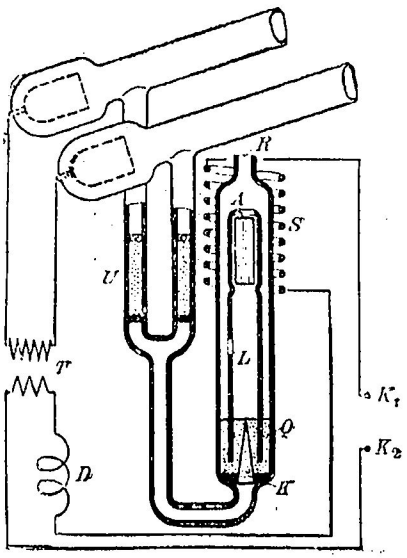
Черт. 457.



Система трубъ располагается такимъ образомъ, чтобы начало и конецъ ея, снабженные графитовыми электродами, находились вблизи другъ отъ друга.

На черт. 457 приведенъ примѣрный планъ такого расположенія; A и E здѣсь концы системы трубъ. Концы эти отдѣльно изображены на черт. 458 въ соединеніи съ вышеупомянутымъ вентилемъ и трансформаторомъ. Первичный токъ (приблизительно въ 110 вольтъ напряженіемъ) подводится къ зажимамъ K_1, K_2, проходитъ черезъ соленоидъ S, относящійся къ вентилю, индуктивную катушку D и первичную обмотку трансформатора T. Вторичная цѣпь послѣдняго присоединена непосредственно къ электродамъ системы трубъ.

Черт. 458.

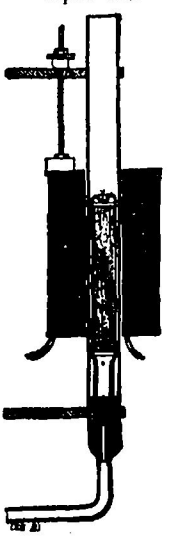


Вентиль выполняетъ задачу вводить въ тѣ моменты, когда воздухъ въ трубкахъ оказывается слишкомъ разрѣженнымъ, изъ атмосферы внутрь нѣкоторое количество свѣжаго воздуха. Состоитъ этотъ аппаратъ изъ стеклянной трубки, открытой у R, охваченной наверху

соленоидомъ S. Внутри этой трубки находится другая, подвижная, погруженная нижнимъ концомъ въ ртуть Q; у L въ ней имѣется отверстіе, и въ A образованный изъ желѣзной проволоки сердечникъ. Ртуть Q покрываетъ конусъ K, сдѣланный изъ очень плотнаго угля. Когда проводимость газа въ системѣ трубокъ уменьшится, то первичный токъ нѣсколько усилится (т. к. въ этомъ случаѣ уменьшится вліяніе вторичной обмотки T на первичную). Благодаря усиленію тока соленоидъ S втянетъ сердечникъ A въ себя вмѣстѣ со стеклянной трубкой, ртуть Q нѣсколько осядетъ и освободитъ конецъ угольнаго конуса K; тогда черезъ поры угля въ стеклянную трубку проникнетъ нѣкоторое количество воздуха. Проводимость увеличится, соотвѣтственно опустится трубка AL и ртуть опять покроетъ конусъ K. Такая регулировка происходитъ непрерывно, поддерживая приблизительно постоянную степень разряженія внутри трубокъ. Для того, чтобы обѣ трубки U, соединенныя съ началомъ и концомъ всей системы трубокъ, не дали бы возможности короткаго замыканія (разрядъ вмѣсто того, чтобы итти черезъ всю систему трубокъ, могъ бы непосредственно пойти черезъ U), онѣ наполнены на нѣкоторомъ протяженіи пескомъ, поддерживаемымъ пробками, что, хотя и пропускаетъ воздухъ, однако является слишкомъ дурнымъ проводникомъ для разряда.

На черт. 459 представленъ разрѣзъ этого остроумнаго регулятора степени разрѣженія. Трубки обыкновенно наполняются не воздухомъ, а либо азотомъ, который даетъ желтовато-розовый свѣтъ, либо угольной кислотой, дающей чисто-бѣлый свѣтъ. Азотъ берется непосредственно изъ воздуха, который для этого пропускаютъ сквозь слой фосфора, поглощающаго кислородъ. При пользованіи же угольной кислотой трубку снабжаютъ сосудомъ для мрамора и соляной кислоты, откуда и получаютъ требуемый газъ. Въ виду того, что потребленіе газа въ этомъ аппаратѣ минимально, одной порціи фосфора или мрамора съ соляной кислотой хватаетъ на нѣсколько лѣтъ.

Черт. 459.



Это своеобразное и интересное освѣщеніе (выполняемое Акціонерной Компаніей свѣта Мура въ Берлинѣ), благодаря новизнѣ своей и пріятному свѣту, находитъ многихъ сторонниковъ. Оно и съ экономической точки зрѣнія вполнѣ можетъ конкурировать съ другими способами освѣщенія дугами и лампами накаливанія. Свѣтъ Мура потребляетъ на свѣчу около 1 ватта, приблизительно то же, что и лампочки съ металлическими нитями, но, благодаря особому способу распредѣленія этого свѣта, онъ даетъ освѣщеніе значительно болѣе разсѣянное, приближающееся къ дневному.

ГЛАВА VI.

Электрическое освѣщеніе лампами накаливанія. Электрическія плиты и грѣлки.

Свѣтъ электрической дуги имѣетъ неоспоримыя преимущества, когда требуется блестящее освѣщеніе улицъ, площадей, большихъ залъ, обширныхъ помѣщеній; но онъ непримѣнимъ для освѣщенія домовъ, комнатъ, когда не нужно особенно сильнаго свѣта, а, наоборотъ, необходимы болѣе умѣренные источники свѣта, очень мелко подраздѣленные и отвѣчающіе всѣмъ тѣмъ требованіямъ удобствъ частной жизни, которымъ давно уже удовлетворяетъ газовый свѣтъ.

Здѣсь явилась необходимость технически примѣнить другой принципъ. Неоспоримою заслугою Эдисона является примѣненіе этого принципа и энергичное проведеніе его на практикѣ. Лишь неутомимой энергіи Эдисона удалось достичь этого выдающагося и, на долгое будущее, важнаго результата, изобрѣсти освѣщеніе, производимое электрическимъ путемъ, позволяющее дробленіе свѣта почти до безконечности, дающее въ любомъ числѣ мѣстъ какіе угодно слабые источники свѣта.

Электрическое освѣщеніе калильными лампами основывается на томъ, что проводникъ, по которому идетъ токъ, нагрѣвается по закону Джоуля и можетъ быть доведенъ до раскаленія. Количество тепла, выдѣляющееся въ проводникѣ, по которому идетъ токъ, пропорціонально квадрату силы проходящаго тока и сопротивленію проводника. Проводникъ раскаляется до яркаго свѣченія, если выдѣляется большое количество тепла, и, если онъ принадлежитъ къ плавкимъ тѣламъ, онъ будетъ расплавленъ электрическимъ токомъ. Эти факты были давно уже извѣстны, и давно уже были дѣлаемы попытки употреблять для освѣщенія раскаленныя тонкія металлическія проволоки, въ особенности платиновыя проволоки. Но металлы сравнительно легко плавятся. Если токъ слишкомъ усилится, раскаленная платиновая проволока расплавится, и освѣщеніе прекратится. Самымъ лучшимъ веществомъ для подобнаго освѣщенія свѣтомъ каленія, прежде всего, оказался уголь, который, какъ извѣстно, никоимъ обра-

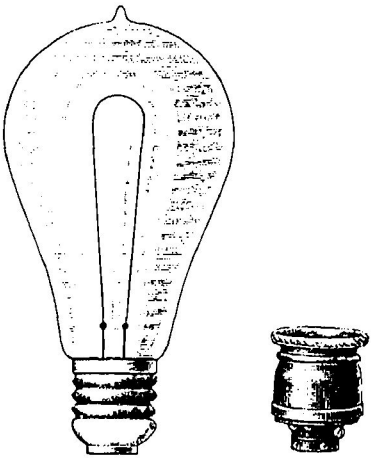
зомъ, ни при какой температурѣ, какъ бы она высока ни была, не можетъ быть расплавленъ. И вотъ Эдисонъ послѣ того, какъ тщетно испробовалъ цѣлый рядъ самыхъ тугоплавкихъ металловъ, обратился къ углю и примѣнилъ его, какъ тѣло, раскаляемое электрическимъ путемъ, для цѣлей освѣщенія.

Но раскаленный уголь входитъ въ соединеніе съ кислородомъ воздуха, быстро сгораетъ, и потому является необходимымъ требованіемъ—безусловно не допускать кислорода воздуха къ раскаленному углю. Нужно, слѣдовательно, помѣстить уголь въ безвоздушное пространство; этого достигаютъ тѣмъ, что заключаютъ его въ стеклянный колпачокъ, выкачавъ изъ послѣдняго воздухъ наисовершеннымъ образомъ. Но такое высасываніе воздуха возможно лишь въ томъ случаѣ, если стеклянный колпачокъ закупоривается безъ всякой замазки, если, слѣдовательно, закупорка производится исключительно запайкой стекла. Такимъ образомъ, выходитъ, что уголь долженъ быть закрѣпленъ въ колпачкѣ какъ-нибудь однимъ плавленіемъ. Къ счастью, это достигается легко—стоитъ лишь прикрѣпить концы угольной нити къ платиновымъ проволокамъ. Платина же легко и надежнымъ образомъ впаивается въ стекло, такъ какъ ея коэффиціентъ расширенія тотъ же, что и у стекла. При совершенствѣ современныхъ ртутныхъ воздушныхъ насосовъ или насосовъ съ клапанами, приводимыхъ въ движеніе моторами, легко сдѣлать колпачки почти совершенно безвоздушными.

Для приготовленія тонкихъ угольныхъ нитей, которыя раньше получались обугливаніемъ растительныхъ волоконъ, въ настоящее время пользуются чистой, искусственной клѣтчаткой. Эта клѣтчатка совершенно аморфна. Ее продавливаютъ сквозь отверстіе, при чемъ получается безконечно длинная тонкая нить. Эту нить разрѣзаютъ на части, которыя и загибаютъ или въ форму подковы, или въ форму петли. Затѣмъ эту нить «карбонизируютъ», то-есть обугливаютъ. Этого достигаютъ, выдерживая ее въ особой печи. Такой способъ изготовленія даетъ очень прочный и въ тоже время гибкій матеріалъ. Сверхъ того, эту нить обыкновенно еще препарируютъ, покрывая ее кругомъ слоемъ аморфнаго угля. Для этого помѣщаютъ тонкую нить въ атмосферу свѣтильнаго газа или иного какого-нибудь углеводорода и раскаливаютъ ее токомъ. Уголь, выдѣляющійся при этомъ изъ свѣтильнаго газа, садится прочнымъ слоемъ на угольную нить, и она становится вполнѣ равномѣрной толщины. Толщину угольнаго осадка можно регулировать такъ, чтобы получать нити желаемаго сопротивленія и, такимъ образомъ, является возможность приготовить любое число лампъ съ одинаковымъ сопротивленіемъ. Угли въ лампахъ имѣютъ форму подковы, или же завиваются въ разнообразныя петли и завитки.

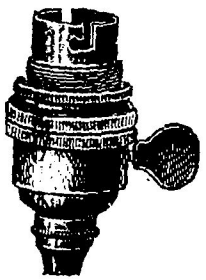
Концы угольной нити закрѣпляются на платиновыхъ проволочкахъ, которыя впаиваются въ стекло и выходятъ изъ безвоздушнаго колпачка наружу. Соединеніе углей съ платиною производится обыкновенно посредствомъ покрытія мѣднымъ или угольнымъ слоемъ. Платиновыя проволочки ведутъ къ двумъ, изолированнымъ одна отъ другой, металлическимъ частямъ, которыя носятъ спеціальное названіе контактовъ; онѣ находятся снаружи на лампѣ. При употребленіи лампа вставляется въ патронъ, который закрѣпляется въ бра, люстрахъ, ламповыхъ штативахъ и т. д., и къ которому подходятъ оба провода, несущіе токъ въ лампу. Патронъ въ свою очередь состоитъ тоже изъ двухъ изолированныхъ одна отъ другой частей, къ которымъ присоединены внѣшніе провода. Какъ только лампа вставлена въ патронъ, токъ проходитъ по угольной нити. Устройство патрона и способы соединенія съ нимъ ламповой оправы весьма различны. Всегда, однако, заботятся о томъ, чтобы контактъ былъ безусловно надежнымъ. Само собой разумѣется, патронъ долженъ быть всегда подходящимъ къ оправѣ. Самымъ употребительнымъ является эдисоновскій патронъ (черт. 460). Здѣсь лампа снабжается внизу металлической оболочкой съ винтовой нарѣзкой (эдисоновская нарѣзка); съ этой оболочкой соединяется одна платиновая проволока. Другая же припаивается къ изолированной металлической части въ самомъ низу лампы. Лампа ввинчивается въ свой патронъ. Для этого внутри патрона имѣется соотвѣтственная винтовая гайка, къ которой подводится одинъ изъ проводовъ сѣти. Внизу въ патронѣ находится изолированная металлическая пружина, соединенная съ другимъ полюсомъ сѣти. При ввинчиваніи лампы находящаяся внизу ея металлическая пластинка приходитъ въ соприкосновеніе съ пружиной патрона и такимъ образомъ лампа включается въ цѣпь при помощи весьма надежнаго контакта. Кромѣ того, въ патронѣ устраивается иногда и выключатель, посредствомъ котораго можно по желанію потушить или зажечь лампу. Выключатель вращаетъ фарфоровое колесико, состоящее изъ проводящихъ и изолирующихъ секторовъ; такимъ приспособленіемъ можно или произвести соединеніе проводовъ, или прервать его.

Черт. 460.



Въ патронѣ Свана концы впаянныхъ платиновыхъ проволокъ подводятся къ двумъ латуннымъ пластинкамъ, находящимся въ самомъ низу лампы и изолированнымъ одна отъ другой; вся лампа вставляется

Черт. 461.



въ патронъ, такъ что контактъ происходитъ посредствомъ стыкового соединенія. Черт. 461 изображаетъ такой патронъ Свана съ выключателемъ.

Сила свѣта лампы накаливанія зависитъ, кромѣ силы тока, еще лишь отъ сопротивленія угольной нити. Но, какъ мы видѣли выше (стр. 93), сопротивленіе угля уменьшается съ повышеніемъ температуры и уменьшается столь значительно, что сопротивленіе лампы при бѣломъ каленіи уголька представляетъ собою едва лишь половину сопротивленія холодной лампы.

Всякую лампу можно, конечно, заставить свѣтиться какъ угодно ярко, пропуская чрезъ нее токи различной силы. Но электрическій токъ, протекая по углямъ, оказываетъ на нихъ разрушающее дѣйствіе—онъ ихъ мало-по-малу распыляетъ. Чѣмъ сильнѣе токъ, тѣмъ энергичнѣе это распыленіе, тѣмъ легче перегораетъ лампа, т. е. угольная нить ея, наконецъ, разрывается въ томъ мѣстѣ, гдѣ она наиболѣе утончилась. Поэтому слишкомъ сильный токъ вредитъ всякой лампѣ, и для каждой лампы существуетъ извѣстная сила тока, при которой она, съ одной стороны, не подвергается непосильной работѣ, съ другой—даетъ достаточное освѣщеніе. Обыкновенно, однако, дается не сила тока, при которой лампа горитъ нормально, но та разность напряженій, какая должна быть у ея зажимовъ при нормальномъ горѣніи. Такъ какъ при этомъ сопротивленіе лампы опредѣляется самимъ способомъ приготовленія и всегда извѣстно, то изъ нормальной разности напряженій нетрудно вывести величину нормальнаго тока.

Такъ, напримѣръ, лампа имѣетъ сопротивленіе 245 омъ въ нагрѣтомъ состояніи. Она горитъ нормально, если чрезъ нее протекаетъ токъ въ 0,45 амп., и тогда сила ея свѣта равняется 16 свѣчамъ. Но мы видѣли, что разность потенціаловъ на концахъ проводника равна силѣ тока, проходящаго черезъ него, умноженной на его сопротивленіе. На основаніи этого легко разсчитать, что у концовъ такой лампы должно быть напряженіе въ $245 \times 0{,}45 = 110$ вольтъ. Поэтому-то и говорятъ, что описываемая лампа въ 16 свѣчей должна имѣть разность потенціаловъ у своихъ зажимовъ въ 110 вольтъ, т. е. при этомъ напряженіи она, съ одной стороны—горитъ съ силою свѣта въ 16 свѣчей, съ другой—можетъ выдержать достаточно продолжительное время. Если у ея зажимовъ напряженіе меньшее, то проходящій по ней токъ меньше нормальнаго, и сила ея свѣта значительно слабѣе. Если же напряженіе будетъ больше, сила проходящаго черезъ нее тока будетъ больше; вслѣдствіе этого лампа будетъ горѣть ярче, но это произойдетъ на счетъ ея долговѣчности. Въ среднемъ, всякая лампа накаливанія горитъ около 600—800 часовъ, если только чрезъ

нее никогда не пропускать тока большаго, чѣмъ нормальный. Итакъ, вошло въ обыкновеніе опредѣлять лампы накаливанія числомъ вольтъ, необходимыхъ для ихъ нормальнаго горѣнія. Говорятъ о лампахъ въ 4 вольта, 10, 25, 110 и т. д. вольтъ. Каждая изъ такихъ лампъ обладаетъ нѣкоторою опредѣленною нормальною силою свѣта, при чемъ онѣ различаются между собою въ этомъ отношеніи весьма значительно; существуютъ лампы въ одну свѣчу, существуютъ и въ нѣсколько сотъ свѣчей. Для освѣщенія комнатъ самою подходящею яркостью считается въ настоящее время 25 свѣчей, между тѣмъ, какъ раньше довольствовались 16 свѣчами, и потому лампы съ такою силою свѣта наиболѣе употребительны. Для лучшаго освѣщенія берутъ лампы въ 32 и 50 свѣчей. Лампы съ болѣе слабымъ свѣтомъ, до одной нормальной свѣчи, употребляются лишь для спеціальныхъ случаевъ, напр., какъ ночники, или для декоративныхъ цѣлей и т. под.; лампы съ большею силою свѣта, до 100 и 200 нормальныхъ свѣчей, служатъ, главнымъ образомъ, для уличныхъ фонарей.

Такъ какъ у зажимовъ всякой лампы всегда существуетъ нѣкоторое, опредѣляемое въ вольтахъ, напряженіе, и такъ какъ по лампѣ всегда проходитъ нѣкоторое опредѣленное число амперъ, то каждая лампа поглощаетъ нѣкоторую энергію, т. е. въ каждую секунду на нее требуется затратить извѣстное количество работы, чтобы заставить ее свѣтиться. Энергія, поглощаемая лампою въ одну секунду, выраженная въ ваттахъ, равняется произведенію вольтъ на амперы (см. стр. 128). Такимъ образомъ, напр., вышеупомянутая лампа, требующая токъ въ 0,45 амп. при напряженіи въ 110 вольтъ, потребляетъ въ секунду энергію въ 49,5 ваттъ при своемъ нормальномъ горѣніи. Но 736 ваттъ $=$ 1 лош. силѣ, а слѣдовательно, лампа эта при нормальномъ горѣніи потребляетъ $\frac{49,5}{736}=$приблизит.$\frac{1}{15}$ лош. с. Такимъ образомъ, одна лошадиная сила можетъ питать почти 15 такихъ лампъ. Такъ какъ лампа, потребляющая круглымъ числомъ 50 ваттъ, горитъ съ силою свѣта, равною 16 норм. свѣчамъ, то на каждую нормальную свѣчу приходится потребленіе въ $\frac{50}{16}=3,2$ ватта. Вообще всѣ калильныя угольныя лампы требуютъ около 2,5—3;5 ваттъ на каждую свѣчу своей яркости.

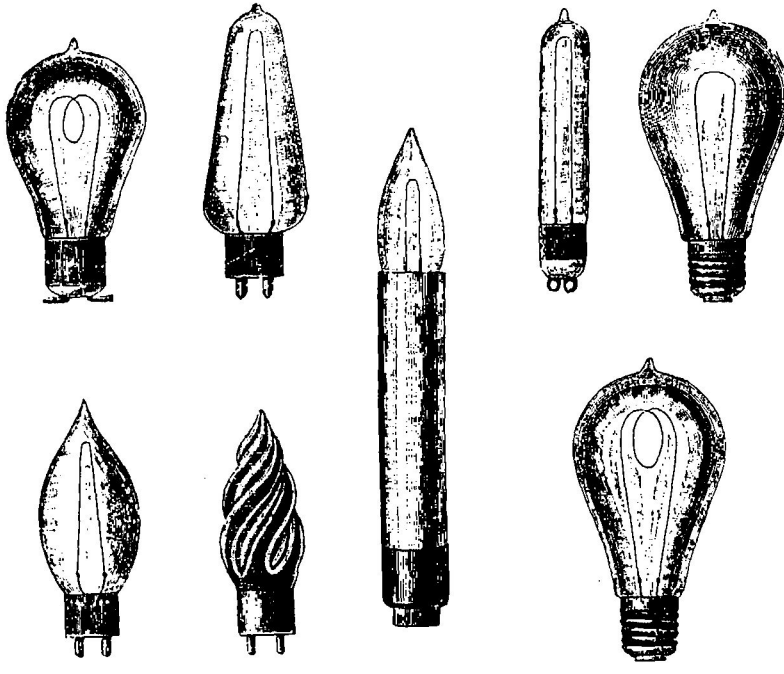
Лампы накаливанія, фабрикуемыя въ огромныхъ количествахъ цѣлымъ рядомъ фирмъ, предназначаются для различныхъ напряженій и для силъ свѣта отъ $^1/_4$ до 400 нормальныхъ свѣчей.

Формы уголька бываютъ весьма различныя. Дѣлаютъ иногда нить въ формѣ подковы, иногда же дѣлаютъ одинъ или болѣе витковъ.

Колпачки для лампъ берутъ или прозрачные, или матовые. Иногда ихъ дѣлаютъ цвѣтными. Черт. 462 изображаетъ нѣкоторые, наиболѣе употребительные, типы лампъ—для обыкновеннаго примѣненія и для

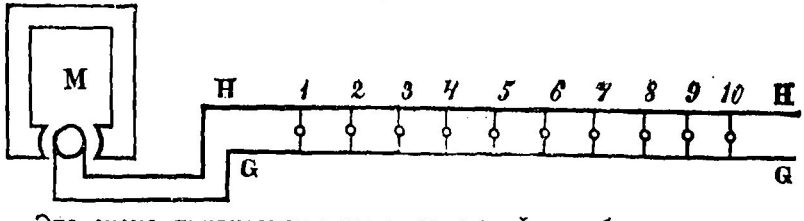
декоративныхъ цѣлей. Контакты въ лампахъ имѣютъ или вышеописанную форму металлическихъ пластинъ, или винтовыхъ нарѣзокъ, или же стерженьковъ и ушковъ.

Черт. 462.



Лампы накаливанія имѣютъ вообще большое сопротивленіе, превышающее иногда 200 омовъ, и потому требуютъ большого напряженія у своихъ зажимовъ; но онѣ потребляютъ зато сравнительно слабый токъ; 16-ти свѣчная лампа на 110 вольтъ потребляетъ около $^1/_2$ ампера. Поэтому, чтобы питать большое число калильныхъ лампъ отъ одного и того же источника (динамомашины или аккумуляторовъ) и притомъ такъ, чтобы лампы были независимы другъ отъ друга, Эдисонъ впервые предложилъ самую простую схему, а именно параллельнаго включенія.

Черт. 463.



Эта схема признается теперь самою цѣлесообразною и является употребительнѣйшею схемою включенія приборовъ. Итакъ, всѣ лампы

включаются параллельно, т. е. тѣмъ способомъ, какой изображенъ на черт. 463, гдѣ *M* обозначаетъ источникъ тока (машину), а 1, 2, 3... 10—лампы. Отъ источника тока идутъ два провода, *HH* и *GG*, а лампы включаются между ними. На зажимахъ каждой машины должно быть такое напряженіе, чтобы при данномъ сопротивленіи лампы вызвался токъ нормальной силы.

Если соединительные провода *HH* и *GG* настолько большого сѣченія, что ихъ сопротивленіемъ можно пренебрегать, и потеря напряженія на нихъ такъ мала, что можно не считаться съ нею, то у зажимовъ всѣхъ лампъ напряженіе будетъ одно и то же, а именно—напряженіе между концами *H* и *G*. Для того, чтобы въ этомъ случаѣ всѣ лампы горѣли постоянно одинаково ярко, нужно лишь, чтобы напряженіе между *H* и *G* оставалось постояннымъ, чтобы, слѣдовательно, напряженіе у зажимовъ машины сохраняло свою величину.

Отсюда слѣдуетъ, что для правильнаго освѣщенія калильными лампами примѣнимы лишь такіе производители тока, которые или обладаютъ сами постояннымъ напряженіемъ у зажимовъ, или позволяютъ легко достичь этого постоянства напряженія. Поэтому самымъ подходящимъ генераторомъ тока являются аккумуляторы; они сами поддерживаютъ свое напряженіе почти постояннымъ, а то медленное паденіе напряженія, которое въ нихъ со временемъ происходитъ, легко исправить посредствомъ батарейнаго коммутатора. Особенно пригодны они именно для частныхъ домовъ, гдѣ обыкновенно не бываетъ спеціалиста для присмотра за дѣйствіемъ установки. Для достиженія постоянства напряженія на большихъ станціяхъ пользуются обыкновенно шунтовыми машинами, такъ какъ у этихъ машинъ легко поддержать напряженіе совершенно неизмѣннымъ посредствомъ регулятора въ отвѣтвленіи (см. стр. 456).

Если гарантировано постоянство напряженія при помощи машины или аккумуляторовъ, то можно по произволу включать отдѣльныя лампы и даже цѣлыя группы лампъ, не нарушая правильности горѣнія остальныхъ лампъ.

На нѣкоторое время электрическому освѣщенію калильными лампами былъ нанесенъ большой уронъ изобрѣтеніемъ ауэровскаго газоваго свѣта. Ауэровская горѣлка не только значительно ярче, но и значительно дешевле, чѣмъ лампа накаливанія съ угольною нитью. Но эта конкурренція газоваго освѣщенія заставила электротехника заняться съ своей стороны различными улучшеніями въ калильномъ освѣщеніи, которыя бы дали ему опять преимущество въ сравненіи съ улучшеннымъ газовымъ свѣтомъ. Для того, чтобы получить лампочки болѣе экономичныя въ сравненіи съ обыкновенными, требующія меньшее число ваттовъ при той же силѣ свѣта, было необходимо довести накаливаемыя нити до болѣе высокой температуры, чѣмъ та, ко-

торую могутъ выдерживать угольныя нити, не подвергаясь быстрому разрушенію. Количество всей энергіи, излучаемой свѣтящимся тѣломъ (которая только частью излучается въ видѣ свѣта, главнымъ же образомъ въ формѣ тепла), значительно возрастаетъ съ повышеніемъ температуры, а именно по знаменитому закону, установленному Стефаномъ, оно пропорціонально четвертой степени температуры, такъ называемой абсолютной температуры, которую слѣдуетъ считать отъ —273°Ц. Въ этой общей суммѣ лучей содержатся однако какъ свѣтовые лучи, такъ и тепловые, несущественные для освѣщенія. Но когда температура накаленнаго, испускающаго лучи тѣла повышается, то вмѣстѣ съ этимъ происходитъ измѣненіе въ характерѣ излученія, а именно: максимумъ излучаемой энергіи съ повышеніемъ температуры переходитъ изъ области темныхъ тепловыхъ лучей все болѣе и болѣе въ область свѣтовыхъ лучей, все приближаясь къ области желтыхъ лучей, къ которымъ нашъ глазъ наиболѣе чувствителенъ.

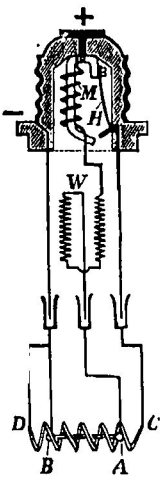
Отсюда слѣдуетъ, что количество свѣта, излучаемое свѣтящимся тѣломъ, увеличивается съ повышеніемъ температуры быстрѣе, чѣмъ общее количество испускаемыхъ лучей; при одномъ и томъ же количествѣ лучей вообще, количество свѣтовыхъ лучей тѣмъ больше, чѣмъ выше температура тѣла, испускающаго лучи. Можно сказать и наоборотъ, что при одной и той же силѣ свѣта общее количество лучей тѣмъ меньше, чѣмъ выше температура. Но общее количество лучей, испускаемыхъ накаливающейся нитью, опредѣляется всей электрической энергіей, переносимой на нее въ секунду, опредѣляется слѣдовательно числомъ ваттъ. Такимъ образомъ мы устанавливаемъ, что освѣщеніе лампочками накаливанія должно быть тѣмъ выгоднѣе, тѣмъ экономнѣе, т. е. будетъ требовать тѣмъ меньше ваттъ на нормальную свѣчу, чѣмъ выше температура накаливающейся нити. Принципіально ничто не мѣшало тѣ же угольныя нити доводить до болѣе высокой температуры, пропуская чрезъ нихъ токъ большей силы при томъ же сопротивленіи, заставляя, напримѣръ, горѣть лампу на 110 вольтъ въ сѣти съ напряженіемъ въ 220 вольтъ. При этомъ сейчасъ же получается огромное повышеніе силы излучаемаго свѣта. Но рука объ руку идетъ и сильное увеличеніе процесса распыленія угольной нити, благодаря чему продолжительность ея существованія дѣлается несравненно короче. Изготовляются лампочки накаливанія съ угольными нитями, потребляющія 3,5 и 2,5 ваттъ (на свѣчу). Послѣднія обладаютъ въ общемъ, согласно вышесказаннаго, значительно меньшей продолжительностью существованія въ сравненіи съ первыми, такъ какъ температура ихъ выше, и онѣ больше распыляются.

Вопросъ былъ, слѣдовательно, въ томъ, чтобы приготовить такія нити, которыя могли бы выдерживать болѣе высокую температуру, чѣмъ та, которую выдерживаютъ угольныя нити, не разрушаясь при

этомъ вслѣдствіе распыленія или расплавленія. Температура угольныхъ нитей въ обыкновенныхъ лампочкахъ накаливанія лежитъ между 1600 и 1760°С. Нужно было, слѣдовательно, изготовить нити, которыя безъ вреда для себя могли бы выдерживать температуру выше 1700°. Достичь этой цѣли пробовали двумя различными путями.

Одно рѣшеніе состояло въ томъ, чтобы усилить электрическій свѣтъ лампочекъ накаливанія такимъ же способомъ, какимъ Ауэръ усилилъ свѣтъ газовой горѣлки, а именно примѣненіемъ въ качествѣ накаливаемаго тѣла не угля, свѣтящаго въ лампахъ накаливанія и въ обыкновенной газовой горѣлкѣ, а добѣла накаленныхъ земель, которыми пропитана сѣтка Ауэра. Эти тѣла весьма огнеупорны и выдерживаютъ болѣе высокую температуру, чѣмъ уголь, а слѣдовательно, способны давать болѣе сильный и экономичный свѣтъ. Но, къ несчастью, тѣла эти, напр., окись магнія, не проводники въ холодномъ состояніи; лишь при очень высокихъ температурахъ, при красномъ каленіи, они начинаютъ хорошо проводить электричество, особенно если взять не отдѣльныя окиси, а смѣсь подобныхъ земель. Но это условіе и дѣлаетъ затруднительнымъ примѣненіе ихъ для освѣщенія, такъ какъ стерженекъ изъ такого вещества нельзя нагрѣть токомъ, котораго онъ совсѣмъ не проводитъ въ холодномъ состояніи. Его нужно извнѣ нагрѣть, чтобы онъ началъ проводить токъ. Необходимо было преодолѣть какъ это, такъ и другія техническія затрудненія, чтобы приготовить удобную, вполнѣ годную къ употребленію лампу; а это было нелегкой задачей, для разрѣшенія которой изобрѣтатель этихъ лампъ, профессоръ Нернстъ, и компанія A. E. G. потратили много лѣтъ работы. Лампа Нернста содержитъ стерженекъ изъ магнезіи съ примѣсью другихъ земель.

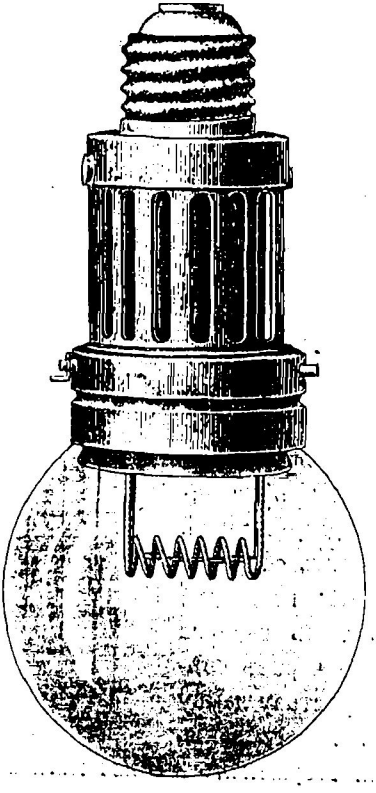
Черт. 464.



Если подобный стерженекъ нагрѣть до краснаго каленія, т. е. до 600° — 800°Ц., а потомъ пропустить по нему токъ, то онъ засвѣтится ослѣпительно бѣлымъ свѣтомъ, потребляя при этомъ вдвое меньше ваттъ, чѣмъ обыкновенная лампочка той же силы свѣта. Предварительное нагрѣваніе достигается автоматически посредствомъ спиралеобразной грѣлки, охватывающей стерженекъ. Кромѣ стерженька изъ магнезіи, являющагося свѣтящимся тѣломъ, и подогрѣвающей спирали, лампа снабжается еще добавочнымъ сопротивленіемъ и небольшимъ электромагнитомъ; послѣдній служитъ для того, чтобы пропускать токъ сначала черезъ спираль, а затѣмъ исключительно черезъ свѣтящееся тѣло. Черт. 464 изображаетъ Нернстову лампу съ самодѣйствующимъ аппаратомъ для подогрѣванія. Собственно свѣтящимъ тѣломъ является стерженекъ AB изъ магнезіи.

Вокругъ него идутъ нѣсколько витковъ тонкой платиновой проволоки CD, намотанной на асбестѣ. По этой проволокѣ пропускается токъ, нагрѣвающій ее до краснаго каленія, вслѣдствіе чего нагрѣвается и стерженекъ AB. Токъ идетъ при включеніи лампы черезъ + зажимъ по H въ проволоку CD и отсюда къ — зажиму. Въ то же время токъ можетъ итти отъ + зажима по обмоткѣ электромагнита M черезъ добавочное сопротивленіе W въ стерженекъ AB. Въ холодномъ состояніи стерженекъ AB не проводитъ тока, но, черезъ $^1/_4$—$^1/_2$ минуты платиновая спираль нагрѣваетъ его путемъ лучеиспусканія; по стерженьку начинаетъ проходить токъ все возрастающей силы черезъ $MWAB$ къ зажиму; увеличивается нагрѣваніе стерженька вслѣдствіе выдѣленія Джоулева тепла, а значитъ и его проводимость. Когда токъ достигаетъ нѣкоторой опредѣленной величины, онъ намагничиваетъ электромагнитникъ M настолько, что тотъ притягиваетъ якорь H; этимъ выключается платиновая проволока CD изъ цѣпи. Теперь весь токъ идетъ въ стержень AB, нагрѣвая его до яркаго бѣлаго каленія. Добавочное сопротивленіе состоитъ изъ тонкой желѣзной проволоки, заключенной въ стеклянную трубку и окруженной атмосферой водорода. Безъ такого сопротивленія температура нагрѣваемаго тѣла, а слѣдовательно и сила проходящаго тока могли бы подняться до такой степени, что свѣтящееся тѣло расплавилось бы. Но желѣзная проволока W при высокой температурѣ, а именно при красномъ каленіи, пріобрѣтаетъ и сама по себѣ бо́льшее сопротивленіе; такимъ образомъ компенсируется уменьшеніе сопротивленія свѣтящагося тѣла, такъ что сила проходящаго тока остается приблизительно постоянной, несмотря даже и на колебанія въ напряженіи сѣти.

Черт. 465.



Свѣтъ Нернстовой лампы—ослѣпительно бѣлый, превышающій свѣтъ Ауэровской горѣлки. Черт. 465 изображаетъ лампу (модель B), снабженную эдисоновскою нарѣзкой, благодаря чему ее можно вставить въ любой патронъ обыкновенной установки. На черт. лампа эта закрыта колпакомъ.

Отдѣльныя части, цоколь, ре-

остатъ, стерженекъ, колпакъ, устроены

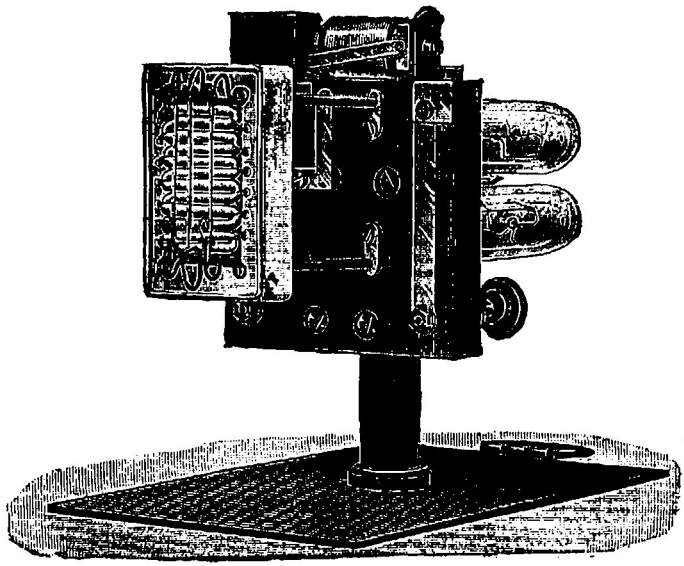
такъ, что ихъ можно простымъ образомъ вставить одна въ другую. Лампы изготовляются для всякой силы свѣта отъ 16 до 250 свѣчей Гефнера.

Потребленіе этой лампы всего около 1,5 до 1,7 ваттъ на свѣчу.

Нернстовы лампы не такъ выносливы, какъ обыкновенныя лампы накаливанія. Приблизительно черезъ 300 часовъ нужно уже перемѣнять стерженекъ; кромѣ того, и за этотъ срокъ горѣнія ихъ сила свѣта начинаетъ значительно убывать. Но такъ какъ эти лампы не нуждаются въ безвоздушномъ колпакѣ, какъ лампы съ угольными нитями, то перегорѣвшій стерженекъ легко замѣнить новымъ. Обыкновенныя лампочки накаливанія не могутъ быть хорошо конструированы для 220 вольтъ, лампы же Нернста при этомъ напряженіи даютъ очень выгодное освѣщеніе. Однако, въ настоящее время лампы Нернста выводятся изъ употребленія, такъ какъ новыя лампы съ металлическими нитями гораздо удобнѣе и даже еще болѣе экономичны.

Однако, яркій бѣлый свѣтъ лампъ Нернста дѣлаетъ ихъ очень удобными при проектированіи картинъ и приборовъ, для каковой цѣли до сихъ поръ могли пользоваться лишь дуговыми лампами, вносившими много неудобствъ. Черт. 466 изображаетъ проекціонную лампу

Черт. 466.



Нернста, изготовляемую фирмой A. E. G. Въ ней находятся три стерженька, нагрѣваемые одной общей спиралью. Добавочныя сопротивленія изъ желѣзной проволоки находятся въ 3-хъ стеклянныхъ трубкахъ сзади у лампы. Общій магнитъ выключаетъ нагрѣватель, какъ только стерженьки дойдутъ до бѣлаго каленія. Эти лампы по-

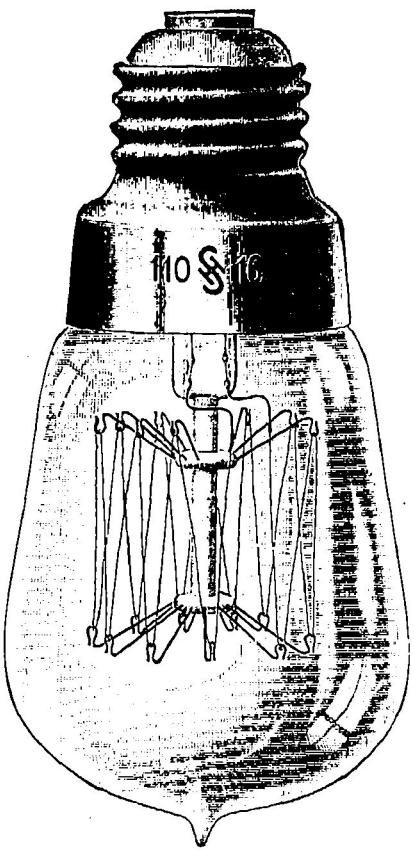
требляютъ 4 ампера и даютъ свѣтъ въ 700 свѣчей при напряженіи въ 110 вольтъ, при напряженіи же въ 220 вольтъ сила свѣта удваивается.

Еще большаго успѣха достигли, стараясь получить экономичную лампу накаливанія вторымъ способомъ. Эдисонъ выбралъ уголь на томъ основаніи, что онъ не плавится. Но зато онъ быстро распыляется, если по нему идетъ черезчуръ сильный токъ, а распыленіе такъ же непріятно, какъ и плавленіе. Въ настоящее время, когда мы умѣемъ просто и точно регулировать силу тока, умѣемъ, значитъ, навѣрняка сохранить температуру раскаливаемой нити постоянною, можно было снова попробовать взять, какъ матеріалъ для лампъ накаливанія, очень тугоплавкіе металлы. А такъ какъ металлическія нити переносятъ болѣе высокую температуру, чѣмъ угольныя, то лампы съ металлическими нитями являются и болѣе экономичными. Металлами, пригодными для этого, обладающими высокими точками плавленія, являются прежде всего слѣдующіе три: осмій, танталъ и вольфрамъ, изъ которыхъ осмій плавится около 2500°, танталъ же и вольфрамъ (а также титанъ и молибденъ), по изслѣдованіямъ Муассана, не плавятся даже въ струѣ гремучаго газа. Ауэръ фонъ-Вельсбахъ, знаменитый изобрѣтатель газокалильнаго свѣта, названнаго его именемъ, впервые пытался устроить лампу накаливанія съ металлическими нитями. Вмѣсто угля онъ бралъ осмій. Но осміевыя лампы были очень скоро вытѣснены болѣе выгодными лампами съ танталовыми и вольфрамовыми нитями.

Нѣсколько лѣтъ тому назадъ фирма Сименсъ и Гальске примѣнила танталъ для лампы накаливанія, къ большому удивленію научнаго и техническаго міра. До тѣхъ поръ танталъ еще никогда не былъ извѣстенъ въ большихъ количествахъ. О металлическомъ танталѣ было извѣстно, что онъ обладаетъ очень высокой точкой плавленія, выше 2000°, такъ что нити изъ этого вещества могли бы выдерживать очень высокую температуру, не плавясь. Послѣ многихъ попытокъ удалось извлечь очень чистый металлическій танталъ изъ двойной фтористой соли тантала и калія. Онъ оказался металломъ, который легко сплющивается и вытягивается въ очень тонкую проволоку. Точка плавленія чистаго металла находится, какъ показали измѣренія, около 2300°Ц. Проводимость его въ 6 разъ больше, чѣмъ ртути. Послѣ многихъ опытовъ научились вытягивать проволоки отъ 0,05 до 0,06 мм. поперечнаго сѣченія, и было установлено, что для того, чтобы получить силу свѣта въ 32 свѣчи при напряженіи въ 110 вольтъ и при затратѣ около 1,5 ватта на свѣчу, проволока такого малаго сѣченія должна имѣть длину въ 700 мм., т. е. больше, чѣмъ $^{2}/_{3}$ м. Явилась задача, помѣстить проволоку такой длины въ обыкновенной грушѣ лампочки, такъ какъ, само собой разумѣется, ничего нельзя

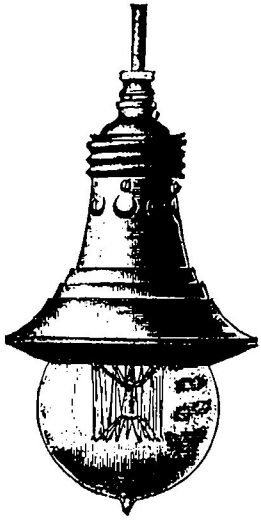
было измѣнить въ обычныхъ размѣрахъ патроновъ, люстръ и колпаковъ. Поэтому танталовая лампа имѣетъ особенную форму, изображенную на черт. 467. Въ стеклянной грушѣ находится короткій стеклянный стержень со стеклянными линзами наверху и внизу. Въ нихъ впаяны металлическіе держатели, 11 наверху и 12 внизу, такъ что каждый верхній держатель расположенъ между двумя нижними. Держатели соотвѣтственно отогнуты наверхъ и внизъ, а на концахъ согнуты въ крючки. На эти держатели накладывается зигзагообразно длинная танталовая нить. Концы ея посредствомъ платиновыхъ проводовъ присоединяются къ оправѣ лампы. Лампы эти дѣлаются для напряженій отъ 110 до 120 вольтъ съ силой свѣта въ 10, 16, 25, 32, 50 свѣчей; наиболѣе распространенными являются лампы въ 25 свѣчей. Онѣ требуютъ на 50% меньшій токъ, чѣмъ обыкновенныя лампы накаливанія той же силы свѣта, потребляя 1,5—1,7 ваттъ на свѣчу. Продолжительность ихъ дѣйствія около 1000 часовъ, если поддерживается нормальный токъ. Но послѣ приблиз. 300 часовъ горѣнія сила свѣта значительно убываетъ. Въ то время какъ обыкновенныя лампы накаливанія дѣлаются уже негодными къ употребленію, если нить перегоритъ въ одномъ мѣстѣ, въ танталовыхъ лампахъ бываетъ такъ, что нить, перегорѣвшая въ одномъ мѣстѣ, приходитъ въ соприкосновеніе съ сосѣдней проволокой и такимъ образомъ возстановляетъ прерванное соединеніе. Поэтому перегорѣвшую лампу обыкновенно не исключаютъ сразу же. Къ сотрясеніямъ танталовыя нити довольно нечувствительны, Но перемѣнными токами онѣ довольно скоро разрушаются, такъ что въ установкахъ съ перемѣннымъ токомъ нельзя употреблять танталовыхъ лампъ. Черт. 468 и 469 изображаютъ нѣкоторыя арматуры съ танталовыми лампами фирмы Сименсъ-Шукертъ. Первый чертежъ представляетъ танталовую лампу въ формѣ шара съ такъ называемымъ ацетъ, посредствомъ котораго лампа просто подвѣ-

Черт. 467.



шивается къ потолку. Черт. 469 изображаетъ арматуру для освѣщенія потолка, съ 3 танталовыми лампами.

Черт. 468.

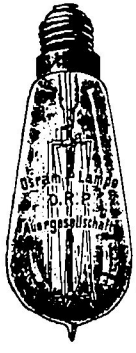


Черт. 469.



Но наибольшимъ шагомъ впередъ въ дѣлѣ пользованія лампами съ металлическими нитями было примѣненіе вольфрама въ качествѣ металла для нитей. Ауэровское общество впервые пустило въ продажу вольфрамовыя лампы подъ именемъ лампы Осрамъ. Въ настоящее время большое число фабрикъ изготовляетъ такія вольфрамовыя лампы, частью подъ разными названіями, какъ лампы Юстъ-вольфрамъ (фабрика въ Аугсбургѣ), Моноваттныя, Сиріусъ и т. д. Металлъ вольфрамъ плавится лишь при 2850° — 3000°. Но онъ не вытягивается въ нити, какъ танталъ, такъ что нужно было примѣнить косвенный пріемъ для полученія вольфрамовыхъ нитей. Существенная часть этого пріема состоитъ въ томъ, что посредствомъ какого-нибудь связывающаго вещества порошкообразный вольфрамъ превращается въ пасту, которая продавливается черезъ маленькія отверстія. Связывающее вещество затѣмъ удаляется нагрѣваніемъ, причемъ слипшіяся частички порошка образуютъ вольфрамовую нить. Однако безупречная фабрикація такихъ нитей—дѣло трудное, поэтому лампы различныхъ фабрикъ различаются и по качеству. Внѣшній видъ лампы данъ на черт. 470. Главнымъ преимуществомъ этихъ лампъ въ сравненіи съ описанными является то, что онѣ потребляютъ меньше энергіи. Онѣ требуютъ только 1,0—1,1 ватта на свѣчу, что является большимъ прогрессомъ въ сравненіи съ лампами, снабженными угольными нитями, гдѣ потребленіе энергіи равно 3,2 ватта, и даже въ сравненіи съ танталовыми лампами и лампами Нернста съ ихъ 1,5 ватта. Это малое потребленіе энергіи происходитъ оттого, что нити въ вольфрамовой лампѣ выдерживаютъ гораздо болѣе высокую температуру, чѣмъ угольныя нити. Ихъ температура въ лампахъ доходитъ, вѣроятно, до 1800—2000°Ц. Въ послѣднее время способъ фабрикаціи вольфрамовыхъ нитей существенно измѣнился. Теперь удается вытягивать нити изъ металлическаго вольфрама; новыя осрамовыя и вольфрамовыя лампы Общества Ауэра, A. E. G., Сименсъ и Гальске (послѣднія получили названіе Вотановыхъ лампъ) изготовляются исключительно изъ такихъ вытянутыхъ нитей. Для наиболѣе употребитель-

Черт. 470.



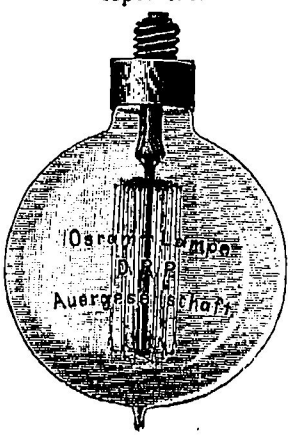
наго напряженія въ 110 вольтъ ставятся лампы отъ 16 до 50 свѣчей, для 220 вольтъ въ 25 — 50 свѣчей. При этомъ продолжительность дѣйствія ихъ очень хорошая, она доходитъ среднимъ числомъ до 1000 часовъ. Въ обыкновенно употребляющихся маленькихъ лампахъ устранено неудобство, которое было неизбѣжно раньше, а именно то, что лампы могли горѣть только будучи подвѣшены вертикально. Эти лампы могутъ горѣть во всѣхъ положеніяхъ. Нити, получавшіяся продавливаніемъ, были чувствительны къ сотрясеніямъ; протянутыя нити не имѣютъ и этого недостатка. Перемѣнные токи онѣ переносятъ такъ же хорошо, какъ и постоянные.

Давнишній идеалъ техники лампъ накаливанія—такъ называемая одноваттовая лампа, которая, не выдѣляясь какимъ бы то ни было отрицательнымъ свойствомъ, расходуетъ 1 ваттъ на свѣчу, почти достигнутъ въ вольфрамовой лампѣ.

Вслѣдствіе значительно меньшаго потребленія тока, танталовыя и вольфрамовыя (осрамовыя) лампы уже во многихъ случаяхъ вытѣсняютъ обыкновенныя лампы накаливанія, несмотря на то, что цѣна ихъ значительно, въ 4—6 разъ, выше. Хотя болѣе высокая стоимость этихъ лампъ и окупается уже черезъ нѣсколько сотъ часовъ горѣнія, благодаря малому расходу тока, но все же она является еще причиной, объясняющей, почему эти новыя изобрѣтенія не завоевали сразу всего рынка; однако, благодаря имъ, съ каждымъ днемъ все уменьшается то поле, которое въ продолженіе десятилѣтій удерживали за собой угольныя лампы; это поле, которое уменьшится еще больше въ будущемъ, такъ какъ цѣна на вольфрамовыя лампы значительно понизилась.

Замѣчательная выгодность осрамовыхъ да и вообще хорошихъ вольфрамовыхъ лампъ доставила имъ еще новое примѣненіе. Общество Ауэра первое стало изготовлять интенсивныя осрамовыя лампы, которыя при томъ же устройствѣ даютъ силу свѣта въ 100, 200, 400 свѣчей; онѣ могутъ, слѣдовательно, быть примѣняемы не только для освѣщенія комнатъ, но и для освѣщенія залъ, витринъ, улицъ. Другія фабрики послѣдовали ихъ примѣру. Эти лампы, видъ которыхъ изображенъ на черт. 471, имѣютъ форму шара; онѣ должны висѣть отвѣсно внизъ и снабжаются обыкновенно арматурой съ рефлекторомъ, который весь свѣтъ отбрасываетъ книзу. И въ этихъ лампахъ, которыя строятся какъ для 110, такъ и для 220 вольтъ, потребленіе энергіи также въ высшей степени мало, даже немного меньше 1 ватта, а именно 0,85 на свѣчу; такимъ образомъ, лампа въ 100 свѣчей въ сѣти

Черт. 471.

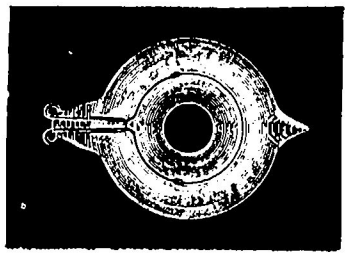


съ напряженіемъ въ 110 вольтъ потребляетъ едва 1 амперъ, а лампа въ 400 свѣчей едва 4 ампера. По своей экономичности эти лампы не только сравнялись съ небольшими дуговыми лампами до 400 свѣчей яркостью, но даже превосходятъ ихъ, такъ что линія раздѣла въ спросѣ между дуговымъ свѣтомъ и свѣтомъ накаливанія теперь значительно передвинулась въ пользу послѣдняго. Кромѣ того, эти интенсивныя лампочки накаливанія имѣютъ всѣ преимущества калильнаго свѣта передъ дуговымъ. Онѣ просто ввинчиваются въ свои патроны, не требуютъ регулированія, никакого присмотра, никакого возобновленія углей и имѣютъ продолжительность дѣйствія въ среднемъ 800 часовъ. Въ этомъ перевѣсѣ лампъ накаливанія въ сферѣ, принадлежавшей до сихъ поръ дуговымъ лампамъ, можно признать самый крупный успѣхъ, который сдѣлала техника калильныхъ лампъ съ введеніемъ металлическихъ нитей.

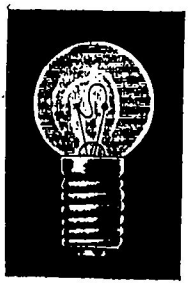
Черт. 472.

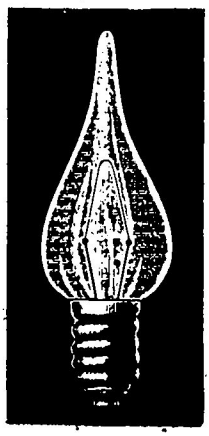






Черт. 473.



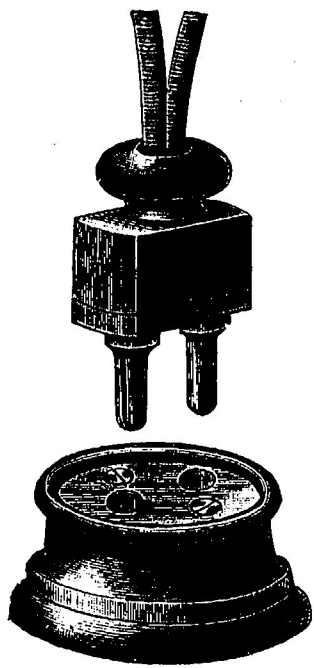




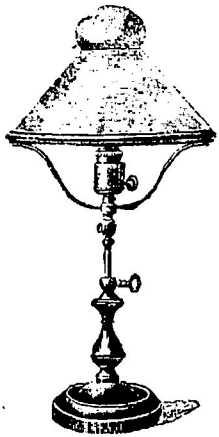
Наоборотъ, можно, конечно, строить и небольшія лампы, разсчитанныя на малое напряженіе (отъ 2 до 30 вольтъ), которыя слѣдовательно могутъ уже быть обслуживаемы отдѣльными аккумуляторами или сухими элементами. Конечно, онѣ обладаютъ малой силой свѣта, отъ $^1/_{10}$ свѣчи. Употребляются онѣ въ различныхъ видахъ для врачебныхъ цѣлей, для карманныхъ фонарей, для освѣщенія полостей сосудовъ и т. д. Черт. 472 представляетъ нѣсколько такихъ лампъ съ угольными нитями, черт. 473 нѣсколько такихъ же лампъ съ металлическими нитями. Кольцеобразная лампа на черт. 472 служитъ глазнымъ врачамъ для освѣщенія сѣтчатки.

Обыкновенно лампы вкладываются въ колпаки, которымъ придается та или иная форма, чаще всего форма кубка, соотвѣтственно декоративнымъ цѣлямъ помѣщенія, освѣщаемаго калильными лампами. Въ отношеніи приспособляемости къ этимъ цѣлямъ освѣщеніе лампами накаливанія имѣетъ преимущество предъ газовымъ, такъ какъ лампы по своей безопасности могутъ быть размѣщаемы близко къ стѣнамъ, картинамъ, въ нишахъ, въ букетахъ цвѣтовъ и т. под. Но, кромѣ того, лампы накаливанія могутъ быть группируемы, какъ угодно: могутъ представлять изъ себя отдѣльныя лампы, или люстры изъ нѣсколькихъ или очень многихъ лампъ, и въ этомъ отношеніи онѣ не отличаются отъ газовыхъ рожковъ. Лампы переносныя, или переставляемыя съ мѣста на мѣсто, соединяются обыкновенно гибкимъ шнуромъ съ проводами, подающими токъ. Для этой цѣли пользуются вилкообразнымъ контактомъ, который вставляется въ соединительную коробку (такъ называемымъ стѣннымъ штёпселемъ). Такое приспособленіе изображено на черт. 474. Коробка (эбонитовая или фарфоровая) прикрѣпляется обыкновенно къ стѣнѣ; провода ведутся такъ, что въ каждомъ изъ обоихъ отверстій коробки оканчивается одна изъ проводящихъ проволокъ, которыя присоединяются къ металлическимъ стѣнкамъ отверстій. Въ коробку можетъ вкладываться изображенный наверху штепсель (вилкообразный контактъ), пружинящія ножки котораго вставляются въ отверстія. Самъ штепсель соединяется съ переносной лампой (черт. 475) посредствомъ гибкаго шнура такъ, что концы его съ одной стороны

Черт. 474.



Черт. 475.

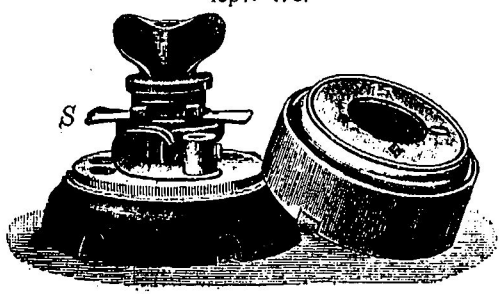


соединены съ контактомъ патрона, съ другой стороны—съ двумя ножками штепселя.

У лампъ, находящихся въ доступномъ мѣстѣ, которыя можно тушить и зажигать каждую въ отдѣльности, имѣются въ патронахъ особые кранчики, поворачиваніемъ которыхъ мы удобно можемъ включать или выключать токъ. Отдѣльныя лампы, или лампы, включенныя группами, можно тушить и зажигать издали при помощи особаго. выключателя, помѣщеннаго гдѣ угодно въ цѣпи, подводящей токъ.

Подобный выключатель очень употребительной формы изображенъ открытымъ на черт. 476. Онъ состоитъ изъ металлической пластинки *S*, укрѣпленной на ручкѣ, которая при поворачиваніи ручки можетъ быть сообщена или разобщена съ двумя пружинящими пластинками. Эти пластинки соединены съ проводкой, слѣдовательно, поворачивая ручку, мы поперемѣнно замыкаемъ или размыкаемъ линію. Такой выключатель помѣщается въ особую коробку изъ дерева, металла или фарфора. Разумѣется, оболочка выключателя можетъ быть разукрашена съ большимъ вкусомъ.

Черт. 476.



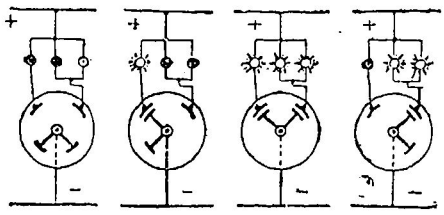
Черт. 477.



Въ выключателяхъ другой формы, наоборотъ, пружинки укрѣпляются на подвижной срединной металлической пластинкѣ, при поворачиваніи которой пружинки приходятъ въ соединеніе съ неподвижными металлическими пластинками. Подобный выключатель вводится, напримѣръ, въ цѣпь при вступленіи ея въ комнату, освѣщаемую лампами, включенными между двумя проводами этой цѣпи. Одинъ изъ проводовъ при этомъ перерѣзывается, и его оба конца соединяются съ пружинящими пластинками. Простымъ поворотомъ ручки можно тотчасъ освѣтить всю комнату или повергнуть ее въ темноту. Можно также устроить прерыватель въ видѣ грущи (черт. 477), спускающейся на шнурѣ съ потолка. Здѣсь одно нажатіе кнопки поворачиваетъ контактныя пластинки и производитъ замыканіе цѣпи; слѣдующее

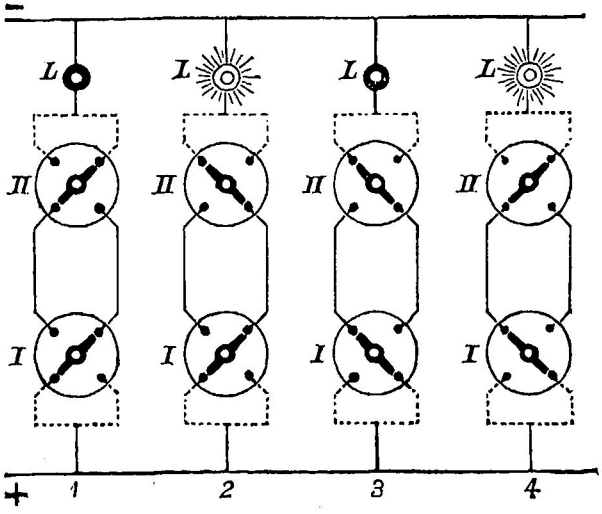
нажатіе поворачиваетъ ихъ дальше и размыкаетъ и т. д. Эта легкость, съ какой можно зажигать и тушить лампы издали, дѣлаетъ освѣщеніе калильными лампами особенно удобнымъ и заслуживающимъ предпочтенія передъ газовымъ. Выключатель можно устроить такимъ образомъ, чтобы въ немъ было нѣсколько контактовъ, сдѣлать его переключателемъ. Можно, напримѣръ, устроить такъ, что, смотря по положенію выключателя, будетъ горѣть четверть всѣхъ лампъ, три четверти или всѣ лампы въ люстрѣ. Такіе выключатели называютъ послѣдовательными выключателями. Схема подобнаго устройства представлена на черт. 478. Между двумя главными проводами (они обозначены горизонтальными линіями) включены двѣ параллельныя цѣпи: въ первой одна лампа, во второй двѣ. При послѣдовательныхъ положеніяхъ выключателя, изображеннаго въ видѣ круга съ контактами и двойной ручкой, поворачиваемаго посредствомъ ручки, въ направленіи часовой стрѣлки, получаются такіе случаи: при первомъ положеніи всѣ лампы выключены, при второмъ положеніи горитъ одна лампа, при третьемъ—всѣ три лампы, при четвертомъ же горятъ только двѣ лампы, составляющія вторую цѣпь. Подобные прерыватели можно, конечно, устраивать сколь угодно сложной конструкціи.

Черт. 478.



Часто имѣется необходимость зажигать лампу съ 2-хъ или многихъ различныхъ пунктовъ. Скажемъ, напримѣръ, лампа освѣщаетъ лѣстницу. Желательно имѣть возможность зажечь лампу, вступая на лѣстницу, и потушить ее, поднявшись до дверей квартиры.

Черт. 479.



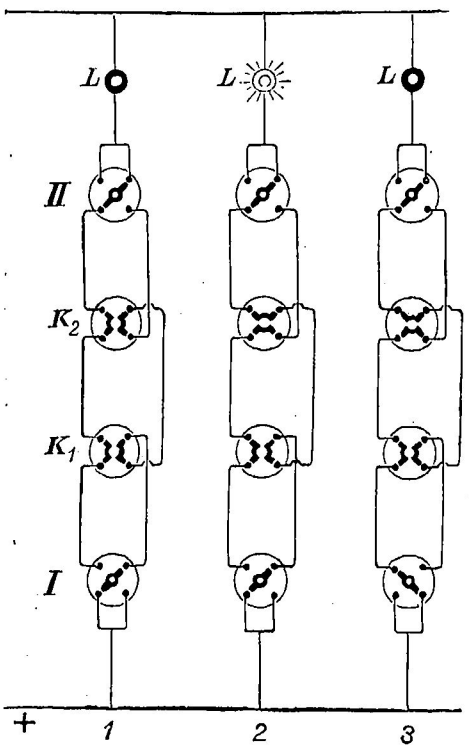
Выключатели, служащіе для этой цѣли, называются корреспондирующими.

Для большаго удобства соединенія, ихъ снабжаютъ обыкновенно 4-мя контактами, хотя нужны только два. На черт. 479 оба выклю-

чателя I и II включены между положительнымъ и отрицательнымъ проводомъ съ лампой L. Два контакта каждаго выключателя соединяются между собой и съ однимъ изъ проводовъ, оба другихъ контакта обоихъ выключателей соединяются другъ съ другомъ. Изъ послѣдовательныхъ положеній 1, 2, 3 и 4 вращающихся частей въ обоихъ выключателяхъ видно, что при передвиганіи ручки въ одномъ изъ выключателей лампа поочередно зажигается и тухнетъ.

Если хотятъ устроить такъ, чтобы можно было зажигать лампы больше, чѣмъ изъ двухъ мѣстъ, то нужно поставить въ этихъ пунктахъ такъ называемые крестовые выключатели; въ нихъ вращающаяся ось несетъ двѣ системы пружинъ, которыя соединяютъ попеременно то два сосѣднихъ контакта, то два другихъ, лежащихъ другъ противъ друга, или же соединяютъ поочередно то одну, то другую пару сосѣднихъ контактовъ. Послѣдній случай взятъ на черт. 480: лампа можетъ зажигаться и тушиться изъ 4 пунктовъ (I, K_1, K_2, II). На этомъ чертежѣ I и II обозначаютъ два корреспондирующихъ выключателя, какъ на черт. 479; K_1 и K_2— два крестовыхъ выключателя; L— лампа. Три различныя положенія выключателя обозначены цифрами 1, 2, 3. Какой бы изъ 4 выключателей мы ни поворачивали, лампа попеременно зажигается и тухнетъ.

Черт. 480.



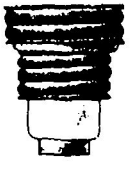
При всякихъ электрическихъ установкахъ большую опасность представляетъ такъ называемое короткое замыканіе. А такъ какъ въ каждомъ домѣ, въ которомъ имѣется электрическая проводка, два изолированные другъ отъ друга провода, обладающіе напряженіемъ въ 110 или 220 вольтъ, проходятъ по всѣмъ этажамъ и по всѣмъ комнатамъ, то необходимо внимательно слѣдить за тѣмъ, чтобы эти провода не могли случайно придти въ соприкосновеніе. Всѣ лампы, всѣ нагрѣвательные приборы, всѣ моторы включаются между этими проводами, но сопротивленіе этихъ пріемниковъ и поперечное сѣченіе проволокъ, находящихся въ нихъ, подобрано такъ, что они могутъ выдерживать только токи заранѣе нормированной силы. Если же оба

главные провода придутъ въ какомъ-нибудь непредвидѣнномъ мѣстѣ въ прикосновеніе, т. е. замкнутся на короткую, то сила тока во всей цѣпи можетъ необычайно возрасти; вслѣдствіе этого произойдетъ сильное выдѣленіе джоулевой теплоты, а слѣдовательно нагрѣваніе проводовъ, которое сопровождается воспламенѣніемъ ихъ обмотки, а затѣмъ и сосѣднихъ деревянныхъ предметовъ, или предметовъ изъ матеріи. Короче говоря, является внезапная опасность пожара. Если, напримѣръ, оба провода такъ неудачно укрѣплены на стѣнѣ, что одинъ можетъ упасть на другой, и если ихъ обмотка какъ-нибудь случайно повреждена, моментально въ цѣпи можетъ возникнуть токъ силою въ 100 и больше амперъ. Чтобы избѣжать этой опасности, необходимо, во-первыхъ, съ возможно большей тщательностью укладывать и изолировать провода. Кромѣ того, нужно позаботиться о томъ, чтобы всѣ аппараты, въ нашемъ случаѣ лампочки накаливанія, были предохранены отъ всякихъ поврежденій, могущихъ произойти при черезчуръ сильномъ токѣ. Предохранительныя мѣры противъ этихъ случаевъ впервые были указаны Эдисономъ.

Онѣ заключаются въ томъ, что во всѣхъ подходящихъ мѣстахъ, во всѣхъ точкахъ развѣтвленія проводовъ, включаются тонкія полоски свинца или серебра, такъ наз., предохранители; ихъ размѣры подбираются такими, чтобы они быстро плавились, если по нимъ проходитъ токъ, превосходящій величину, которую они еще могутъ выдержать. Какъ только токъ вдругъ становится слишкомъ сильнымъ, могущимъ угрожать цѣлости лампъ, предохранитель плавится, и вслѣдствіе этого токъ прерывается. Правда, тогда гаснутъ всѣ лампы, включенныя за этимъ предохранителемъ, но зато онѣ остаются невредимыми, а предохранитель легко можно замѣнить новымъ.

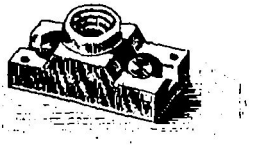
Такіе предохранители, въ видѣ свинцовыхъ, а теперь главнымъ образомъ въ видѣ серебряныхъ полосокъ, включаются въ каждый изъ главныхъ проводовъ, въ отвѣтвленія и, наконецъ, въ каждый проводъ, ведущій къ отдѣльной ламповой группѣ, напр. въ каждой комнатѣ.

Черт. 481.



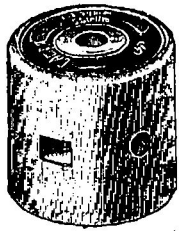
Удобную форму предохранителя представляетъ гипсовая втулка (черт. 481), въ нижней части которой имѣется металлическая пластинка, а по бокамъ винтовая металлическая нарѣзка; внутри ея свинцовый мостикъ соединяетъ нижнюю пластинку съ нарѣзкою. Втулка эта ввинчивается въ предохранительный выключатель (черт. 482), къ которому и ведутся провода отъ машины. Предохранители изготовляются для всякихъ силъ тока, т. е. для 6, 10, 15, 20, 25 и т. д. амперъ. Другой часто употребляемый родъ предохранителей — патронные предохранители Си-

Черт. 482.



менсъ-Шукерта. Черт. 483 изображаетъ такой предохранитель. Легкоплавкая проволока находится въ немъ въ видѣ зигзагообразныхъ витковъ и окружена изолирующимъ порошкомъ. Патронъ надѣвается на болтъ и удерживается на немъ посредствомъ фарфоровой крышки, навинчиваемой на болтъ; плавкая полоска образуетъ собою соединеніе между обѣими раздѣленными частями провода.

Черт. 483.



Для большей безопасности принимаютъ мѣры къ тому, чтобы предохранители были неподмѣнимы, т. е. чтобы нельзя было предохранитель, предназначенный для 20 амперъ, помѣстить въ проводъ, который долженъ выдержать только 6 амперъ. Въ послѣднее время Сименсъ-Шукертомъ введены въ употребленіе такъ называемые «Діазедъ»-предохранители; невозможность подмѣны достигается здѣсь тѣмъ, что предохранители различной величины имѣютъ и различные діаметры вставной части, такъ что къ одной и той же подставкѣ подходитъ всегда только предохранитель на одну и ту же силу тока. Для высокихъ напряженій больше 500 вольтъ употребляются особые предохранители, но мы не будемъ останавливаться на этомъ.

Для небольшихъ установокъ, напр. для особняковъ съ 50, 60 лампами, если приходится ставить особую машину, освѣщеніе лампами накаливанія обходится довольно дорого и потому устраивается лишь тамъ, гдѣ стоимость отступаетъ на второй планъ предъ удобствомъ и красотой. Напротивъ того, отдѣльныя установки освѣщенія лампами накаливанія большихъ гостинницъ, фабрикъ, увеселительныхъ мѣстъ даже въ отношеніи стоимости не уступаютъ газовому освѣщенію, при пользованіи лампами съ металлическими нитями. Но въ такихъ случаяхъ является выгоднымъ пользоваться машиной лишь косвенно, не примѣняя ее непосредственно для освѣщенія. Это достигается тѣмъ, что непосредственно токомъ машины заряжаютъ батарею аккумуляторовъ, и отъ нея уже берется токъ для освѣщенія. Выгода заключается въ томъ, что, во-первыхъ, напряженіе аккумуляторовъ остается почти постояннымъ, а во-вторыхъ, токъ отъ нихъ можно получить во всякое время, разъ они уже заряжены, слѣдовательно и ночью, такъ что совсѣмъ нѣтъ необходимости держать динамомашину въ непрерывномъ дѣйствіи.

Для освѣщенія частныхъ домовъ всего удобнѣе и выгоднѣе устраивать центральныя станціи, которыя даютъ токъ въ отдѣльные дома или въ извѣстный участокъ города, или даже на весь городъ, подобно тому, какъ газъ расходится изъ большихъ газгольдеровъ. Въ настоящее время такія центральныя станціи устроены во множествѣ большихъ, среднихъ и малыхъ городовъ. Особенно грандіозны центральныя станціи Берлина, который почти весь снабжается электрической энер-

гіей. Описаніе такихъ центральныхъ станцій, какъ и весь вопросъ о распредѣленіи и передачѣ электрической энергіи съ одного пункта на значительное разстояніе, будутъ разобраны въ главѣ IX этого отдѣла.

Электрическое освѣщеніе лампами накаливанія основано на примѣненіи джоулева тепла. Но дѣйствіе электрическаго тока сказывается не только въ накаливаніи проволоки, при которомъ она начинаетъ излучать свѣтъ; при прохожденіи болѣе или менѣе сильныхъ токовъ проволока можетъ быть нагрѣта до какой угодно степени. Невольно является мысль воспользоваться джоулевымъ тепломъ и для устройства электрическихъ кухонь и грѣлокъ; развивать это тепло въ сосудахъ, въ которыхъ мы хотимъ вскипятить воду, или нагрѣть проходящій черезъ нихъ воздухъ для цѣлей отопленія.

Ближайшее разсмотрѣніе показываетъ однако, что эта мысль, несмотря на свою простоту, при осуществленіи можетъ встрѣтить извѣстныя затрудненія: правда, не съ точки зрѣнія технической выполнимости, а по чисто экономическимъ причинамъ. Экономическая выгода зависитъ, конечно, отъ той цѣны, по которой можетъ быть доставляема электрическая энергія. При обычныхъ условіяхъ, когда токъ доставляется динамомашиною, приводимою въ движеніе паровымъ двигателемъ, электрическая энергія, какъ легко видѣть, слишкомъ дорога для цѣлей нагрѣванія. Дѣйствительно, въ паровомъ двигателѣ утилизируется всего лишь около 8% энергіи, получаемой отъ сгоранія угля. Изъ этихъ 8% только часть, около 90%, превращается далѣе динамомашиной въ энергію электрическаго тока, поступающую въ нагрѣвательные приборы и здѣсь снова превращающуюся въ тепло. Если то же количество угля, которое пошло на работу парового двигателя и динамомашины, прямо сжечь въ печи, то даже при печахъ далеко не цѣлесообразной конструкціи можно имѣть въ распоряженіи около 60% всего развивающагося тепла, т. е. приблизительно въ 8 разъ больше, чѣмъ въ случаѣ непрямого полученія тепла при помощи электрическаго тока. Итакъ, разсмотрѣніе показываетъ, что въ этомъ случаѣ нераціонально пользоваться электрическимъ токомъ для нагрѣванія.

Есть однако два случая, когда дѣло обстоитъ иначе. А именно, первый случай имѣетъ мѣсто тогда, когда динамомашина работаетъ не отъ парового или газоваго двигателя, но отъ водяной силы. Ибо разъ такая установка уже сдѣлана, то въ смыслѣ издержекъ вполнѣ безразлично, беремъ ли мы токъ или нѣтъ. Собственно электрическая энергія доставляется въ этомъ случаѣ безплатно (если не принимать во вниманіе необходимыхъ въ каждомъ случаѣ процентовъ на затраченный капиталъ и его погашеніе), и потому является возможность примѣнить ее для кухонь и грѣлокъ.

Второй случай имѣетъ мѣсто въ тѣхъ городахъ, гдѣ электрическая энергія вырабатывается на большихъ центральныхъ станціяхъ и

распредѣляется повсюду (чему имѣется уже много примѣровъ). Въ этомъ случаѣ тоже быстро распространяется примѣненіе тока для нагрѣванія. Причины этого слѣдующія. На большихъ центральныхъ станціяхъ стоимость установки и расходы по эксплоатаціи обыкновенно покрываются отъ продажи энергіи для цѣлей освѣщенія. Цѣна электрической энергіи для другихъ цѣлей, а, слѣдовательно, и для нагрѣванія въ этомъ случаѣ сильно понижается, и это дѣлается потому, что при большемъ потребленіи лучше можетъ быть использована вся машинная установка, работающая не только по вечерамъ для освѣщенія, но и днемъ. Потребленіе тока для кухонь и грѣлокъ происходитъ главнымъ образомъ именно днемъ. Итакъ, рѣшеніе вопроса о томъ, что экономичнѣе—пользованіе ли электрическими кухнями и грѣлками или непосредственное полученіе тепла сожиганіемъ угля или газа, всецѣло зависитъ отъ стоимости электрической энергіи.

Когда же экономическій вопросъ устраненъ, примѣненіе электричества въ этой области сопряжено съ большими выгодами. Здѣсь легко достигается безопасность, опрятность, постоянная готовность къ дѣйствію, большее удобство; и такъ какъ токъ, проходящій по проводнику, постоянно выдѣляетъ тепло, то дѣло идетъ только о томъ, чтобы передавать это тепло другимъ тѣламъ: металлическимъ стѣнкамъ сосуда, въ которомъ кипятится, напримѣръ, вода, или просто воздуху комнаты при отопленіи. Для этого приходится нагрѣвающуюся проволоку приводить въ тѣсное соприкосновеніе съ нагрѣваемыми тѣлами. Важно, конечно, расположить проволоку, въ которой возбуждается токомъ джоулево тепло, такъ, чтобы можно было воспользоваться почти всѣмъ тепломъ. Прежде, чѣмъ приступить къ разсмотрѣнію приспособленій, устраиваемыхъ въ настоящее время съ этою цѣлью, попытаемся составить представленіе о количествѣ необходимой энергіи.

Энергія тока при данномъ напряженіи и данной силѣ равна просто произведенію числа ваттъ, которое приноситъ токъ, на время; слѣдовательно, эта энергія равна произведенію числа вольтъ на число амперъ и на время. Въ проводникѣ эта энергія цѣликомъ является въ видѣ тепла, и развивающееся количество тепла тоже, такимъ образомъ, равно произведенію ваттъ на время. Это количество тепла выражается въ ваттъ-часахъ, если время измѣряютъ часами. Обыкновенно же оно выражается въ калоріяхъ; при этомъ одна калорія есть количество тепла, поднимающее температуру 1 литра воды на 1°. Такъ какъ 736 ваттъ равны 1 лошадиной силѣ (см. стр. 420), то 736 ваттъ-часовъ равны 1 лошади-часу. Далѣе, 1 лошадиная сила производитъ въ 1 секунду 75 килограммометровъ работы, а въ часъ $3.600 \times 75 = 270.000$ кгм. работы. Такимъ образомъ, 1 ваттъ-часъ равенъ $\frac{270.000}{736}$ кгм.,

т. е. круглымъ числомъ 367 кгм. Но изъ физики извѣстно, что 1 калорія равна работѣ 427 кгм. Слѣдовательно, 1 ваттъ-часъ соотвѣтствуетъ количеству тепла, равному $\frac{367}{427} = 0{,}86$ калорій, а одна калорія соотвѣтствуетъ 1,16 ваттъ-часа. Чтобы нагрѣть 1 литръ воды отъ 0^0 до 100^0 нужно 100 калорій, т. е. круглымъ числомъ 120 ваттъ-часовъ. Вычислимъ теперь, какова должна быть мощность тока, чтобы нагрѣть въ 5 минутъ 1 литръ воды отъ комнатной температуры (15^0) до температуры кипѣнія (100^0). На это нагрѣваніе нужно потратить 85 калорій или 99 ваттъ-часовъ; фактически, вслѣдствіе происходящей всегда потери тепла приходится тратить не 99, а около 120 ваттъ-часовъ. Для того, чтобы получить этотъ эффектъ въ 5 минутъ, т. е. въ $^1/_{12}$ часа, нужно располагать токомъ мощностью въ $12 \times 120 =$ 1.440 ваттъ. Если напряженіе между проводами равно 110 вольтъ, то сила тока дожна быть 13,1 ампера; если же напряженіе равно 60 вольтамъ, то нуженъ токъ силою въ 24 ампера и т. д. Изъ нашего разсужденія слѣдуетъ, что при одинаковомъ нагрѣваніи токъ долженъ быть тѣмъ большей мощности, тѣмъ больше развивать ваттъ, чѣмъ короче время нагрѣванія. Такимъ образомъ, приборы, дающіе быстрое нагрѣваніе, должны обслуживаться токомъ гораздо большей силы, чѣмъ приборы, дающіе медленное нагрѣваніе или только поддерживающіе температуру на опредѣленной высотѣ.

Вслѣдствіе разсмотрѣнныхъ выше причинъ на практикѣ устраиваютъ приборы такъ, что соединяютъ параллельно значительное число нагрѣваемыхъ проволокъ. Одновременно пропускается токъ либо черезъ всѣ, либо только черезъ нѣкоторыя изъ нихъ. Для быстраго нагрѣванія пользуются одновременно всѣми параллельно соединенными проволоками, такъ какъ при параллельномъ соединеніи сопротивленіе будетъ меньше и, при данномъ напряженіи, получится болѣе сильный токъ—выдѣляется значительное количество тепла. Для медленнаго нагрѣванія или для поддержанія температуры пользуются только нѣкоторыми изъ параллельно соединенныхъ проволокъ или даже одной. Это пересоединеніе достигается обыкновенно перестановкой штепселя.

Нагрѣвательные приборы включаются въ цѣпь такъ же, какъ и лампы, двигатели и т. п., т. е. параллельно. Если напряженіе у проводовъ, въ которые включены эти приборы, не измѣняется, то очень легко подсчитать сопротивленіе проволоки такимъ, чтобы она развивала въ данное время опредѣленное количество тепла. Если, напримѣръ, напряженіе равно 100 вольтъ, и приборъ долженъ въ 5 минутъ развить 300 калорій, разсчетъ будетъ слѣдующій. Для полученія 100 калорій необходимо затратить электрическую работу круглымъ числомъ въ 120 ваттъ-часовъ, какъ выше объяснено, если не принимать во вниманіе потери тепла. Въ нашемъ же примѣрѣ, при 300 калоріяхъ, надо

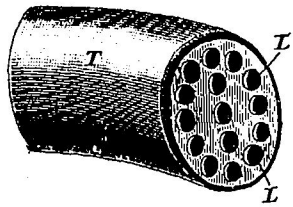
израсходовать 360 ваттъ-часовъ. Такъ какъ 1 ваттъ равенъ произведенію 1 вольта на 1 амперъ, то при данномъ напряженіи въ 100 вольтъ необходимо, слѣдовательно, пропустить чрезъ нагрѣвательный приборъ количество электричества, равное 3,60 амперъ-часа; а чтобы такое количество электричества прошло въ теченіе одной двѣнадцатой доли часа, токъ долженъ быть силою въ 43,2 ампера. Мы узнали, слѣдовательно, что намъ нужны проволоки, въ которыхъ проходилъ бы токъ въ 43,2 ампера при напряженіи въ 100 вольтъ. Сопротивленіе проволоки или системы параллельно соединенныхъ проволокъ въ нагрѣвательномъ приборѣ должно быть равно числу вольтъ (100), раздѣленному на число амперъ (43,2), т. е. 2,3 ома. Такимъ образомъ получаются размѣры системы нагрѣвательныхъ проволокъ. Если, напримѣръ, желательно примѣнить проволоки, по которымъ долженъ проходить токъ только въ 3 ампера, то придется соединить параллельно около 15 такихъ проволокъ.

Когда напряженіе между проводами не поддерживается вполнѣ постояннымъ—а на практикѣ бываютъ случаи колебаній даже до 10%,—то чрезъ проволоки протекаетъ токъ болѣе сильный, чѣмъ разсчитано, и является опасность перегрѣва проволоки, расплавленія ея и разрыва цѣпи. Приходится поэтому придавать проволокамъ такіе размѣры, чтобы при нормальной силѣ тока онѣ не слишкомъ нагрѣвались и въ то же время отдавали бы свое тепло возможно полнѣе; въ особенности существенно примѣненіе для нагрѣвательныхъ аппаратовъ тугоплавкихъ проволокъ.

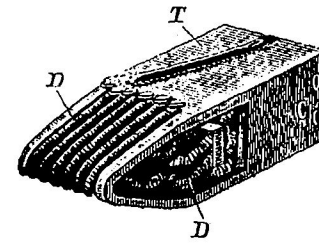
Обыкновенно берутъ проволоки изъ никкеля или изъ его сплавовъ. Однако эти проволоки въ случаѣ доступа воздуха окисляются при высокой температурѣ и такимъ образомъ перегораютъ. Для того, чтобы не допустить окисленія, провода покрываютъ иногда особой эмалью, не разрушающейся при сильномъ нагрѣваніи и устраняющей доступъ воздуха. Въ нижеописываемыхъ приборахъ Гельбергера на отдѣльныя проволоки прямо нанизанъ стеклянный бисеръ, чтобы избѣжать окисленія. Въ другихъ случаяхъ съ тою же цѣлью примѣняютъ проволоки не никкелевыя, а изъ благородныхъ металловъ, въ особенности изъ платины, такъ какъ она даже при высокихъ температурахъ—при продолжительномъ красномъ каленіи—не окисляется. Подобнымъ образомъ приготовляются приборы Штотца въ Штуттгартѣ. Платиновая проволока наматывается на асбестовый шнуръ, и обыкновенно каждая подобная спираль предназначается для тока въ 1 амперъ. Затѣмъ проволоки заключаются въ глиняную оболочку, которой придаютъ подходящую форму. Такъ на черт. 484 представлена часть подобной глиняной оболочки T дугообразной формы. Въ отверстія L, L укладывается проволока. На черт. 485 показана другая форма глиняной оболочки, къ которой прикрѣплены проволоки D, D. Въ приборахъ,

предназначенныхъ для развитія большого количества тепла, примѣненіе платины, конечно, слишкомъ дорого, и потому платиновая проволока замѣняется проволокой изъ никкелеваго сплава съ такимъ разсчетомъ, чтобы температура проволоки отнюдь не была слишкомъ высока

Черт. 484.



Черт. 485.

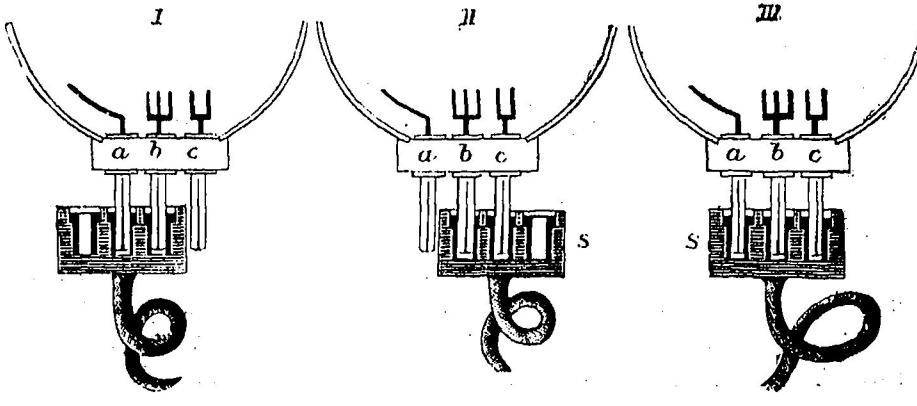


Глиняная оболочка вмѣстѣ съ накаливаемыми проволоками, такъ называемыми нагрѣвателями, помѣщается въ соотвѣтственный сосудъ, который долженъ быть нагрѣваемъ. Такъ на черт. 486 изображенъ чайникъ. Нагрѣватели помѣщаются въ днѣ сосуда, по возможности ближе къ нагрѣваемой поверхности, и въ каждомъ приборѣ они оканчиваются снаружи штифтами, къ которымъ подходитъ контактъ (изображенъ на черт. 486). Этотъ контактъ соединяется съ комнатнымъ проводомъ посредствомъ гибкаго шнура. Для того, чтобы можно было регулировать нагрѣваніе прибора, отдѣльныя проволоки нагрѣвателя располагаются такимъ образомъ, что по желанію можно пользоваться всѣми, или одной, или же группою проволокъ. Способъ осуществленія такого устройства объясняется на черт. 487. Именно: нагрѣвательная система

Черт. 486.



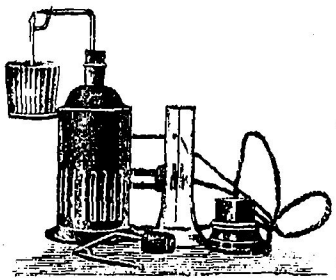
Черт. 487.



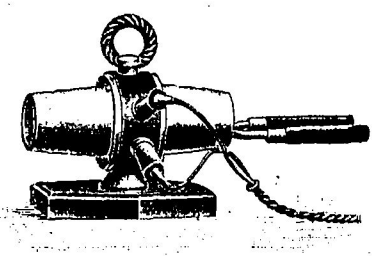
состоитъ, во-первыхъ, изъ одного провода, начинающагося въ a и оканчивающагося въ среднемъ проводѣ при b, и, во-вторыхъ, изъ двойного провода, двухъ параллельныхъ проводниковъ, начинающихся въ c и оканчивающихся въ обоихъ крайнихъ проводахъ при b. Если теперь насадить тройной штепсель S, какъ показано на черт. I, то токъ пойдетъ только по одному проводу ab, и нагрѣваніе будетъ слабое. При положеніи штепселя, указанномъ на черт. II, токъ пойдетъ черезъ двойной проводъ bc, и нагрѣваніе будетъ среднее. Наконецъ, при положеніи штепселя, указанномъ на черт. III, токъ пойдетъ какъ отъ a, такъ и отъ c къ b, и нагрѣваніе будетъ сильное.

Подобное же расположеніе примѣняется для регулированія и въ приборахъ Гельбергера (въ Мюнхенѣ). Въ видѣ примѣра на черт. 488 изображенъ ингаляціонный приборъ. Въ этихъ приборахъ накаливаемая проволока изолирована нанизаннымъ на нее стекляннымъ бисеромъ и уложена прямо въ желобки, устроенные внутри прибора въ соотвѣтственныхъ мѣстахъ.

Черт. 488.



Черт. 489.



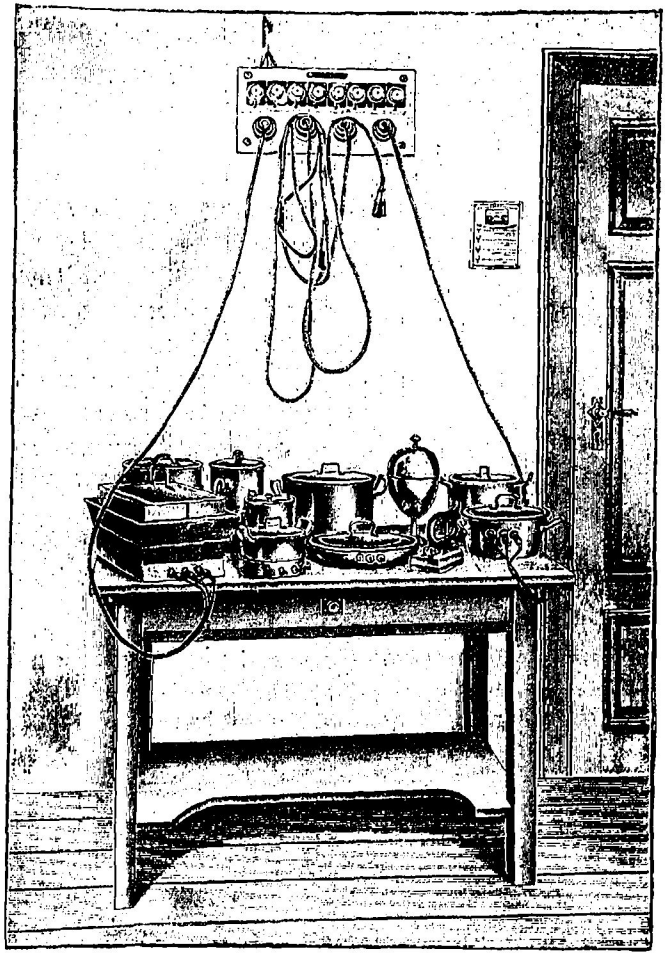
Франкфуртскимъ Обществомъ «Прометей» впервые были конструированы электрическіе приборы для кухонныхъ цѣлей, въ которыхъ для нагрѣванія примѣнено особенное устройство. Нагрѣватели ихъ состоятъ изъ слюдяныхъ полосокъ, покрытыхъ тонкимъ слоемъ металлическаго серебра. Посеребренныя слюдяныя полоски представляютъ собой отдѣльные нагрѣватели, которые можно комбинировать, какъ угодно. Полоски могутъ быть прямоугольными или кольцеобразными, такъ что подходятъ къ аппаратамъ любой формы. Полезное дѣйствіе этихъ приборовъ, которые употребляются для всякихъ цѣлей въ комнатахъ и въ кухнѣ, очень велико вслѣдствіе удачной конструкціи. Черт. 489 изображаетъ грѣлку для парикмахерскихъ щипцовъ Прометей съ кольцевыми слюдяными нагрѣвателями.

Электрическіе нагрѣвательные аппараты различныхъ размѣровъ изготовляются не только для кухонныхъ надобностей, начиная съ простыхъ сковородъ и кончая полной электрической печью, но подобнаго рода приборы устраиваются и для разныхъ техническихъ цѣлей; такъ

напримѣръ, изготовляются приборы для варки клея и сургуча, выпаривательныя чашки, приборы для выжиганія клеймъ (лощильные), приборы для сатинированія и т. д.; всѣ эти приборы прежде всего отличаются удобствомъ въ обращеніи, опрятностью и безопасностью.

Для того, чтобы составить понятіе о производительности и потребленіи тока вышеописанными приборами, приведемъ нѣкоторыя дан-

Черт. 490.

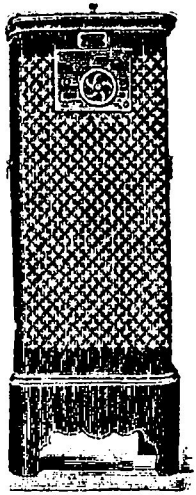


ныя; такъ сковорода беретъ 4, 8 и 12 амперъ, смотря по положенію штепселя, причемъ напряженіе всегда берется ок. 100 вольтъ; чайникъ работаетъ при 5, 4 или 1 амперѣ; ингаляціонный приборъ потребляетъ 2 ампера, и вода въ немъ закипаетъ чрезъ 5 минутъ; рашперъ беретъ 6 амперъ и чрезъ 5 минутъ готовъ для жаренья; грѣлка для щипцовъ беретъ 1 амперъ и чрезъ 5 минутъ готова къ употребленію. Насколько просто и аппетитно выглядитъ электрическая кухня, показываетъ

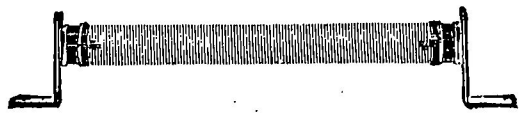
черт. 490; одновременно на одномъ столѣ работаетъ большое количество электрическихъ кухонныхъ аппаратовъ; при приготовленіи кушаній не мѣшаетъ ни огонь, ни паръ, ни копоть и т. п.

Кромѣ вышеописанныхъ примѣненій, электрическія грѣлки употребляются еще для отопленія комнатъ, трамвайныхъ вагоновъ. Для этой цѣли нагрѣвательной системѣ придаютъ форму печи, при соприкосновеніи съ которой нагрѣвается комнатный воздухъ. Такъ, на черт. 491 представлена электрическая печь, которая удобопереносима и въ любой комнатѣ можетъ быть присоединена къ проводамъ посредствомъ проводящаго шнура. Регулировка на различныя силы тока и, слѣдовательно, на различныя степени нагрѣвательной способности производится при помощи контактнаго колеса, помѣщеннаго вверху печи спереди и устанавливающаго необходимыя соединенія. Эти печи строятся съ 5-ью ступенями, отъ 10 до 50 амперъ (при 100 вольтахъ); онѣ предназначаются для отопленія комнатъ до 100 кубическихъ метровъ объемомъ. Вообще можно разсчитать, что для того, чтобы нагрѣть помѣщеніе на 10°, нужно около 37 ваттъ на кубическій метръ. Въ печахъ описываемаго

Черт. 491.



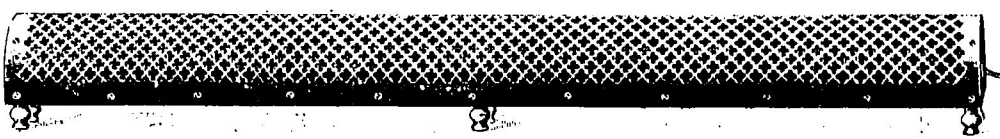
Черт. 492.



устройства нагрѣваніе воздуха достигается главнымъ образомъ благодаря его циркуляціи чрезъ печь. Холодный воздухъ поступаетъ въ печь снизу, теплый выходитъ сверху. Когда не требуется особой элегантности формы, можно примѣнять простой электрическій нагрѣватель, изображенный на черт. 492. Его проволоки просто намотаны на огнеупорную массу; здѣсь нѣтъ никакой оболочки. Можно соединять вмѣстѣ любое число такихъ нагрѣвателей. Но само собою разумѣется, этимъ печамъ можно придавать и очень изящный видъ.

Особенно удобнымъ оказывается электрическое отопленіе для витринъ; оно служитъ для того, чтобы въ зимнее время помѣшать образованію на нихъ льда. Другіе приборы здѣсь можно примѣнять

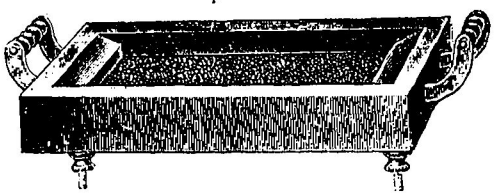
Черт. 493.



только въ исключительныхъ случаяхъ, такъ какъ употребленіе ихъ сопряжено съ опасностью пожара. Электрическія грѣлки для витринъ, одна изъ которыхъ (фирмы A. E. G.) изображена на черт. 493, дѣлаются низкими и потребляютъ около 330 ваттъ.

Есть еще другая, существенно отличающаяся, система электрическаго отопленія, которая обладаетъ цѣлымъ рядомъ преимуществъ, и примѣняется во многихъ случаяхъ, гдѣ никакая другая система не годится. Это такъ называемая система «Криптоль». Криптоль — это фабричное названіе крупнаго порошка, состоящаго изъ чистаго угля и извѣстныхъ полупроводниковъ, карборунда, силикатовъ, стекла, вольфрамовыхъ солей и т. п. Эта масса сначала прессуется, а затѣмъ размельчается на зерна въ формѣ шариковъ или чечевицъ поперечнаго сѣченія отъ 0,5 до 1,5 мм. Такой порошокъ (общества «Криптоль» въ Берлинѣ) поступаетъ въ продажу въ коробкахъ или мѣшкахъ. Когда такой порошокъ насыпаютъ на пластину между двумя электродами, которымъ сообщаютъ напряженіе въ 100 вольтъ, то прежде всего образуются маленькія свѣтовыя дуги между частицами угля; вся масса дѣлается теплой; вещества, бывшія плохими проводниками, какъ стекло и соли, начинаютъ проводить токъ благодаря повысившейся температурѣ, и въ короткое время вся эта масса раскаляется сначала докрасна, а потомъ и добѣла. Черт. 494 изображаетъ подобную нагрѣвательную пластину. Она состоитъ изъ желѣзной ванны, выложенной шамотомъ, въ которую насыпается слой порошка толщиной въ 5—10 мм. Здѣсь температура легко достигаетъ 1500°; мы могли бы получить ее еще значительно выше, если бы большинство частей прибора не плавилось или не размягчалось при такихъ высокихъ температурахъ.

Черт. 494.

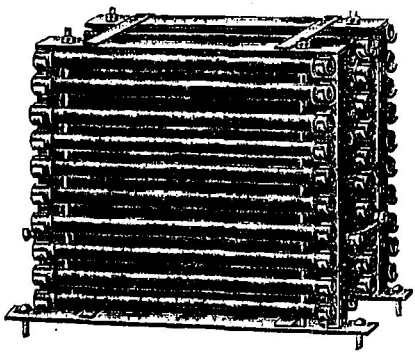


Такія открытыя грѣлки «Криптоль», которыя позволяютъ достигать столь высокой температуры, и притомъ очень удобны въ обращеніи, чрезвычайно полезны, конечно, для химическихъ лабораторій и въ промышленности, напримѣръ, на часовыхъ фабрикахъ, въ типографіяхъ, мастерскихъ золотыхъ вещей и т. д. Онѣ способствовали тому, что электричество завоевало себѣ поле и въ этой области, какъ средство для нагрѣванія. При открытомъ слоѣ криптоля отдѣльнымъ мѣстамъ ванны можно придать болѣе высокую температуру, чѣмъ въ другихъ мѣстахъ, дѣлая въ этихъ мѣстахъ толщину криптолеваго слоя меньше. Можно даже въ то время, какъ идетъ токъ, мѣшать этотъ порошокъ, передвигать, разсыпать его при помощи стеклянной палочки или чего-нибудь подобнаго.

При очень высокихъ температурахъ углеродъ все же соединяется съ кислородомъ воздуха, и порошокъ сгораетъ, такъ что черезъ нѣкоторое время, хотя бы черезъ нѣсколько часовъ, нужно брать новый порошокъ.

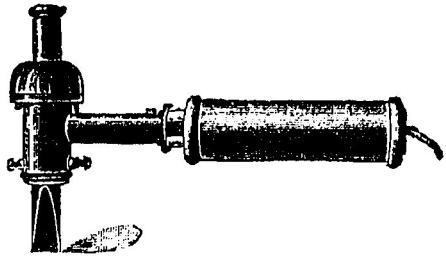
При примѣненіи этой системы къ отопленію комнатъ массу нагрѣваютъ, конечно, до гораздо болѣе низкой температуры. Такъ какъ не всякій сумѣетъ обращаться съ открытымъ горячимъ криптолемъ, то о-во, изготовляющее эти грѣлки, произвело очень простое и вмѣстѣ съ тѣмъ очень практичное измѣненіе въ приборѣ. Оно пустило въ обращеніе такъ называемые патроны «Криптоль». Это — стеклянныя или шамотовыя трубки, наполненныя извѣстнымъ количествомъ криптоля. Концы трубокъ герметически закрываются металлическими капсюлями. Эти патроны дѣлаются различной величины, отъ 180 до 500 мм. длиной. Рядъ такихъ патроновъ включаютъ параллельно въ печи; для этого металлическіе наконечники вставляются въ пружинящія пластины, которыя соединены съ электродами. Черт. 495 изображаетъ такую систему патроновъ, вставленную въ печь. При напряженіи въ 110 вольтъ патронъ въ 320 мм. длиной требуетъ токъ отъ 0,3 до 0,4 ампера, чтобы быть нагрѣтымъ до 100°. Такая система годится, конечно, для всевозможныхъ цѣлей. Можно конструировать плоскія и высокія печи, можно помѣщать такіе патроны въ отдѣльные приборы, какъ напримѣръ, сушильные шкафы и т. д.; все это удобнѣе для обращенія, чѣмъ при открытомъ криптолѣ.

Черт. 495.



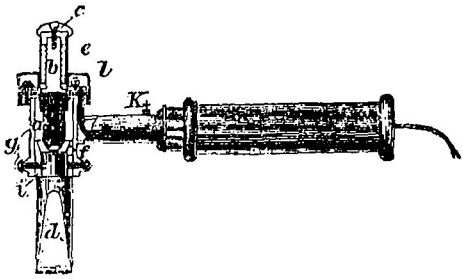
Когда дѣло идетъ о быстромъ достиженіи высокой температуры, уже издавна и съ большою выгодою въ иныхъ случаяхъ примѣняется электрическая дуга. Цѣлесообразно сконструированный приборъ подобнаго рода представляетъ собою паяльникъ съ электрическою дугою, изготовляемый фирмою A. E. G. въ Берлинѣ. На черт. 496 представленъ внѣшній видъ этого паяльника, на черт. 497—его разрѣзъ. При помощи шнура и штепселя къ паяльнику доставляется токъ отъ цѣпи въ 65 или 110 вольтъ. Придатокъ изъ красной мѣди d, служащій для самого паянія, является положительнымъ полюсомъ; уголь a—отрицатель-

Черт. 496.



нымъ полюсомъ. Нажатіемъ на головку *c* приводятъ въ соприкосновеніе уголь и мѣдный полюсъ. По прекращеніи нажатія, благодаря пружинѣ *e*, уголь отодвигается назадъ приблизительно на 1 мм., и мѣдь, играющая роль положительнаго полюса, быстро и сильно нагрѣвается. Электрическая дуга можетъ быть наблюдаема черезъ маленькое отверстіе *f*. Когда уголь нѣсколько обгоритъ и дуга потухнетъ, можно ее возстановить новымъ нажатіемъ на головку *c*; это приходится продѣлывать приблизительно каждые полчаса. Подобнымъ же образомъ примѣняютъ электрическую дугу для электрическихъ утюговъ.

Черт. 497.



Тѣмъ свойствомъ электрическаго тока, что онъ очень легко вызываетъ нагрѣваніе металловъ, пользуются въ настоящее время при свариваніи металловъ, жестяныхъ полосъ и т. д. При этомъ можно нагрѣвать металлы непосредственно токомъ; тогда вслѣдствіе развивающейся джоулевой теплоты части, которыя мы желаемъ сварить, нагрѣваются и при давленіи на нихъ свариваются. Особенно хорошо употреблять для этой цѣли перемѣнный токъ, преобразованный посредствомъ соотвѣтствующаго трансформатора въ токъ малаго напряженія и большой силы. Это и дѣлается въ приборахъ для электрическаго свариванія Гельбергера (въ Мюнхенѣ). Съ другой стороны, можно примѣнить свариваніе посредствомъ вольтовой дуги; при этомъ между свариваемымъ кускомъ и однимъ изъ электродовъ, отдѣленномъ отъ него, образуется дуга, которая доводитъ металлъ до высокой температуры. Фирма A. E. G. изготовляетъ особенные динамомашины и приборы, приспособленные для этого способа электрической сварки.

Электрическая дуга примѣняется также въ электрическихъ печахъ, но не въ обыкновенныхъ печахъ, а плавильныхъ, и придаетъ имъ совершенно особенныя, недостижимыя инымъ путемъ свойства. Такъ какъ однако эта печь пока употребляется исключительно для химическихъ цѣлей, то мы будемъ говорить о ней только въ главѣ XI, посвященной электрохиміи.

ГЛАВА VII.

Работа электродвигателей.

Какъ ни велико примѣненіе электрическаго тока для освѣщенія, все-таки по существу это лишь удовлетвореніе потребности современныхъ людей къ большему комфорту и удобству. Гораздо глубже проникаетъ въ жизнь, въ дѣятельность, въ работу каждаго человѣка то примѣненіе электричества, разультатомъ котораго является непосредственно механическая работа. Это примѣненіе электричества глубочайшимъ образомъ вліяетъ на промышленность, ремесла, даже сельское хозяйство, т. е. на всѣ главные факторы существованія отдѣльнаго лица и всего государства.

Всякою динамомашиною постояннаго тока можно пользоваться для двухъ цѣлей. Если вращать ея якорь между полюсами магнитовъ, то въ ней возбуждаются индукціонные токи; пользованіе ими и представляетъ первоначальное примѣненіе этихъ машинъ. Но, если, наоборотъ, по обмоткѣ якоря черезъ щетки пустить электрическій токъ, то магниты будутъ оказывать на этотъ токъ свое дѣйствіе, и, повинуясь этому дѣйствію, проводники, по которымъ идетъ токъ, т. е. весь якорь, придетъ въ движеніе и будетъ двигаться по правилу лѣвой руки, стр. 205. Такимъ образомъ, если пустить извнѣ токъ по обмоткѣ якоря и магнитовъ, то якорь придетъ во вращеніе.

Давно уже пытались воспользоваться электромагнитною силою для полученія механической работы. Якоби въ Петербургѣ установилъ такой электродвигатель „электромагнитную машину“, какъ говорили тогда (т. е. машину для полученія движенія посредствомъ электрическаго тока), въ лодкѣ, соединивъ колесо послѣдней съ осью вращающагося якоря двигателя, и пустилъ этотъ двигатель въ ходъ посредствомъ большой гальванической батареи. Двигатель, конечно, сообщилъ движеніе колесу и заставилъ лодку итти по Невѣ съ достаточною скоростью. Очевидно однако, что подобное примѣненіе электричества къ производству работы не можетъ быть выгоднымъ, такъ какъ въ батареяхъ долженъ быть сжигаемъ цинкъ, а мы видѣли на стр. 477, что количество электрической энергіи, отъ котораго мы можемъ по-

лучить извѣстную работу, полученное сжиганіемъ цинка, обходится въ 15 разъ дороже, чѣмъ, если его получить на счетъ сжигаемаго угля. Отсюда слѣдуетъ, что безусловно предпочтительнѣе привести лодку въ движеніе паровою машиною, чѣмъ электричествомъ, если оно возбуждается на счетъ окисленія цинка.

Совсѣмъ иначе обстоитъ дѣло, если пользуются сильнымъ электрическимъ токомъ, дешево полученнымъ или прямо отъ динамомашины, или отъ аккумуляторовъ, заряженныхъ динамомашиною. Эти токи даютъ полную возможность экономично и въ очень удобной формѣ производить работу съ помощью электричества.

Итакъ, если въ динамомашину постояннаго тока идетъ извнѣ токъ, то ея якорь приходитъ во вращеніе и можетъ произвести работу, причемъ не имѣетъ никакого значенія, откуда берется токъ. Этотъ токъ можетъ быть получаемъ непосредственно отъ какой-нибудь динамомашины или отъ аккумуляторовъ, или отъ гальванической батареи, если только это позволяютъ экономическія соображенія и если при этомъ выполняются всѣ остальныя условія; или, наконецъ, токъ можетъ быть получаемъ прямо съ проводовъ сѣти какой-нибудь центральной станціи (глава IX-я). То, что существенно для величины получаемой работы, это лишь самъ электрическій токъ, а средствомъ, которымъ его энергія обращается въ механическую работу, является динамомашина, называемая въ такомъ случаѣ электрическимъ двигателемъ или электродвигателемъ (электромоторомъ).

Итакъ, электродвигатель, пускаемый въ ходъ токомъ, можетъ совершить работу. Если его ось посредствомъ ремней или зубчатокъ, или какимъ-нибудь другимъ способомъ соединить съ валомъ какой-нибудь машины, которую желаютъ привести въ дѣйствіе, то она будетъ приведена въ движеніе, и, такимъ образомъ, электродвигатель совершаетъ работу. Онъ можетъ ее совершать потому, что въ него поступаетъ энергія отъ источника электричества.

Какъ видно изъ предыдущаго, моторъ постояннаго тока ничѣмъ принципіально не отличается отъ машины постояннаго тока. Если эту машину привести во вращеніе внѣшними двигателями, она производитъ токъ; наоборотъ, если въ нее пустить токъ, она станетъ вращаться и можетъ совершать механическую работу. Мы обращаемъ вниманіе на эту обратимость и формулируемъ такъ: Динамомашина превращаетъ механическую энергію въ электрическую или электрическую въ механическую. Если она потребляетъ механическую энергію, она въ состояніи производить электрическую; если же она потребляетъ электрическую, она можетъ отдавать механическую.

Нѣтъ никакой конструктивной разницы между моторомъ и машиной постояннаго тока (генераторомъ), а, слѣдовательно, всѣ типы

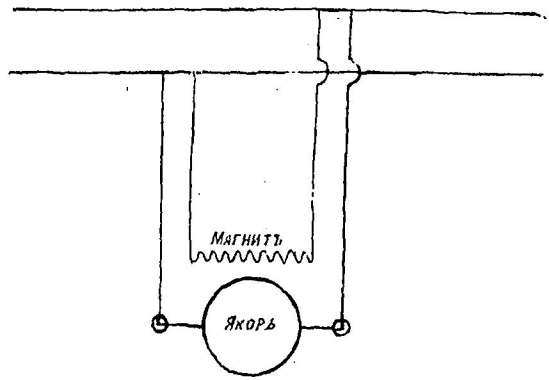
машинъ, описанныхъ на стр. 448—452, могутъ быть употребляемы, какъ моторы и какъ генераторы. Въ дальнѣйшемъ при описаніи отдѣльныхъ машинъ мы увидимъ подобные моторы, а потому не будемъ теперь на нихъ останавливаться.

Итакъ, если пропустить токъ черезъ щетки въ такой моторъ, то якорь придетъ во вращеніе. Но вслѣдствіе этого вращенія въ якорѣ (кольцевомъ или барабанномъ) возникаетъ электродвижущая сила, которая, дѣйствуя одна, давала бы во внѣшней цѣпи токъ обратнаго направленія, какъ это слѣдуетъ по закону Ленца (стр. 241). Внѣшняя электродвижущая сила, посылающая токъ въ машину, должна, слѣдовательно, превосходить эту обратную электродвижущую силу. Полная энергія, идущая въ каждую секунду на моторъ, равна и здѣсь, какъ всегда, произведенію силы тока на напряженіе у зажимовъ двигателя. Эту энергію онъ частью употребляетъ на себя, а именно на треніе и джоулево тепло, на такъ называемую холостую работу (потери энергіи при холостомъ ходѣ), частью же онъ можетъ отдать, приводя въ движеніе какіе-нибудь механизмы. Онъ можетъ, слѣдовательно, произвести работу, равную—за вычетомъ указанныхъ потерь—произведенію напряженія у зажимовъ на силу тока и на скорость вращенія, т. е. на число оборотовъ въ одну секунду. Если двигатель долженъ постоянно совершать одну и ту же работу, это произведеніе должно оставаться постояннымъ; и напротивъ того, если мѣняется величина совершаемой моторомъ работы, то мѣняется и это произведеніе. По большей части моторами пользуются для совершенія работы, приключая ихъ къ сѣти, напряженіе которой центральною станціей поддерживается постояннымъ. Въ рѣдкихъ случаяхъ моторы примѣняются еще въ особенныхъ установкахъ для передачи энергіи, но объ этомъ мы будемъ говорить въ слѣдующей главѣ, здѣсь же мы будемъ считать, что моторъ включается въ сѣть, напряженіе которой (у зажимовъ) остается постояннымъ.

Моторы, приводимые въ дѣйствіе постояннымъ токомъ, подобно машинамъ постояннаго тока, могутъ конструироваться по 3-мъ главнымъ типамъ: какъ моторы съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ, моторы съ шунтовымъ возбужденіемъ и моторы со смѣшаннымъ возбужденіемъ. Послѣдніе употребляются довольно рѣдко.

Выгоднѣе всего оказались моторы съ шунтовымъ возбужденіемъ. Когда подобный моторъ приключается къ сѣти съ постояннымъ напряженіемъ, то, какъ видно на чертежѣ 498, якорь и индукторы независимо приключены къ цѣпи. Изъ этого прежде всего слѣдуетъ, что въ индукторахъ токъ будетъ всегда одной и той же силы, независимо отъ числа оборотовъ якоря. Другими словами, магнитное поле индукторовъ остается неизмѣннымъ. Обратная электродвижущая сила мотора зависитъ, какъ и всегда при индукціонныхъ токахъ, отъ

Черт. 498.



силы магнитнаго поля, отъ числа витковъ обмотки якоря и отъ скорости (т. е. числа оборотовъ въ секунду) якоря. Но, такъ какъ эта обратная электродвижущая сила будетъ всегда равна внѣшнему напряженію, приводящему моторъ въ дѣйствіе, за вычетомъ паденія напряженія внутри мотора, то моторъ всегда будетъ имѣть приблизительно одну и ту же скорость вращенія, независимо отъ того, есть ли у него нагрузка, или онъ вращается въ холостую. Въ самомъ дѣлѣ, разъ напряженіе магнитнаго поля и число витковъ якоря остается одно и то же, то и число оборотовъ должно быть постояннымъ. Результатъ, значитъ, такой, что число оборотовъ шунтового мотора почти всегда остается постояннымъ при различныхъ нагрузкахъ, при различной величинѣ производимой имъ работы, до тѣхъ поръ, пока остается неизмѣннымъ магнитное поле; но токи по якорю должны проходить различной силы въ зависимости отъ производимой работы; они должны быть тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше нагрузка двигателя.

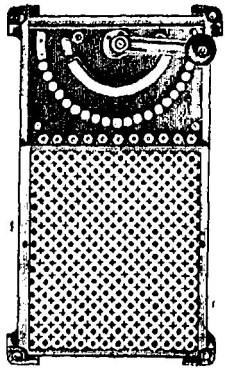
Отсюда слѣдуетъ тотъ отрадный фактъ, что, за вычетомъ той энергіи, которая идетъ на холостой ходъ мотора, моторъ потребляетъ какъ разъ столько энергіи извнѣ, изъ сѣти, сколько приходится тратить ея на работу. Если работа, совершаемая моторомъ, уменьшается въ два раза, то и энергія, потребляемая имъ, уменьшается вдвое, если съ самаго начала пренебрегать потерями холостого хода. Этотъ фактъ отраденъ, потому что взятая моторомъ энергія въ конечномъ счетѣ выразится стоимостью угля, пошедшаго на ея преобразованіе.

Чтобы моторъ при включеніи, при пускѣ въ ходъ, или въ томъ случаѣ, когда онъ нагруженъ, когда онъ вынужденъ привести въ движеніе какую-нибудь машину, обладалъ достаточно большою силой, нужно имѣть сильное магнитное поле и возможно малое сопротивленіе якоря, чтобы въ немъ возбуждались очень сильные токи.

Но если сопротивленіе якоря электродвигателя очень мало, то при непосредственномъ соединеніи его съ источникомъ тока является неудобство. Положимъ, что мы имѣемъ двигатель съ сопротивленіемъ въ 1 омъ и присоединимъ его къ проводамъ, напряженіе между которыми равно 100 вольтамъ. Въ такомъ случаѣ въ первый моментъ

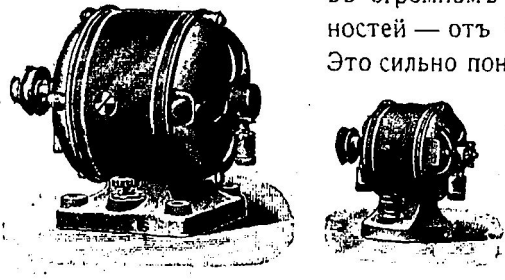
черезъ обмотки пройдетъ токъ въ 100 амперъ. Правда, якорь тотчасъ же пришелъ бы во вращеніе, и въ немъ образовалась бы обратная электродвижущая сила, понижающая силу тока со 100 амперъ до 50, 20 и т. д. Но на практикѣ такъ нельзя поступать, такъ какъ первоначальный сильный токъ могъ бы повредить изоляцію якорной обмотки или по меньшей мѣрѣ расплавить предохранители (см. стр. 577). И даже, если бы этого не случилось, если бы всѣ размѣры были подобраны такъ, чтобы ничего подобнаго не могло произойти, все-таки внезапное усиленіе тока, получаемаго отъ цѣпи, можетъ вызвать въ послѣдней разстройство, напряженіе въ ней можетъ внезапно упасть. Въ виду всего этого электродвигатели, въ особенности большіе, включаются въ цѣпъ не сразу, но постепенно. Для этого пользуются пусковымъ реостатомъ, такъ что токъ проходитъ сначала черезъ большое сопротивленіе и потому не слишкомъ силенъ; когда же якорь придетъ во вращеніе и возбудится обратная электродвижущая сила, сопротивленіе постепенно уменьшается и, наконецъ, совершенно выключается, такъ что двигатель остается включеннымъ прямо въ цѣпь. Въ большихъ двигателяхъ обыкновенно сначала включаютъ индукторы, а затѣмъ уже постепенно и якорь. На черт. 499 изображенъ реостатъ для пусканія въ ходъ двигателей.

Черт. 499.



Теперь многія фирмы стали готовить въ огромномъ числѣ моторы малыхъ мощностей — отъ $^1/_{100}$ до 2 лошадиныхъ силъ. Это сильно понизило цѣну подобныхъ моторовъ. У большинства фирмъ внѣшній видъ подобныхъ малыхъ моторовъ одинаковый. Желѣзная коробка предохраняетъ отъ загрязненій якорь мотора. Черт. 500 изображаетъ 2 подобныхъ мотора: одинъ $^1/_{100}$ лошадиной силы, другой $^1/_6$, уменьшенные въ отношеніи 1 : 7.

Черт. 500.



Итакъ, съ одной стороны моторы съ шунтовымъ возбужденіемъ имѣютъ постоянную скорость вращенія; эта особенность весьма цѣнна во многихъ случаяхъ. Съ другой стороны, мѣняя напряженіе магнитнаго поля, мы можемъ измѣнять скорость вращенія. Для этой цѣли стоитъ только включить въ обмотку магнитовъ шунтовой регуляторъ. При постоянномъ напряженіи во внѣшней цѣпи моторъ долженъ вращаться тѣмъ скорѣе, чѣмъ слабѣе магнитное поле, чтобы обрат-

ная электродвижущая сила оставалась неизмѣнной. Итакъ, введеніе сопротивленія въ шунтовую цѣпь увеличиваетъ скорость вращенія мотора.

Иначе обстоитъ дѣло у моторовъ съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ, включенныхъ въ сѣть съ даннымъ напряженіемъ. Въ самомъ дѣлѣ, здѣсь напряженіе магнитнаго поля не остается неизмѣннымъ, но мѣняется вмѣстѣ съ силой тока, идущаго въ моторъ, возрастая или убывая по мѣрѣ того, какъ возрастаетъ или убываетъ сила тока. Вѣдь, при этомъ способѣ включенія сила тока въ якорѣ и индукторахъ всегда одинакова. Отсюда слѣдуетъ, что подобный моторъ не будетъ обладать неизмѣнной скоростью вращенія. Если моторъ выполняетъ большую работу, то въ его якорѣ будетъ сильный токъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ усилится магнитное поле и падаетъ скорость вращенія. Напротивъ, если работа мотора мала, то моторъ бѣжитъ быстро. При устройствѣ трамваевъ обыкновенно пользуются моторами съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ. Они уже въ силу своей конструкціи, не нуждаясь въ спеціальной регулировкѣ, идутъ медленнѣе на закругленіяхъ и подъемахъ, чѣмъ по ровной улицѣ. Далѣе, ясно, что благодаря измѣняемости напряженія магнитнаго поля у моторовъ съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ мощность при пускѣ въ ходъ гораздо больше, чѣмъ у шунтовыхъ моторовъ: если моторъ съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ, сильно нагруженный, включить въ цѣпь съ постояннымъ напряженіемъ, то въ первый моментъ токъ, текущій въ якорѣ и въ обмоткѣ магнитовъ, очень силенъ, и сила вращенія якоря весьма велика, такъ что она можетъ легко преодолѣть значительную нагрузку. Благодаря этой особенности чрезвычайно выгодно примѣненіе моторовъ съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ въ трамваяхъ и автомобиляхъ.

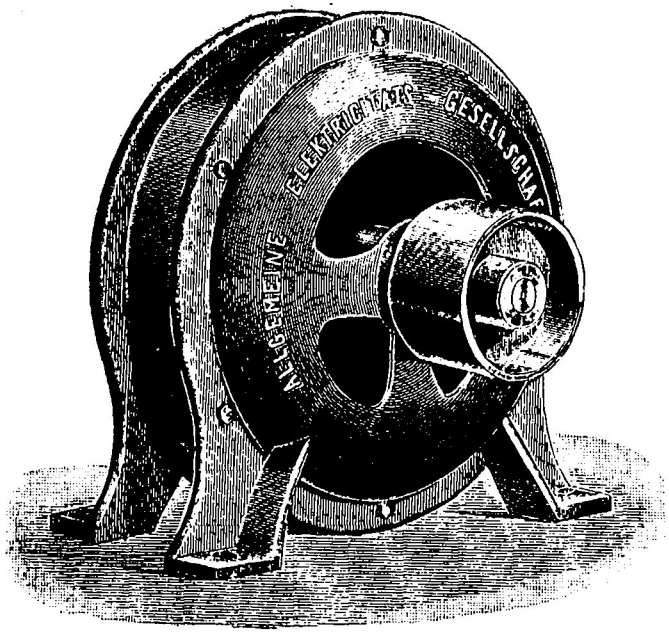
Какъ при помощи постояннаго тока, такъ же просто можно производить работу и при помощи трехфазнаго тока, между тѣмъ какъ обыкновенный перемѣнный токъ (однофазный) самъ по себѣ, безъ особыхъ приспособленій, не можетъ быть примѣняемъ.

Въ высшей степени важное открытіе сдѣлали Феррарисъ и Тесла, показавъ, что многофазные токи, т. е. два или больше тока съ различными фазами, и въ частности трехфазные легко могутъ быть примѣняемы для полученія механической работы изъ электрической.

Но практическое значеніе это открытіе получило лишь тогда, когда Всеобщая Компанія Электричества въ Берлинѣ въ 1891 г., а затѣмъ фирма Эрликонъ построили моторы по этому принципу; имъ было дано характерное названіе трехфазныхъ двигателей. Съ тѣхъ поръ эти моторы строятся многими фирмами по разнообразнымъ образцамъ. Принципъ ихъ таковъ: три провода перемѣннаго (однофазнаго) тока различныхъ фазъ, идущіе отъ зажимовъ первичной трехфазной

машины (стр. 469), обводятся тремя группами вокругъ желѣзнаго кольца такъ, что токъ, идущій по проводу первому, обтекаетъ 2 діаметрально противоположныя системы катушекъ; токъ, идущій по второму, обѣгаетъ тоже 2 діаметрально противоположныя катушки, сдвинутыя относительно первыхъ на 60°; и токъ, подходящій по 3-му проводу, идетъ по катушкамъ, сдвинутымъ опять на 60°. Согласно предыдущему (стр. 302) при этомъ въ кольцѣ возникаетъ магнитное поле, ось котораго непрерывно поворачивается и, очевидно, вращается внутри кольца съ тѣмъ самымъ числомъ періодовъ, которое имѣетъ перемѣнный токъ. Возникаетъ, значитъ, вращающееся магнитное поле. Внутри неподвижнаго кольца имѣется желѣзный якорь, обмотка кото-

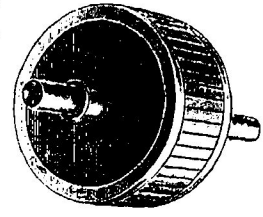
Черт. 501.



раго просто замкнута сама на себя. Этотъ якорь можетъ быть обмотанъ, какъ кольцевой, но чаще всего онъ обматывается, какъ барабанный. Въ якорной обмоткѣ возбуждаются индукціонные токи подъ вліяніемъ пробѣгающихъ мимо магнитныхъ полюсовъ и, благодаря взаимодѣйствію между этими полюсами и токами, якорь приводится во вращеніе. Якорь пришелъ бы во вращеніе также и въ томъ случаѣ, если бы онъ не былъ снабженъ обмоткой; это произошло бы вслѣдствіе взаимодѣйствія между полюсами и токами Фуко. Но обыкновенно предпочитаютъ снабжать якорь обмоткой (мѣдные стержни, изъ которыхъ составлена обмотка, могутъ быть уложены непосредственно въ желѣзо), чтобы дать индукціоннымъ токамъ заранѣе опредѣленный,

болѣе выгодный путь, да и токи будутъ, конечно, сильнѣе въ мѣди, чѣмъ въ желѣзѣ. Мы видимъ, что такой двигатель не имѣетъ коллектора, который всегда бываетъ въ двигателяхъ постояннаго тока, поэтому онъ выгоднѣе послѣднихъ. На черт. 501 изображенъ подобный двигатель трехфазнаго тока фирмы A. E. G. Виденъ желѣзный остовъ, внутри котораго находятся обмотки для приходящаго трехфазнаго тока. Якорь этого двигателя отдѣльно изображенъ на черт. 502. Обмотка его состоитъ изъ ряда мѣдныхъ стержней, соединенныхъ между собою двумя металлическими кольцами. Такой якорь называютъ короткозамкнутымъ якоремъ. Здѣсь подвижная часть, якорь съ обмоткою, не имѣетъ никакого коллектора, никакихъ контактныхъ колецъ, никакихъ щетокъ, въ то время какъ это все необходимо для двигателей постояннаго тока. Въ данномъ же случаѣ токъ въ подвижной части индуктируется прямо токомъ, идущимъ чрезъ неподвижныя части двигателя. Въ трехфазныхъ двигателяхъ валъ якоря соединяется при помощи обычныхъ приспособленій съ соотвѣтственнымъ механизмомъ, который при вращеніи якоря совершаетъ работу. Итакъ, многофазные двигатели являются простѣйшими, какіе только можно придумать; они проще двигателей постояннаго тока. Такъ какъ токи въ якорѣ возникаютъ исключительно путемъ индукціи, ниоткуда не подводятся, то эти двигатели называютъ индукціонными.

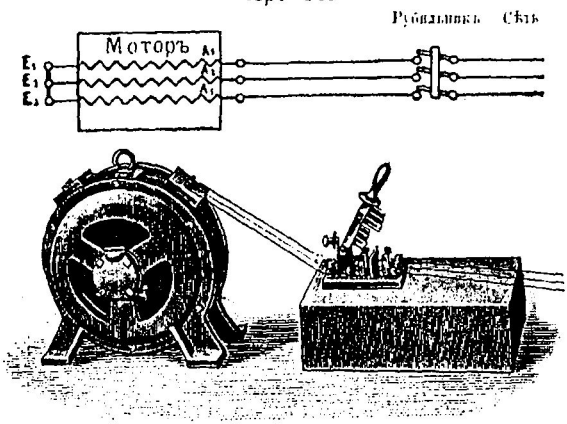
Черт. 502.



Пока якорь не совершаетъ никакой внѣшней работы, онъ вращается все съ большею скоростью, пока почти не достигнетъ той скорости, съ какой вращаются полюса въ неподвижномъ кольцѣ. Если бы онъ вполнѣ достигъ этой скорости, то въ обмоткѣ не индуктировалось бы никакого тока, такъ какъ тогда не было бы относительнаго движенія между проводами якорной обмотки и полюсами. Но, какъ только по какой бы то ни было причинѣ скорость якоря уменьшится, въ его обмоткѣ будетъ индуктироваться токъ. Если теперь двигатель нагруженъ, т. е. если его валъ соединенъ съ механизмомъ, въ которомъ совершается работа, то скорость вращенія якоря станетъ меньше, и двигатель начнетъ доставлять работу. Это измѣненіе скорости отъ скорости холостого хода до скорости при нагрузкѣ у хорошо сконструированныхъ двигателей невелико; наибольшая величина этого измѣненія достигаетъ 10%. Даже при небольшой разницѣ скоростей возбуждается очень значительная сила взаимодѣйствія между полюсами и токами въ якорѣ. Эта небольшая разница между скоростями при холостомъ ходѣ и при полной нагрузкѣ имѣетъ, конечно, слѣдствіемъ то обстоятельство, что двигатель трехфазнаго тока работаетъ практически всегда почти съ тою же скоростью, съ какою пе-

ремѣщаются полюса въ неподвижномъ кольцѣ. Но именно только почти. Трехфазный двигатель, принципіально говоря, можетъ работать при любой скорости меньшей скорости вращающагося поля: не нужно никакой одновременности, никакого синхронизма между движеніемъ динамомашины и двигателя. Двигатели подобнаго рода называются асинхронными. Практически же обыкновенно приходится имѣть дѣло лишь съ небольшими измѣненіями скорости, такъ какъ двигатель развиваетъ уже достаточную мощность и при этихъ условіяхъ. Разницу между скоростью вращенія якоря и скоростью, съ которой перемѣщаются полюсы въ неподвижной части, называютъ скольженіемъ двигателя.

Черт. 503.

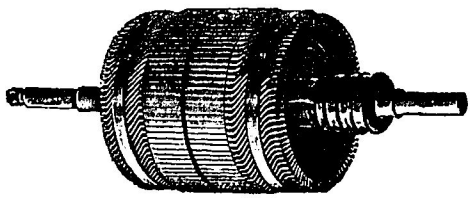


Подобный моторъ (см. черт. 503) приключается къ 3-мъ проводамъ, идущимъ отъ источника трехфазнаго тока, при помощи особаго трехполюснаго рубильника, чтобы можно было включать и выключать токъ.

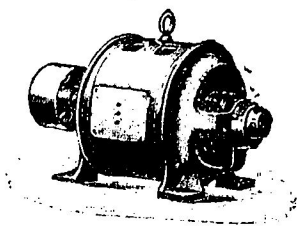
При пусканіи въ ходъ, пока двигатель еще не разошелся, онъ потребляетъ слишкомъ сильный токъ. Причины этого заключаются въ томъ, что, во-первыхъ, сопротивленіе и самоиндукція неподвижныхъ частей двигателя сравнительно невелики и во-вторыхъ, въ обмоткѣ якоря возбуждаются очень сильные индукціонные токи. Для того, чтобы уменьшить начальную силу тока и въ то же время не слишкомъ ослабить двигательную силу мотора, здѣсь не примѣняютъ реостата въ главной цѣпи, какъ при двигателяхъ постояннаго тока, такъ какъ при этомъ уменьшается тяговое усиліе двигателя. Чаще всего включаютъ сопротивленіе безъ самоиндукціи (см. стр. 281) въ обмотку якоря. Для того, чтобы можно было это сдѣлать, якорную обмотку присоединяютъ къ контактнымъ кольцамъ, насаженнымъ на валъ. Къ этимъ кольцамъ прикасаются щетки. По этимъ причинамъ большіе трехфазные двигатели не имѣютъ коротко-замкнутаго якоря. Обыкновенно обмотка якоря выходитъ къ 3 контактнымъ кольцамъ на валу, по которымъ скользятъ щетки, ведущія къ реостату, включаемому при пускѣ въ ходъ. Черт. 504 представляетъ такой якорь съ контактными кольцами. Черт. 505 изображаетъ подобный трехфазный двигатель съ контактными кольцами фирмы Бергмана. Черт. 506 даетъ

схему соединенія мотора съ сѣтью. Отъ питающей цѣпи токъ черезъ рубильникъ входитъ въ неподвижную обмотку мотора. Обмотка якоря раздѣлена на 3 части, и концы этихъ отрѣзковъ выходятъ къ 3-мъ контактнымъ кольцамъ, присоединеннымъ къ тройному реостату (см.

Черт. 504.

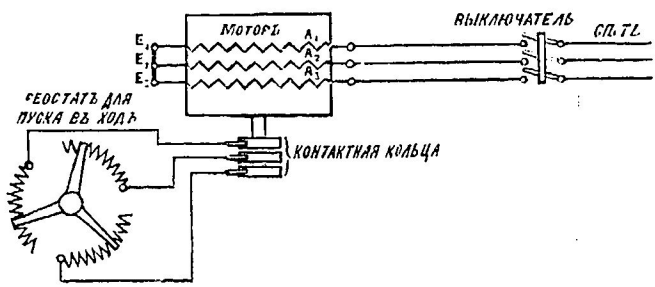


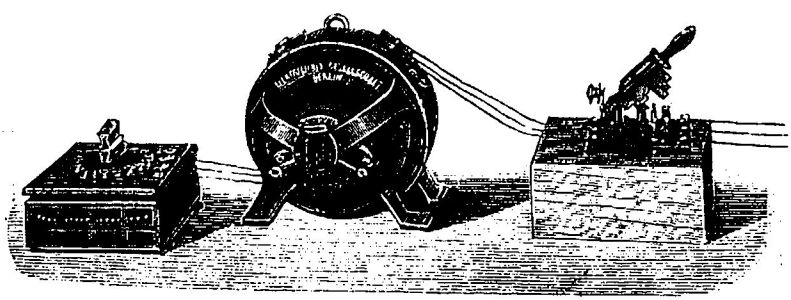
Черт. 505.



лѣвую часть рис.). По кнопкамъ тройного реостата скользитъ пластина съ тремя контактами, при поворачиваніи которой въ направленіи часовой стрѣлки мало по малу выключается большое сопротивленіе, включенное раньше, пока, наконецъ, якорь не включается на короткое.

Черт. 506.

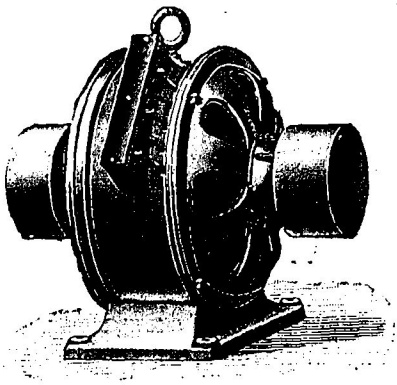




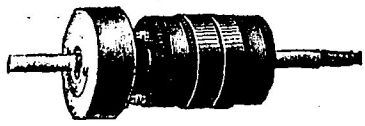
Для пуска въ ходъ трехфазныхъ двигателей можно поступить еще по другому способу, примѣненному фирмой Сименсъ—Шукертъ. Именно отдѣльныя проволоки якорной обмотки при пускѣ въ ходъ можно такъ соединить между собою, что токъ, индуктируемый въ нихъ, будетъ противоположно направленъ, а, значитъ, вообще токъ въ якорѣ будетъ очень слабъ; такимъ образомъ, достигается то же,

что и при помощи введеннаго въ якорную обмотку сопротивленія. Подобный двигатель быстро приводится въ дѣйствіе. Какъ только онъ достигаетъ извѣстной скорости, автоматически возстановливается обычное соединеніе якорной обмотки. На черт. 507 изображенъ трехфазный двигатель съ такимъ встрѣчнымъ включеніемъ, а на черт. 508 отдѣльно якорь, въ которомъ имѣется при-

Черт. 507.



Черт. 508.



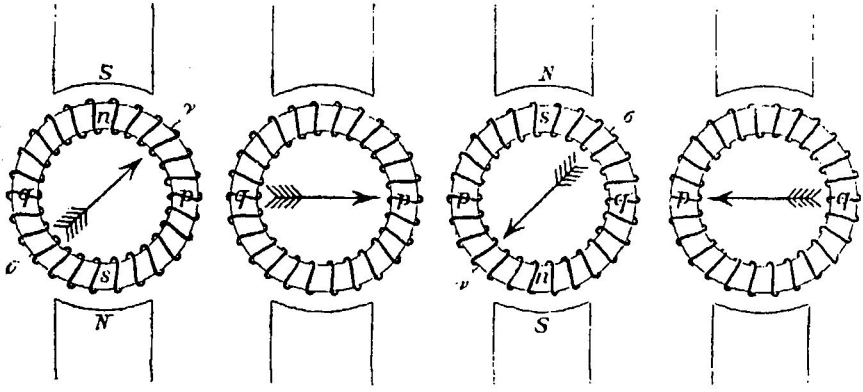
способленіе для автоматическаго переключенія обмотки, послѣ достиженія якоремъ нормальной скорости. Эти двигатели имѣютъ то преимущество, что не требуютъ реостата для пусканія ихъ въ ходъ.

Само собою понятно, что индукціонные двигатели можно приводить въ движеніе какъ тремя трехфазными, такъ и двумя двухфазными токами.

Изобрѣтеніе и практическое осуществленіе многофазныхъ двигателей указало путь и къ конструированію двигателей, работающихъ отъ простого (однофазнаго) перемѣннаго тока. Дѣйствіе этихъ однофазныхъ двигателей на первый взглядъ кажется непонятнымъ; однако по ближайшемъ разсмотрѣніи оно оказывается легко объяснимымъ. У описываемыхъ двигателей подобно тому, какъ и у трехфазныхъ, перемѣнный токъ подводится только въ обмотку неподвижнаго кольца, въ то время какъ подвижной якорь снабженъ проволочной обмоткой (или стержнями), замкнутой коротко на себя. Такимъ образомъ, однофазные двигатели отличаются только тѣмъ отъ трехфазныхъ, что въ первыхъ повидимому нѣтъ вращающагося магнитнаго поля. Въ двигателяхъ многофазныхъ причиною вращенія якоря является вращающееся магнитное поле. Почему же вращаются двигатели однофазные? Въ дѣйствительности эти двигатели сами собой и не приходятъ во вращеніе. Но если имъ сообщена предварительно какимъ-либо искусственнымъ способомъ достаточная скорость вращенія, они дальше продолжаютъ вращаться сами собой и могутъ при этомъ совершать работу. Какъ сообщать якорю двигателя начальное вращеніе,—мы скажемъ дальше. Теперь же разсмотримъ вопросъ, какимъ образомъ якорь, снабженный коротко замкнутой обмоткой, будучи разъ приведенъ во вращеніе, продолжаетъ дальше вращаться въ простомъ перемѣнномъ магнитномъ полѣ. Основаніе этому то же, что и для сдвига въ грам-

мовскомъ кольцѣ, по направленію вращенія, точекъ безразличія, въ которыхъ къ коллектору присоединяются щетки (стр. 435). Если граммовское желѣзное кольцо съ проволочной обмоткой помѣстить между двумя полюсами S и N, какъ на черт. 509, и вращать направо, то мы знаемъ, что возникающій въ кольцѣ токъ стремится по правилу Ампера возбудить въ желѣзномъ кольцѣ магнитные полюса въ точкахъ p и q, въ то время какъ подъ вліяніемъ непосредственнаго дѣйствія индукторовъ образуются магнитные полюса n и s. Въ результатѣ отъ сложенія этихъ двухъ дѣйствій получаются полюса ν и σ, и магнитная ось имѣетъ направленіе стрѣлки $\nu\sigma$. Когда же магнитные полюсы—N и S возбуждаются не постояннымъ токомъ, но токомъ перемѣннымъ, то южный магнитизмъ верхняго полюса по достиженіи наибольшей величины начнетъ постепенно уменьшаться, станетъ равнымъ нулю и затѣмъ измѣнится на сѣверный магнитизмъ. Обратное

Черт. 509.

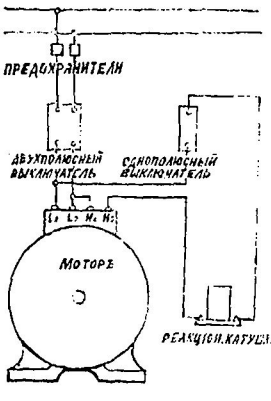


произойдетъ съ нижнимъ полюсомъ. Соотвѣтственнымъ образомъ и полюса n и s на желѣзномъ кольцѣ будутъ ослабѣвать, пройдутъ черезъ нуль, перемѣнятся на s и n, но всегда дѣйствуютъ въ направленіи ns или sn. Съ другой стороны магнитизмъ, возбуждаемый при движеніи якоря его обмоткой, всегда имѣетъ направленіе pq и достигаетъ своего максимума въ тотъ моментъ, когда въ неподвижныхъ магнитахъ сѣверный полюсъ превращается въ южный (или наоборотъ). Въ этотъ моментъ индуктированные токи сильнѣе всего. Отъ сложенія этихъ двухъ силъ въ кольцѣ образуются полюса, не остающіеся на мѣстѣ, но передвигающіеся вдоль кольца. На первомъ чертежѣ эти полюса показаны въ точкахъ $\nu\sigma$, на второмъ—въ точкахъ pq, причемъ магнитная ось оказывается повернувшеюся. На третьемъ и четвертомъ чертежахъ показано дальнѣйшее передвиженіе полюсовъ вдоль кольца; однимъ словомъ, въ кольцѣ образуется вращающееся магнитное поле точно такъ же, какъ и при многофазномъ токѣ. По этой причинѣ

якорь, разъ приведенный во вращеніе, продолжаетъ дальше вращаться и постоянно, даже когда совершаетъ работу, стремится приблизиться къ синхронизму, не достигая его вполнѣ.

Итакъ, остается только сообщить однофазному двигателю начальное вращеніе—тронуть его съ мѣста; дальше онъ будетъ продолжать движеніе самъ собой. Простѣйшій способъ для этого заключается въ томъ, чтобы двигатель работалъ вначалѣ, какъ многофазный. Съ этою цѣлью, помимо главной обмотки присоединяютъ въ неподвижной части мотора еще вспомогательную обмотку. Къ этой вспомогательной обмоткѣ извнѣ присоединяется катушка, обладающая очень большою самоиндукціей; благодаря этому обѣ обмотки мотора, будучи включенными въ цѣпь, пропускаютъ перемѣнные токи не въ одинаковой фазѣ. Большой коэффиціентъ самоиндукціи одной изъ обмотокъ вноситъ смѣщеніе фазъ. Вслѣдствіе этого якорь, какъ во всякомъ двухфазномъ двигателѣ, приходитъ во вращеніе. Когда якорь достигъ нужной скорости, выключаютъ простымъ выключателемъ вспомогательную обмотку, и моторъ работаетъ, какъ однофазный.

Черт. 510.



Черт. 510 изображаетъ схему подобнаго включенія: отъ обѣихъ магистралей, приводящихъ перемѣнный токъ, которыя изображены наверху, идутъ два провода (черезъ предохранители и выключатель) къ зажимамъ L_1 и L_2 главной обмотки мотора.

Параллельно току этой главной обмотки отвѣтвляется токъ, идущій черезъ выключатель и реактивную катушку къ зажимамъ H_1H_2 и отсюда во вспомогательную обмотку. Когда достигнута нормальная скорость, размыкаютъ рубильникъ вспомогательной цѣпи, и моторъ продолжаетъ движеніе самъ по себѣ.

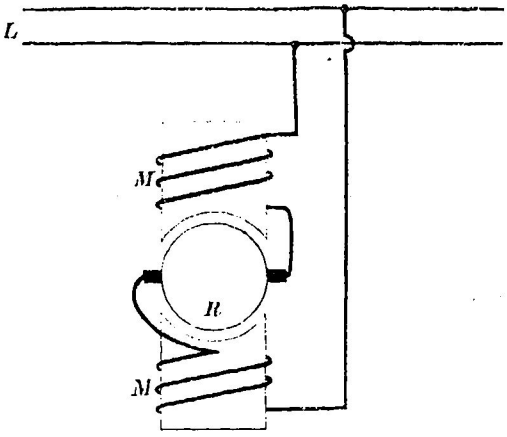
Но все-таки однофазный индукціонный двигатель примѣняется только по необходимости. Въ дѣйствительности такой однофазный моторъ можетъ пойти только, когда онъ почти ненагруженъ. Искусственными способами можно, правда, вызвать въ немъ смѣщеніе фазъ, но не настолько большое, чтобы моторъ могъ тронуться съ мѣста, какъ двигатель трехфазнаго тока, при всякой нагрузкѣ.

Но обыкновенный перемѣнный токъ во всякомъ случаѣ проще трехфазнаго, хотя бы уже потому, что для него достаточно двухъ проводовъ вмѣсто трехъ, и будь въ нашемъ распоряженіи хорошій однофазный моторъ, простому перемѣнному току безусловно отдавалось бы предпочтеніе передъ трехфазнымъ, напримѣръ, при устройствѣ электрическихъ нормальныхъ желѣзныхъ дорогъ (подъ этимъ

подразумѣваются обыкновенныя желѣзныя дороги дальняго слѣдованія, обслуживаемыя до сихъ поръ локомотивами, въ отличіе отъ городскихъ трамваевъ). Поэтому техника опять взялась за разрѣшеніе проблемы однофазнаго двигателя и достигла въ этомъ отношеніи большихъ успѣховъ.

Вышеописанный однофазный двигатель — индукціонный, какъ и трехфазный двигатель. Но собственно можно, по крайней мѣрѣ въ принципѣ, пользоваться, какъ двигателемъ перемѣннаго тока, каждой обыкновенной машиной постояннаго тока, если только она съ послѣдовательнымъ соединеніемъ (якорь, магниты и внѣшняя цѣпь включены послѣдовательно). На черт. 511 изображена схема такой машины съ обоими магнитными сердечниками M и кольцомъ R со щетками. Машина получаетъ токъ съ двухъ проводовъ L. Если по этимъ проводамъ пропустить перемѣнный токъ и пустить его въ машину, то произойдетъ слѣдующее. При перемѣнѣ направленія тока токъ въ магнитахъ и въ якорѣ одновременно мѣняетъ свое направленіе, и потому направленіе вращенія якоря остается прежнимъ. Такимъ образомъ обыкновенная машина постояннаго тока, питаемая перемѣннымъ токомъ, можетъ итти, какъ моторъ. Только, конечно, желѣзо магнита нужно при этомъ раздѣлить на пластинки и присоединить сюда приспособленія, съ помощью которыхъ устранялось бы образованіе искръ на коллекторѣ. Искры получаются вслѣдствіе образованія экстратоковъ, и здѣсь онѣ бываютъ особенно сильными. Возможность примѣненія такихъ моторовъ всецѣло зависитъ отъ того, удастся ли уменьшить или устранить это искрообразованіе. Въ послѣднее время начали дѣйствительно строить по этому принципу однофазные двигатели; ихъ называютъ однофазными двигателями съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ. Образованіе искръ и въ этомъ случаѣ очень хорошо устраняется при помощи компенсаціонныхъ полюсовъ, о чемъ уже была рѣчь въ главѣ од инамомашинахъ, стр. 442.

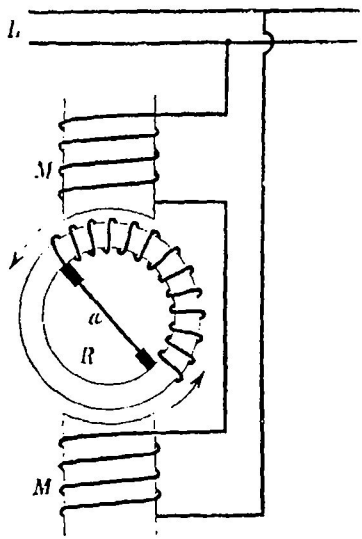
Черт. 511.



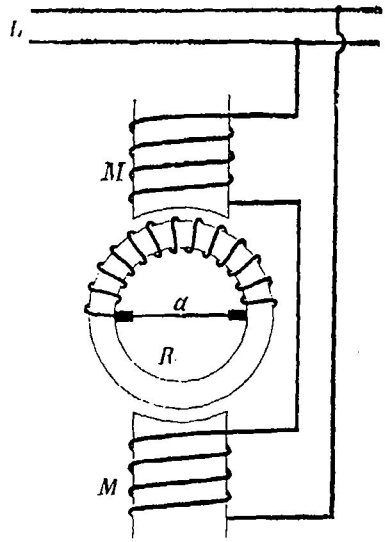
Можно еще иначе примѣнить машину постояннаго тока въ качествѣ однофазнаго двигателя. А именно стоитъ только смѣстить щетки якоря на 45° отъ нормальнаго ихъ положенія и соединить ихъ непосредственно короткой проволокой, коротко замкнуть, и мы

получимъ однофазный моторъ, который пойдетъ самъ по себѣ и будетъ развивать извѣстное усиліе. На черт. 512 изображена схема такого устройства. Магниты MM получаютъ перемѣнный токъ изъ про-

Черт. 512.

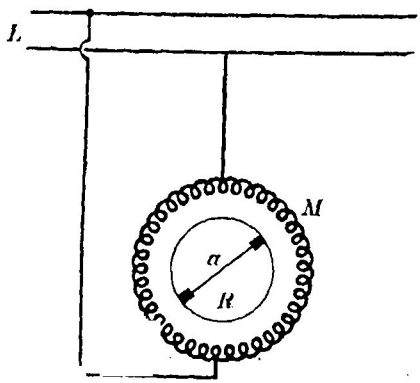


Черт. 513.



вода L, щетки якоря смѣщены на 45° отъ нормальнаго положенія и коротко замкнуты проволокой a. Перемѣнные токи въ магнитахъ индуктируютъ токъ въ проволокахъ кольца: при этомъ токи, возникающіе въ проволокахъ, расположенныхъ подъ магнитными полюсами, имѣютъ такое направленіе, что вся половина кольца стремится расположиться симметрично подъ соотвѣтственнымъ полюсомъ. Поэтому, если щетки расположены нормально, т. е. перпендикулярно къ полюсамъ (черт. 513), то обмотки, находящіяся предъ каждымъ полюсомъ, будутъ находиться подъ симметричной индукціей, и якорь останется въ покоѣ. Если же щетки расположены косо, какъ на черт. 512, то дѣйствіе индукціи, испытываемой витками якоря, несимметрично относительно полюса, и якорь вращается такъ, чтобы эти витки подошли возможно ближе подъ полюсные наконечники. Такимъ образомъ моторъ приведенъ въ дѣйствіе. Такъ какъ щетки все время остаются на томъ же мѣстѣ, якорь все время продолжаетъ вращаться. Такого рода двига-

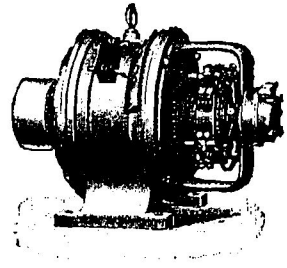
Черт. 514.



тели перемѣннаго тока называются репульсіонными. Вмѣсто того, чтобы брать въ качествѣ индукторовъ два выступающіе магнитные полюса, можно получить поле посредствомъ желѣзнаго цилиндрическаго кольца, вокругъ котораго равномѣрно намотана проволока (черт. 514), получающая перемѣнный токъ отъ обѣихъ магистралей. Тогда обѣ половины обмотки внѣшняго кольца возбуждаютъ все же магнитное поле, ось котораго направлена на чертежѣ вертикально, между тѣмъ какъ щетки въ кольцѣ R расположены косо.

Однофазные двигатели обоего рода, которые называютъ также коллекторными двигателями, все болѣе и болѣе совершенствуются различными большими электротехническими заводами; посредствомъ нихъ простой перемѣнный токъ можетъ быть использованъ такъ же, какъ до сихъ поръ пользовались трехфазнымъ токомъ. Черт. 515 изображаетъ маленькій репульсіонный моторъ фирмы Сименсъ-Шукерта.

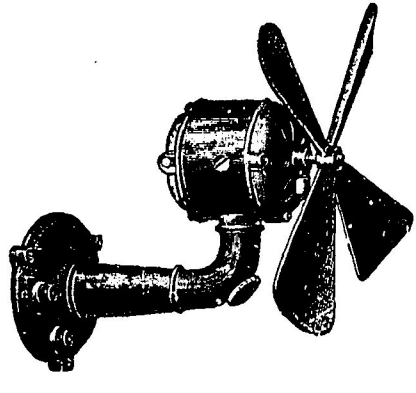
Черт. 515.



Однако изъ всѣхъ моторовъ до сихъ поръ наилучшимъ для всѣхъ почти цѣлей является двигатель трехфазнаго тока. Онъ не только выгоднѣе однофазнаго мотора перемѣннаго тока, но во многихъ отношеніяхъ превосходитъ моторъ постояннаго тока; онъ меньше, дешевле, удобнѣе въ обращеніи, не требуетъ ухода, легче приспособляется къ потребностямъ практики. Моторъ трехфазнаго тока—почти идеальный моторъ.

Поле примѣненій различныхъ электродвигателей постояннаго, трехфазнаго и перемѣннаго токовъ, конечно, весьма обширно. Они примѣнимы вездѣ, гдѣ имѣется источникъ электричества съ постояннымъ напряженіемъ, а, слѣдовательно, особенно въ случаяхъ распредѣленія электрическаго тока отъ центральной станціи по частнымъ домамъ и мастерскимъ.

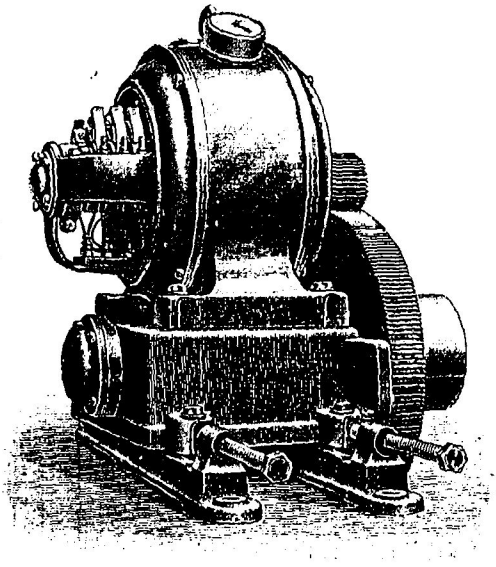
Черт. 516.



Обыкновенно моторы, а особенно малосильные, обладаютъ большою скоростью вращенія. Чтобы соединить подобный моторъ съ рабочей машиной имѣется много средствъ. Если рабочая машина сама должна быстро вращаться, то проще всего моторъ прямо насадить на валъ машины; такъ строятся, напримѣръ, электрическіе вентиляторы—крылья

вентилятора прямо насаживаются на валъ мотора. Черт. 516 изображаетъ подобный стѣнной вентиляторъ съ двигателемъ трехфазнаго тока фирмы Сименсъ-Шукертъ. Потребляя 60 ваттъ, т. е. меньше $^1/_{10}$ лошадиной силы, онъ гонитъ 1.800 куб. метровъ въ 1 часъ.

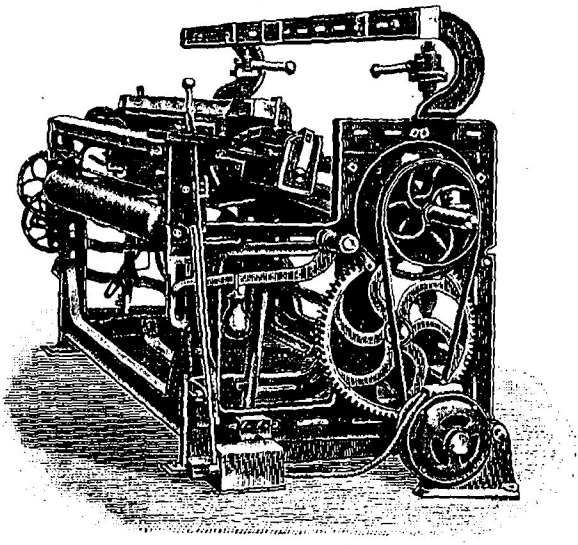
Черт. 517.



Точно также центрифуги прямо соединяются съ валомъ мотора.

Иногда вращеніе мотора передается рабочему механизму помощью системы зубчатыхъ колесъ. Подобное очень удобное приспособленіе изображено на черт. 517. Здѣсь колеса установлены прямо на моторѣ. Трехфазный двигатель помѣщается на плитѣ, которая несетъ передачу. Какъ валъ мотора, такъ и валъ передачи движутся въ шаровыхъ подшипникахъ. Часто посредствомъ такой передачи быстро вращающіеся электромоторы приводятъ въ движеніе машины, вращающіяся медленнѣе.

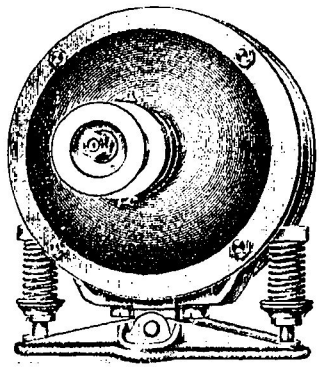
Черт. 518.



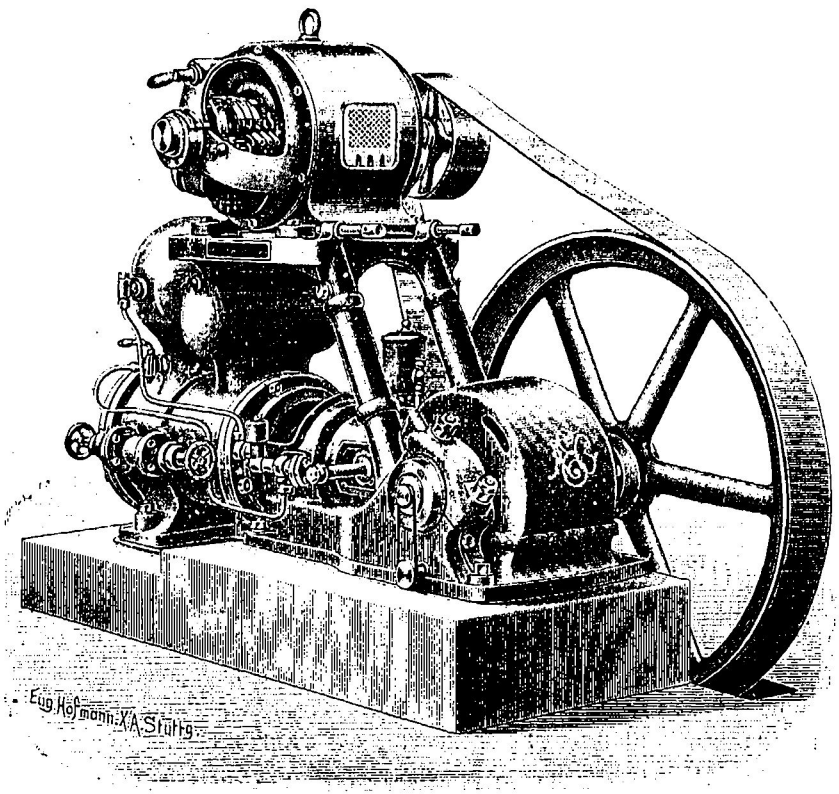
Но чаще всего электродвигатель соединяется съ рабочимъ механизмомъ при помощи ремня или шнура. Такъ на черт. 518 изображенъ ткацкій станокъ. Направо внизу маленькій моторъ трехфазнаго тока. На прядильныхъ фабрикахъ употребляютъ обыкновенно закрытые моторы съ ременной передачей, установленные на пружинныхъ рессорахъ, какъ напримѣръ, небольшой моторъ для ткацкаго станка фирмы Бергмана на черт. 519.

Что касается электрическихъ насосовъ, то электродвигатели присоединялись непосредственно лишь къ центрифугальнымъ насосамъ, какъ двигатели, обладающіе слишкомъ большимъ числомъ оборотовъ. Однако новые быстроходные, поршневые насосы позволяютъ также непосредственное соединеніе съ электродвигателемъ. Черт. 520 изображаетъ насосъ съ двигателемъ фирмы A. E. G., въ которомъ моторъ, находящійся наверху, приводитъ въ движеніе насосъ посредствомъ ремня.

Черт. 519.



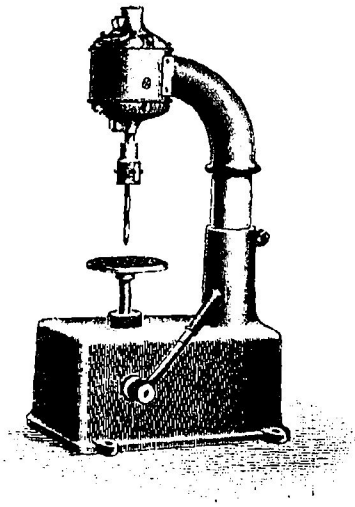
Черт. 520.



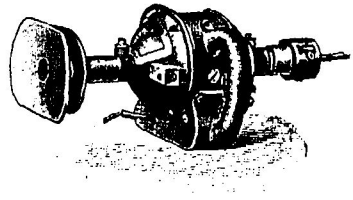
Въ сверлильныхъ и шлифовальныхъ машинахъ сверлильный и шлифовальный аппаратъ часто соединяютъ непосредственно съ двигателемъ. Такъ черт. 521 изображаетъ столовую сверлильную машину фирмы Сименсъ-Шукертъ. Черт. 522 изображаетъ ручную

сверлильную машину, которая устроена такъ, что на нагрудный щитъ можетъ наматываться проводящій шнуръ, а подъ ручкой находится нажимной выключатель для включенія и выключенія двигателя.

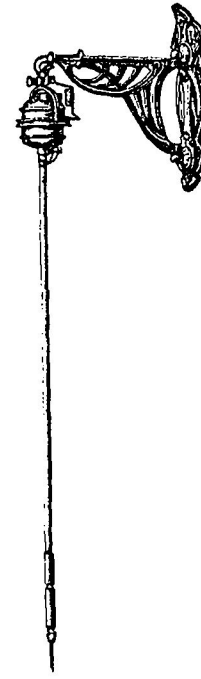
Черт. 521.



Черт. 522.



Черт. 523.



Кромѣ того очень употребительны такъ называемые гибкіе валы (черт. 523). Подобнымъ гибкимъ валомъ очень удобно пользоваться для приведенія помощью моторовъ въ движеніе сверлъ, фрезеръ и другихъ инструментовъ. Зубные врачи употребляютъ такого рода маленькія сверла.

Часто къ электромотору должны быть присоединяемы особыя приспособленія, тогда, напримѣръ, когда онъ долженъ работать съ перемѣнною скоростью. Послѣднее же бываетъ необходимо для многихъ рабочихъ машинъ, для токарныхъ станковъ, шлифовальныхъ и сверлильныхъ машинъ, для долбежныхъ станковъ, на бумажныхъ фабрикахъ, въ типографіяхъ, ткацкихъ фабрикахъ и т. д. Необходимыя измѣненія скорости производятся въ машинѣ постояннаго тока посредствомъ шунтового регулятора; при этомъ необходимо избѣгать образованія искръ на коллекторѣ, что достигается соотвѣтственнымъ образомъ, напр., посредствомъ компенсаціонныхъ (добавочныхъ) полюсовъ (см. выше стр. 442).

Очень выгодно примѣненіе электродвигателей на большихъ заводахъ, взамѣнъ большихъ сложныхъ трансмиссій, поглощающихъ непроизводительно много энергіи. Вмѣсто того, чтобы передавать ремнемъ движеніе отъ паровой машины главному общему валу и отъ него далѣе вторымъ и третьимъ валамъ, гораздо выгоднѣе приводить въ движеніе отдѣльнымъ электродвигателемъ каждый рабочій механизмъ или группу близко расположенныхъ механизмовъ. Въ послѣднемъ случаѣ сила доставляется по очень удобно проводимымъ проволокамъ вмѣсто неудобной и непроизводительно поглощающей энергію ременной передачи.

Подобнымъ же образомъ электродвигатели легко и очень цѣлесообразно примѣняются для цѣлаго ряда механизмовъ на военныхъ и торговыхъ судахъ.

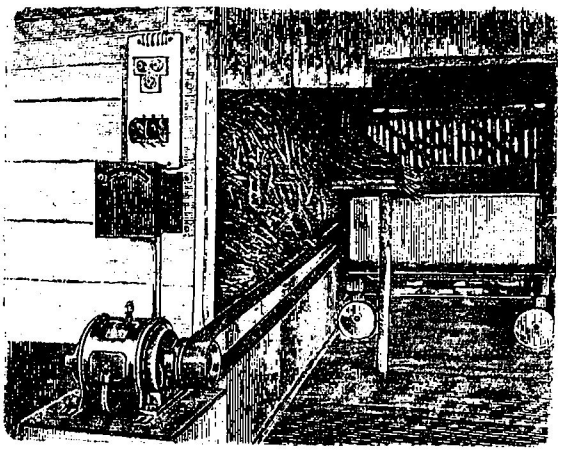
Очень широкое распространеніе получили электродвигатели въ подъемныхъ машинахъ для людей и для грузовъ. Стоимость работы электрической подъемной машины, когда въ зданіе уже проведено электричество, дешевле въ 5—10 разъ, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда подъемная машина приводится въ дѣйствіе газовымъ двигателемъ или водою изъ водопроводной сѣти. Выгода эта происходитъ отъ того, что электродвигатель работаетъ только тогда, когда подъемная машина въ дѣйствіи, и кромѣ того онъ потребляетъ какъ разъ столько энергіи, сколько требуетъ поднимаемый грузъ. Электрическія подъемныя машины конструируются такимъ образомъ, что электродвигатель помѣщается въ подвалѣ или же на чердакѣ близъ колодца, въ которомъ движется кабина, подвѣшенная на канатѣ. Электродвигатель наматываетъ этотъ канатъ на барабанъ или же сматываетъ съ него, смотря по тому, подымается или опускается кабина. Необходимо, конечно, чтобы было приспособленіе, позволяющее лицу, находящемуся внутри подъемника, слѣдить за работой двигателя и направлять подъемникъ по желанію вверхъ и внизъ. Эти приборы для управленія подъемною машиною устраиваются въ настоящее время такъ, что достаточно простого нажатія кнопки, все равно снаружи или извнутри, изъ самой кабины, чтобы привести ее въ движеніе, причемъ машина сама по себѣ плавно останавливается въ желаемомъ этажѣ. Благодаря этому во многихъ случаяхъ можно обойтись безъ служебнаго персонала для подъемной машины. Въ настоящее время очень развилось примѣненіе электродвигателей и для заводскихъ подъемныхъ крановъ, а также для судовыхъ крановъ.

Преимущества электродвигателей заключаются въ ихъ постоянной готовности къ дѣйствію, въ ихъ безопасности, малости пространства, которое они занимаютъ, въ дешевизнѣ ихъ установки сравнительно съ дорогою установкою небольшого газоваго или парового двигателей, и, наконецъ, въ томъ, что энергія, потребляемая ими, прямо

зависитъ отъ совершаемой ими работы. Дѣйствительно, такъ какъ напряженіе у зажимовъ двигателя постоянно, то его работоспособность зависитъ лишь отъ силы тока, которая будетъ больше или меньше въ зависимости отъ совершаемой работы. Потребляемый токъ, величина котораго отмѣчается счетчикомъ (см. главу IX) и оплачивается согласно какому-нибудь условію, опредѣляетъ стоимость дѣйствія двигателя.

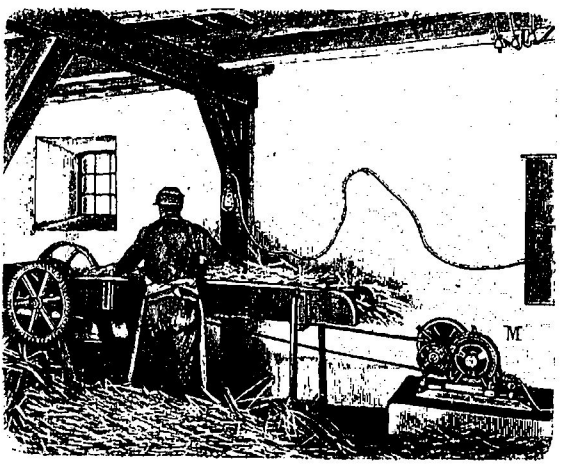
Существенное значеніе пріобрѣтаютъ электродвигатели въ горномъ дѣлѣ, благодаря своей безопасности и легкости, съ которою прокладываются провода къ двигателямъ. Тутъ двигатели приводятъ въ дѣйствіе насосы, буры, вентиляторы, а также подъемныя машины.

Черт. 524.



Электричество нашло себѣ уже очень большую область примѣненія и въ сельскомъ хозяйствѣ, гдѣ условія для пользованія машинами крайне неблагопріятны. Не говоря уже объ электрическомъ освѣщеніи для усадьбъ, конторъ, помѣщеній для скота, не говоря уже объ этомъ комфортѣ, дешевомъ и въ прежнее время невозможномъ, въ болѣе или менѣе крупныхъ имѣніяхъ электричество оказалось въ высшей степени пригоднымъ, какъ источникъ работы. Электромоторами приводятся въ движеніе молотилки, маслобойныя машины, соломорѣзки, дробилки, насосы, машины для рѣзки свеклы и т. д. На черт. 524 изображена молотилка, а на черт. 525 соломорѣзка, приводимыя въ движеніе небольшимъ моторомъ трехфазнаго тока. Въ сельскомъ хозяйствѣ, гдѣ мы имѣемъ дѣло съ большими

Черт. 525.



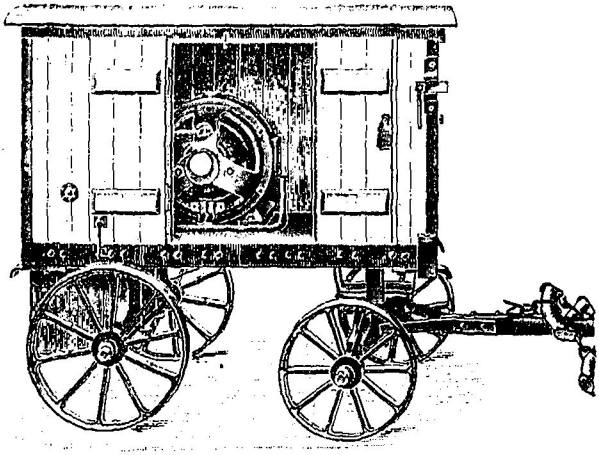
площадями, обыкновенно примѣняется благодаря дешевизнѣ своей проводки трехфазный токъ высокаго напряженія. Динамомашина трехфазнаго тока приводится при этомъ въ движеніе удобнѣе всего водяной силой, гдѣ она есть; въ противномъ случаѣ ставятся паровыя машины или локомобили. Во многихъ случаяхъ оказывается очень выгоднымъ дѣлать общую генераторную установку для нѣсколькихъ сосѣднихъ имѣній. Если генераторъ трехфазнаго тока получаетъ возбужденіе отъ машины постояннаго тока, то послѣднюю цѣлесообразно взять большей, чѣмъ это необходимо для одного только возбужденія; это дѣлается для того, чтобы можно было посредствомъ нея зарядить также и аккумуляторы, которые затѣмъ служатъ для освѣщенія жилыхъ помѣщеній по ночамъ, когда машина трехфазнаго тока не работаетъ. Трансформированіе трехфазнаго тока высокаго напряженія для отдѣльныхъ двигателей производится посредствомъ переносныхъ трансформаторовъ, устанавливаемыхъ прямо въ открытомъ полѣ, гдѣ они нужны. Такимъ образомъ можно приводить въ движеніе электромоторы, устанавливаемые прямо въ полѣ, и пользоваться ими, напримѣръ, для паханія, для косьбы. Маленькіе двигатели для многихъ вышеназванныхъ мелкихъ работъ устраиваютъ такъ, что ихъ можно легко переносить съ одного мѣста на другое, напримѣръ, по различнымъ этажамъ амбара. На черт. 526 изображена переноска такого мотора. Эти переносные моторы снабжаются проводомъ со штепселемъ, посредствомъ котораго они присоединяются къ существующей проводкѣ, совсѣмъ такъ, какъ это было описано для лампъ накаливанія (стр. 573). На изображенномъ моторѣ виденъ и соединительный проводъ. Примѣненіе электричества для этой работы гораздо выгоднѣе, чѣмъ пользованіе локомобилями, оно выгодно даже и для такихъ маленькихъ машинъ, которыя прежде приводились въ движеніе воротомъ съ коннымъ приводомъ. Фирма A. E. G. сконструировала особенную телѣжку съ электрическимъ двигателемъ, помощью котораго приводится въ движеніе молотилка. Эта телѣжка изображена на черт. 527. Въ средней части находится электромоторъ, сзади приборъ для пуска въ ходъ двигателя и инструменты, въ передней части—соединительный кабель длиною въ 50 метровъ. Во время работы телѣжка вообще вся закрыта, выступаетъ наружу лишь шкивъ для ремня электромотора, который соединяется съ молотилкой, а сзади—ручное колесо, посредствомъ ко-

Черт. 526.



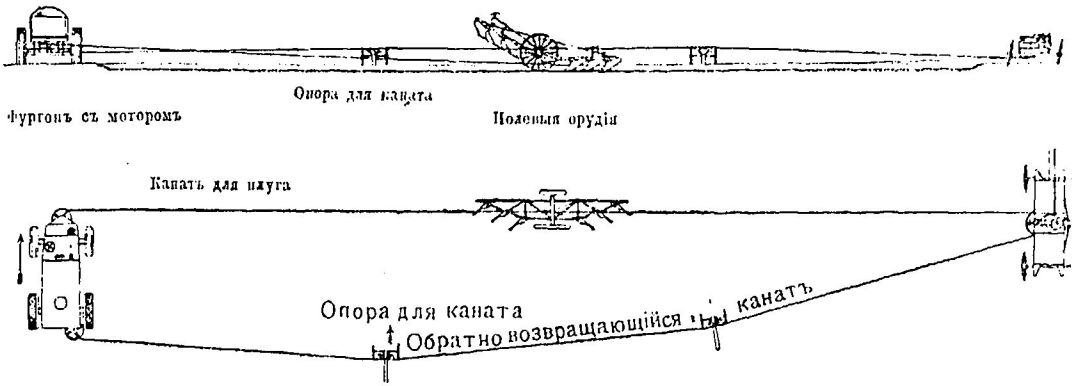
тораго включается и выключается токъ. Дышло телѣжки устроено такъ, что можетъ подниматься, и служитъ для укрѣпленія кабеля, а вмѣстѣ съ тѣмъ иногда и для укрѣпленія электрической лампы при работѣ въ темнотѣ. Такъ какъ деревенскіе работники незнакомы съ основами ученія объ электричествѣ и неопытны въ этомъ отношеніи, то всѣ включенія выполняются такъ, что почти невозможно сдѣлать ихъ невѣрно, и даже, если они произведены невѣрно, этимъ не причиняется никакого вреда. Во всей конструкціи уже имѣется въ виду не очень осторожное обращеніе.

Черт. 527.



По такому же типу, согласованному съ требованіями практики, устраиваются и электрическіе плуги, преимуществомъ которыхъ въ сравненіи съ паровыми является то, что съ ними легче обращаться, а также и то, что имъ не нужно доставлять ни угля, ни воды. Фирмы A. E. G. и Сименсъ-Шукертъ разработали до самыхъ мелочей примѣненіе электрическаго плуга.

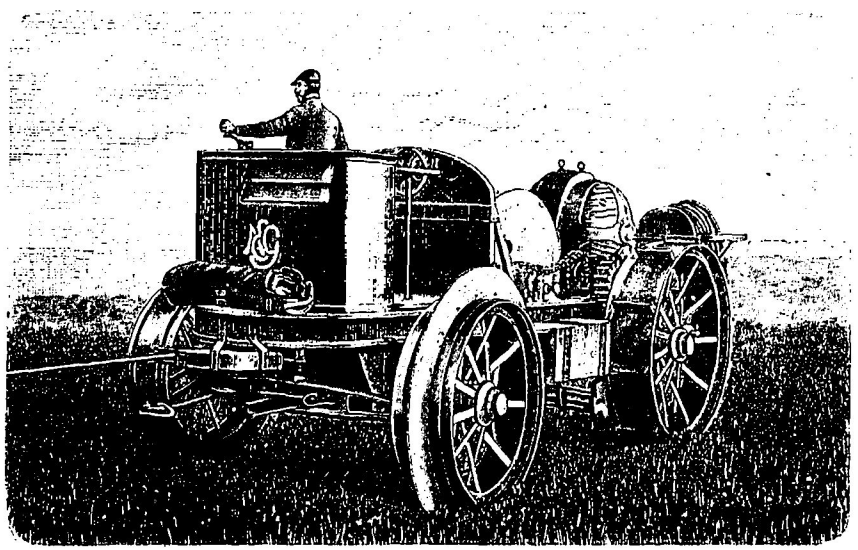
Такъ какъ именно примѣненіе электричества для паханія является одной изъ самыхъ трудныхъ задачъ электротехники, то мы можемъ нѣсколько ближе разсмотрѣть необходимыя для этого приспособленія въ той формѣ, въ какой выполняетъ ихъ A. E. G. Прежде всего ясно, что паханье посредствомъ машинъ годится только для большихъ площадей, но зато тамъ оно тѣмъ выгоднѣй, что достигается въ высшей степени большая экономія во времени и въ рабочей силѣ. Электрическій токъ, приводящій въ дѣйствіе плугъ, получается или изъ особой установки, или же можетъ въ настоящее время во многихъ уже случаяхъ доставляться отъ областной станціи, передающей токъ на большое разстояніе; о такой станціи мы будемъ говорить въ главѣ VIII-ой. Потребленіе электрической энергіи довольно велико. Электрическіе плуги строятся величиной отъ 38 до 72 лошадиныхъ силъ, соотвѣтственно велика должна быть и доставляемая электрическая энергія. Плугъ передвигается взадъ и впередъ вдоль каната между телѣжкой съ двигателемъ и особою противостоящею (упорной) телѣжкою, которыя могутъ отстоять другъ отъ друга на 400 метровъ; при этомъ онъ производитъ свою работу. Черт. 528 изображаетъ общее



Черт. 528.

расположеніе отдѣльныхъ частей въ такомъ оборудованіи. Между телѣжками протягивается канатъ, перекинутый чрезъ блокъ въ упорной телѣжкѣ и возвращающійся къ двигателю, поддерживаемый стойками. Электромоторъ, находящійся въ моторной телѣжкѣ (черт. 529), вращаетъ барабаны, посредствомъ которыхъ движется канатъ. Моторъ

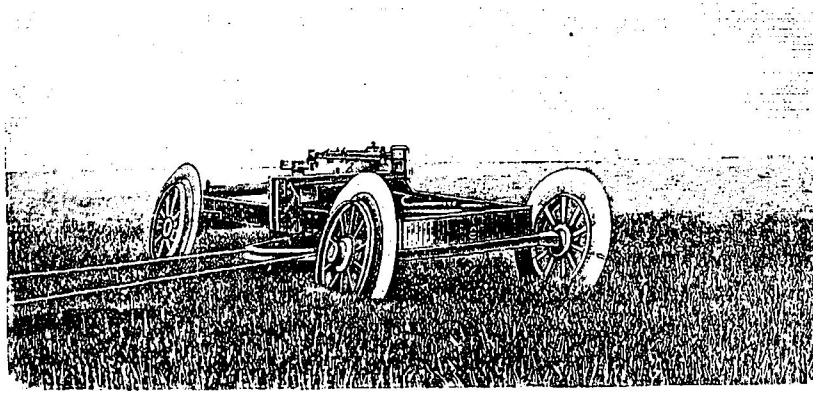
Черт 529.



можно, кромѣ того, заставить дѣйствовать на заднія колеса телѣжки посредствомъ перекладыванія сцѣпленій; такимъ образомъ, телѣжка сама передвигается передъ началомъ и по окончаніи обработки даннаго участка, со всѣми своими принадлежностями. Канатъ проходитъ по блоку упорной телѣжки черт. 530, колеса которой снабжаются особыми бандажами, вслѣдствіе чего она крѣпко удерживается на

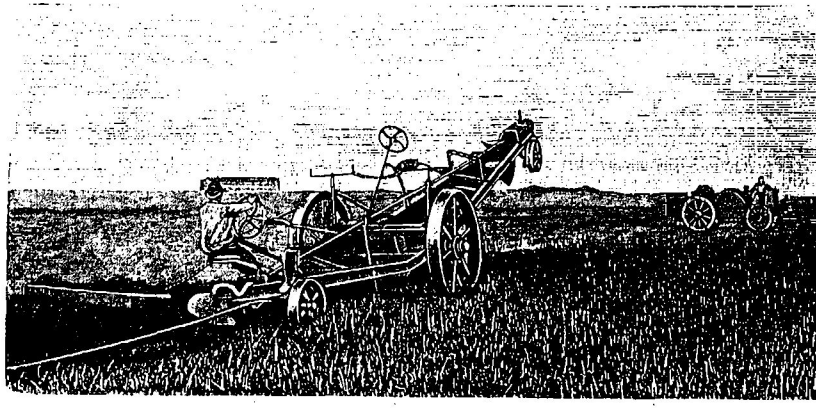
землѣ, когда плугъ передвигается отъ нея къ моторной телѣжкѣ и обратно. Къ канату прикрѣплена система плуговъ, которая можетъ работать каждой изъ своихъ двухъ сторонъ, и которая передвигается при помощи каната отъ телѣжки съ моторомъ къ упорной и обратно. Въ первомъ случаѣ вся тяга прикладывается къ послѣдней, кото-

Черт. 530.



рая поэтому должна быть прочно укрѣплена на землѣ; въ послѣднемъ же случаѣ, наоборотъ, тяга дѣйствуетъ, главнымъ образомъ, прямо на плуги, упорная телѣжка оказывается разгруженною и, вслѣдствіе вращенія блока, подвигается впередъ на разстояніе, которое можно установить заранѣе, смотря по надобности. Стойки для каната, наконецъ,

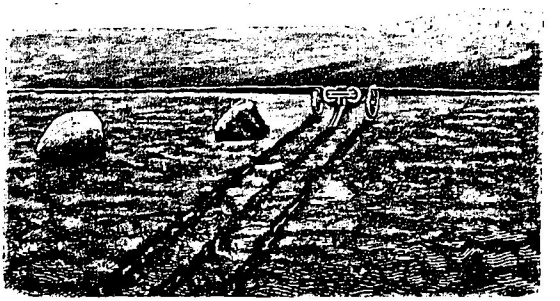
Черт. 531.



(черт. 532), которыя доставляютъ обратно канатъ, передвигаются также самостоятельно дальше, такъ что можно быстро вспахать большую площадь, безъ участія большого числа рабочихъ (отъ 2 до 4 человѣкъ, смотря по величинѣ машинъ). Работоспособность такого электрическаго плуга выражается, смотря по величинѣ установки, 10—40 деся-

тинами въ день. Съ чисто экономической точки зрѣнія работа электрическаго плуга въ большинствѣ случаевъ дешевле парового и дешевле, чѣмъ работа при помощи лошадей. Нужно ожидать, что въ земледѣліи электричество все больше и больше будетъ примѣняться для паханія, чего, однако, до настоящаго времени еще не достигли въ достаточной степени.

Черт. 532.



Весьма цѣннымъ при пользованіи электрической энергіей въ промышленности является то, что она позволяетъ удобно приспособить маленькіе двигатели, меньше $^1/_2$ лош. силы, и легко пользоваться ими. Механическая работа малой величины—это какъ разъ то, чего недоставало мелкой промышленности; этотъ недостатокъ заставилъ ее уступить въ борьбѣ съ крупными производствами. При пользованіи электрическимъ токомъ, производимымъ на центральной станціи и передаваемымъ во всѣ мѣста, мелкій промышленникъ можетъ имѣть двигатели уже отъ $^1/_{16}$ лош. силы, доставляющіе работу дешево и потребляющіе электричество пропорціонально совершаемой ими работѣ.

Электрическое распредѣленіе работы важно, значитъ, по своему государственному и соціальному значенію. Электрическій токъ вырабатывается на большой центральной станціи посредствомъ механическаго двигателя, или силы паденія воды и при помощи его энергія распредѣляется во многія мѣста. Технически необходимо, чтобы это распредѣленіе было такъ выполнено, чтобы ни одинъ изъ двигателей не мѣшалъ другимъ, т. е., напр., если одинъ изъ нихъ остановленъ, дѣйствіе другихъ не пострадало бы отъ этого, и они продолжали бы работать съ прежнею отдачею. Эта задача вполнѣ подобна той, какая является при установкѣ освѣщенія цѣлой части города лампами накаливанія. И въ этомъ случаѣ необходимо сдѣлать лампы независимыми другъ отъ друга, чтобы можно было погасить заразъ 100—1000 лампъ, не причиняя вреда горѣнію остальныхъ. Эта задача разрѣшена тѣмъ, что всѣ лампы включаются параллельно и динамомашины, дающія весь токъ, регулируются такъ, чтобы въ проводахъ, между которыми включены лампы, всегда было постоянное напряженіе.

Совершенно подобно этому рѣшеніе, которое принято вездѣ въ вопросахъ о полученіи работы посредствомъ электричества.

При распредѣленіи энергіи всѣ электродвигатели, которые должны производить работу въ различныхъ мѣстахъ, включаются параллельно въ цѣпь тока, идущаго отъ центральной станціи.

Величина работы, которую можетъ произвести за 1 сек. каждый отдѣльный двигатѣль (при постоянномъ токѣ), равна произведенію напряженія у его зажимовъ на силу тока, который проходитъ по нему. Сила тока въ каждомъ изъ включенныхъ параллельно электродвигателей зависитъ, при постоянномъ напряженіи у его зажимовъ, лишь отъ работы, совершаемой двигателемъ. Итакъ, если можно достичь того, чтобы напряженіе у зажимовъ каждаго двигателя было постоянно, независимо отъ того, что происходитъ въ остальной цѣпи, тогда каждый двигатель окажется вполнѣ независимымъ отъ остальныхъ. Такимъ образомъ, единственно, что требуется, это — чтобы напряженіе у зажимовъ каждаго электродвигателя оставалось всегда постояннымъ. Этого достигаютъ тѣмъ, что включаютъ всѣ электродвигатели параллельно между проводами съ постоянной разностью напряженій.

Примѣненіе моторовъ быстро растетъ въ послѣднее время. Во всѣхъ городахъ, гдѣ имѣются большія центральныя станціи, гдѣ слѣдовательно легко провести токъ, больше тока потребляется на механическую работу съ помощью электродвигателей, чѣмъ для электрическаго освѣщенія, и всюду этотъ способъ совершенія работы обнаруживаетъ свои преимущества: легкость примѣненія, безопасность, удобство и дешевизну. Въ этомъ смыслѣ электричество внесло свою долю въ рѣшеніе соціальной проблемы, стоящей на переднемъ планѣ въ настоящее время, тѣмъ, что оно доставляетъ отдѣльному небогатому промышленнику тѣ же выгоды производства, какими крупные промышленники давно пользовались. Тѣмъ подъемомъ, который испытала промышленность въ Германіи, и тѣмъ болѣе высокимъ уровнемъ, до котораго поднялся образъ жизни почти всѣхъ круговъ общества, мы обязаны въ немалой долѣ примѣненію электричества.

ГЛАВА VIII.

Электрическая передача работы.

Большая легкость, съ какою электрическій токъ передается по проводникамъ на огромныя разстоянія, сначала была используема только въ телеграфіи для передачи на разстояніе сигналовъ и знаковъ. Но со времени изобрѣтенія динамомашины, когда стала развиваться такъ называемая техника сильныхъ токовъ, это свойство электрическаго тока примѣнено къ разрѣшенію одной изъ важнѣйшихъ задачъ, именно къ передачѣ на значительныя разстоянія дѣйствія естественныхъ или искусственныхъ источниковъ энергіи, однимъ словомъ, къ передачѣ энергіи.

Собственно говоря, во всѣхъ случаяхъ примѣненія электричества мы имѣли дѣло съ передачей работы. Когда, напримѣръ, въ подвалѣ дома установленъ газовый двигатель, и имъ приводится въ движеніе динамомашина, токомъ которой питаются лампы накаливанія, дуговые фонари или электродвигатели въ цѣломъ рядѣ этажей, мы, въ сущности, имѣемъ слѣдующее: сила газоваго двигателя или лучше — работа, доставляемая газовымъ двигателемъ, распредѣляется по различнымъ этажамъ и расходуется частью для освѣщенія, частью для совершенія механической же работы (при помощи электродвигателей). Въ этомъ случаѣ, однако, не говорятъ о «передачѣ энергіи», такъ какъ разстояніе между тѣмъ мѣстомъ, гдѣ поставленъ источникъ энергіи, и тѣми мѣстами, гдѣ производится полезная работа, очень невелико и допускаетъ другіе способы передачи. О передачѣ энергіи въ собственномъ смыслѣ говорятъ только тогда, когда разстоянія такъ велики, что передача эта можетъ быть просто осуществлена только при помощи электричества; другія же средства, какъ, напримѣръ, сжатый воздухъ, являются сравнительно сложными. При электрическомъ способѣ, принципіально, конечно, нѣтъ никакой разницы между передачей работы на малыя и на большія разстоянія, такъ какъ электрическій токъ очень легко проводится по проволокамъ на какое угодно разстояніе, между тѣмъ какъ для другихъ способовъ передачи, какъ, напримѣръ, посредствомъ сжатаго воздуха или тросовъ разстояніе

можетъ быть увеличиваемо лишь до извѣстнаго предѣла, дальше котораго эти способы уже непримѣнимы.

При электрической передачѣ силы возбуждаются прежде всего токи динамомашины, причемъ на это затрачивается работа какого-нибудь двигателя, напр. парового или водяного; эти токи по проводникамъ проводятся какъ угодно далеко ко второй машинѣ—электродвигателю, якорь которой вслѣдствіе этого приходитъ во вращеніе. Этимъ вращеніемъ можно заставить вторую машину производить работу, передавъ ея движеніе какому-нибудь механизму однимъ изъ обыкновенныхъ способовъ: безконечнымъ ремнемъ или зубчатыми колесами, какъ это было выяснено въ предыдущей главѣ. Обѣ электрическія машины, дающая токъ и производящая работу, могутъ быть установлены на любомъ разстояніи одна отъ другой, а потому является возможность производить токъ тамъ, гдѣ рабочая сила дешева, и пользоваться его энергіею для полученія работы въ томъ мѣстѣ, гдѣ она обходится дорого. Затѣмъ электрическій токъ легко можетъ быть развѣтвленъ какъ угодно; это позволяетъ распредѣлять посредствомъ электричества дѣйствіе одного двигателя въ любое число мѣстъ, что при непосредственномъ пользованіи двигателемъ возможно лишь въ исключительныхъ случаяхъ.

Итакъ, въ послѣднемъ случаѣ происходитъ не только передача работы, но и распредѣленіе ея.

Электрическая передача работы въ томъ видѣ, какой только что былъ описанъ, требуетъ устройства цѣлаго ряда машинъ; во-первыхъ, необходимъ двигатель. Чаще всего для этой цѣли примѣняютъ турбину, такъ какъ чаще всего даровою силою является сила паденія воды. Можно, разумѣется, поставить паровую машину или газовый двигатель, или, наконецъ, вѣтряное колесо. Движеніе подобной машины передается динамомашинѣ, въ которой механическая работа обращается въ энергію электрическаго тока. Эту динамомашину можно назвать первичною машиной. Электрическій токъ проводится отъ нея по проволокамъ во вторую динамомашину, вторичную машину, якорь которой, получая токъ, приходитъ во вращеніе и можетъ совершать работу. Такимъ образомъ, для этой передачи работы требуется двигатель, первичная и вторичная динамомашины и соединительные провода.

Главнѣйшее удобство этой прямой передачи работы заключается въ томъ, что источникъ энергіи можетъ совершать работу въ такомъ мѣстѣ, которое отстоитъ отъ него на большомъ разстояніи.

Такимъ образомъ эта электрическая передача работы служитъ главнымъ образомъ для того, чтобы имѣть возможность силою воды совершать работу въ отдаленныхъ мѣстахъ. Энергія падающей или вообще движущейся воды, которую можно примѣнить къ приведенію

въ дѣйствіе какой-нибудь машины, доставляется природою въ неисчер паемомъ количествѣ, и пользованіе ею часто обходится почти лишь столько, сколько стоитъ первоначальная установка. Если безполезная потеря энергіи при электрической передачѣ достигаетъ при достаточно значительныхъ разстояніяхъ даже 25% то все же во многихъ случаяхъ можетъ оказаться очень выгоднымъ для производства работы пользоваться даровою природною энергіею, которая иначе осталась бы безъ всякаго потребленія. Дѣйствительно, утилизація водяной силы при помощи электричества начинаетъ получать за послѣдніе годы значительное распространеніе. Въ этомъ отношеніи хорошимъ примѣромъ являются Швейцарія, Швеція, Норвегія и Америка: въ Германіи также какъ промышленники, такъ и правительство начинаютъ сознавать огромное значеніе подобныхъ установокъ.

Другая область примѣненія электрической передачи работы, которая только что начинаетъ создаваться, заключается въ слѣдующемъ. Современныя машины въ огромномъ своемъ большинствѣ приводятся въ движеніе паровыми двигателями посредствомъ сжиганія угля; уголь долженъ быть доставляемъ изъ копей въ тѣ мѣста, гдѣ его потребляютъ. Если стоимость перевозки превышаетъ потери, происходящія при электрической передачѣ энергіи и проценты на капиталъ, затраченный на устройство передачи, то является болѣе выгоднымъ не перевозить уголь, но сжигать его у самыхъ копей въ большихъ паровыхъ машинахъ, а его энергію электрическимъ способомъ передать туда, гдѣ она потребляется. И дѣйствительно, теперь начинаютъ создавать такія сооруженія вблизи копей.

Во многихъ случаяхъ оказывается выгодною электрическая передача энергіи потому, что приходится приводить въ дѣйствіе рядъ малыхъ машинъ, далеко отстоящихъ другъ отъ друга. Опытъ показываетъ, что относительное потребленіе угля въ малыхъ паровыхъ машинахъ (на небольшое число лошадиныхъ силъ) приблизительно вдвое и даже втрое больше того, какое требуется въ большихъ машинахъ даже уже на 50—100 лош. силъ. Отсюда слѣдуетъ, что, если вмѣсто цѣлаго ряда малыхъ паровыхъ машинъ поставить большую и ея работу распредѣлить электрическимъ способомъ по различнымъ мѣстамъ, то явится экономія въ стоимости содержанія и установки. Таковы нѣкоторые случаи, когда выгодно примѣненіе электрической передачи работы.

Переходимъ къ вопросу о томъ, каковы же въ частности явленія при этой передачѣ и на какое полезное дѣйствіе можно здѣсь разсчитывать.

Если первичная динамомашина приводится въ дѣйствіе какимъ-либо двигателемъ и если во всей внѣшней цѣпи нѣтъ болѣе другихъ машинъ кромѣ нея, то сила тока въ этой цѣпи зависитъ лишь отъ

электродвижущей силы этой динамо и полнаго сопротивленія, т. е. какъ внутренняго—машины, такъ и внѣшняго — цѣпи; именно по закону Ома

$$\text{Сила тока} = \frac{\text{Электродв. сила машины}}{\text{Полное сопротивленіе}}.$$

При нѣкоторомъ опредѣленномъ числѣ оборотовъ и нѣкоторомъ опредѣленномъ сопротивленіи у машины существуетъ нѣкоторое опредѣленное напряженіе, и сила тока въ цѣпи имѣетъ извѣстную величину.

Если въ той же цѣпи находится еще вторая динамомашина, приводимая въ дѣйствіе токомъ первой, то въ ея якорѣ появляется тоже электродвижущая сила, противоположная, какъ мы знаемъ, электродвижущей силѣ первой машины. Полное же сопротивленіе цѣпи состоитъ въ этомъ случаѣ изъ внутренняго сопротивленія обѣихъ машинъ и сопротивленія соединительной цѣпи. Полная электродвижущая сила, дѣйствующая въ цѣпи, будетъ уже разностью электродвижущихъ силъ обѣихъ машинъ; сила же тока, согласно закону Ома, выражается здѣсь такимъ отношеніемъ:

$$\text{Сила тока} = \frac{\text{Разность электродв. силъ}}{\text{Полное сопротивленіе}}.$$

Такимъ образомъ, если полное сопротивленіе цѣпи и останется тѣмъ же, какое было раньше, все же сила тока окажется меньшею, чѣмъ при отсутствіи вторичной машины, такъ какъ электродвижущая сила вторичной машины противодѣйствуетъ. Электродвижущая сила всякой машины зависитъ отъ ея устройства и кромѣ того единственно лишь отъ скорости, съ какою вращается ея якорь.

Поэтому, если обѣ машины построены совершенно одинаково, то сила тока зависитъ лишь отъ разности скоростей вращенія въ машинахъ и полнаго сопротивленія. Отсюда слѣдуетъ замѣчательный результатъ: если обѣ машины построены совершенно одинаково и вращаются съ одинаковою скоростью, то по цѣпи не проходитъ тока. Но машины могли бы вращаться сами по себѣ съ одинаковою скоростью только тогда, если бы между ихъ частями не было бы никакого сопротивленія въ видѣ тренія. Тогда мы имѣли бы слѣдующій случай: первичная машина, приводимая въ движеніе двигателемъ, возбуждала бы токъ въ цѣпи, и этотъ токъ привелъ бы вторичную машину въ движеніе и заставилъ бы ее вращаться все быстрѣе, вслѣдствіе чего сила тока въ цѣпи все уменьшалась бы; наконецъ, скорость вращенія вторичной машины стала бы равною скорости первичной, а токъ въ цѣпи сталъ бы равенъ нулю. Но въ такомъ случаѣ первичная машина не потребляла бы никакой энергіи, за то и вторичная не совершала бы никакой работы, т. е. не было бы фактически никакой передачи энергіи. Этотъ случай, конечно, идеальный; его нельзя осуществить вполнѣ на практикѣ, но къ нему можно весьма приблизиться.

Если, однако, заставить вторую машину производить какую-нибудь работу, напр. приводить въ движеніе молотилку, то ея скорость уменьшается соотвѣтственно производимой работѣ. Вслѣдствіе этого уменьшается противодѣйствующая электродвижущая сила вторичной машины, а сила тока въ цѣпи увеличивается.

Представимъ себѣ, что какая-нибудь электрическая передача энергіи идетъ полнымъ ходомъ. Мы имѣемъ, слѣдовательно, двѣ динамомашины, соединенныя какою нибудь цѣпью; двигатель, напр. паровой, постоянно сообщаетъ энергію первой изъ нихъ, тогда какъ вторая непрерывно производитъ нѣкоторую полезную работу, напр. поднимаетъ воду изъ колодца. Посмотримъ, въ какомъ отношеніи находятся другъ къ другу потребляемая и полезная энергіи. Обѣ машины имѣютъ нѣкоторыя опредѣленныя скорости, и по всему проводу и машинамъ течетъ нѣкоторый опредѣленный токъ.

То количество работы, которое доставляется паровымъ двигателемъ въ каждую секунду первичной машинѣ, идетъ на слѣдующія потребности:

Во-первыхъ, часть этой работы идетъ на то, чтобы преодолѣть сопротивленія тренія въ первичной машинѣ.

Во-вторыхъ, она возбуждаетъ въ той же машинѣ при ея вращеніи токи Фуко, которые обращаются въ тепло, теряемое, какъ и тепло отъ тренія, безполезно для работы.

Въ-третьихъ, она возбуждаетъ въ первичной машинѣ нѣкоторую электродвижущую силу, которая посылаетъ токъ въ цѣпь и во вторичную машину.

Полная мощность этого тока равна произведенію названной выше электродвижущей силы на силу тока и она будетъ выражена въ ваттахъ, если электродвижущая сила измѣряется въ вольтахъ, а сила тока въ амперахъ. Изъ этой полной энергіи часть потребляется въ самой первичной машинѣ, обращаясь въ ней въ джоулево тепло, остальная же часть этой энергіи, отдаваемая машиною во внѣшнюю цѣпь, въ провода и вторичную машину, равна произведенію напряженія у зажимовъ машины на силу тока. На что уходитъ эта часть—это зависитъ отъ характера цѣпи, проводниковъ и т. д. Она могла бы быть вся обращена на пользу. Отношеніе этой внѣшней энергіи къ затраченной работѣ названо нами уже выше на стр. 455 коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія первичной машины. Этотъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія въ хорошихъ динамомашинахъ достигаетъ 85—95%.

Полная энергія во внѣшней цѣпи раздѣляется въ свою очередь на двѣ части. Изъ нихъ одна идетъ на нагрѣваніе соединительныхъ проводовъ между первичною и вторичною машинами по закону Джоуля. Это составляетъ такъ называемую потерю въ проводахъ,

которую нужно стремиться уменьшить по мѣрѣ возможности. Остальная часть полной энергіи во внѣшней цѣпи поглощается вторичною машиною.

Существенную роль въ электрической передачѣ энергіи играетъ эта послѣдняя часть. У зажимовъ вторичной машины существуетъ нѣкоторое опредѣленное напряженіе; если его помножить на силу тока, то и получимъ мощность, потребляемую вторичной машиной, выраженную въ ваттахъ.

Эта энергія, идущая на вторую машину, отчасти безполезно теряется на преодолѣніе сопротивленій тренія, на возбужденіе токовъ Фуко и на нагрѣваніе обмотокъ вторичной машины по закону Джоуля; отчасти же она потребляется съ пользою, совершая работу, которая именно и требуется отъ вторичной машины (въ нашемъ примѣрѣ поднятіе воды).

Подобно тому, какъ мы сдѣлали съ первичною машиною, мы назовемъ также и здѣсь отношеніе производимой второй машиной полезной работы къ полной энергіи, получаемой ею изъ цѣпи— коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія вторичной машины. Это отношеніе зависитъ отъ качества конструкціи вторичной машины.

Наконецъ, мы назовемъ полезнымъ дѣйствіемъ всей передачи энергіи отношеніе всей полезной работы вторичной машины ко всей той энергіи, которую получаетъ первичная машина. Само собою понятно, что это полезное дѣйствіе тѣмъ выше, чѣмъ выше коэффиціентъ полезнаго дѣйствія каждой изъ двухъ машинъ, и чѣмъ меньше энергіи теряется въ проводникахъ. Потеря же въ проводахъ тѣмъ меньше, чѣмъ ближе къ равенству напряженія у зажимовъ обѣихъ машинъ.

Чтобы ближе познакомить со всѣми этими величинами, мы приведемъ примѣръ изъ существующихъ уже установокъ электрической передачи энергіи. Въ мѣстечкѣ К. существуетъ водопадъ, энергія котораго передается электрическимъ способомъ въ З., отстоящій отъ К. на 8 клм. Въ К. установлена первичная машина, въ З. вторичная машина. Двѣ эти станціи соединены мѣдными проводниками въ 6 мм. діаметромъ. На одномъ изъ испытаній оказалось, что водяная турбина отдаетъ первичной машинѣ въ секунду 30,85 лош. силъ. Сила тока въ цѣпи оказалась 11,474 амп. Напряженіе у зажимовъ первичной машины равнялось 1753,3 вольта. Такимъ образомъ, мощность во внѣшней цѣпи была $1753{,}3 \times 11{,}474$ ваттъ, т. е. 27,33 лош. силы. Отсюда получили коэффиціентъ полезнаго дѣйствія первичной машины въ $\frac{27{,}33}{30{,}85} = 0{,}886$. Т. е. 88,6% всей энергіи, приходящей въ первичную машину, поступаетъ во внѣшнюю цѣпь. Остальные 11,4% безполезно обращаются въ тепло.

У зажимовъ вторичной машины было найдено напряженіе 1655,9 вольта, а, слѣдовательно, полная энергія, потребляемая второю машиною, была равна 1655,9 × 11,420 ваттъ, т. е. 25,69 лош. силы (сила тока во второй машинѣ оказалась немного меньшею, потому что изоляція цѣпи была не совершенна).

Отсюда слѣдуетъ, что въ цѣпи терялось 27,33—25,69 = 1,64 лош. силы, обращаясь въ джоулево тепло. Вторая машина производила въ секунду полезную работу, равную 23,21 лош. силы; т. е. изъ поступавшихъ къ ней 25,69 лош. силы уходило на преодолѣніе сопротивленій тренія, на образованіе токовъ Фуко и на джоулево нагрѣваніе во вторичной машинѣ—2,48 лош. силы. Отсюда получился коэффиціентъ полезнаго дѣйствія второй машины, равный $\frac{23,21}{25,69} = 0,903$; такимъ образомъ эта вторая машина обращала въ полезную механическую работу 90,3% поступающей къ ней электрической энергіи. Наконецъ, полезное дѣйствіе всей передачи энергіи, равное отношенію полезной, полученной обратно работы 23,21 лош. силы къ полной затраченной энергіи—30,85 лош. силы, оказывается $\frac{23,21}{30,85} = 0,756$. Слѣдовательно, 75,6% всей затрачиваемой энергіи передавалось въ нашемъ примѣрѣ на 8 клм. и тамъ полезно затрачивалось.

Очень важнымъ является вопросъ о томъ, какое вліяніе оказываетъ на полезное дѣйствіе передачи энергіи разстояніе между машинами. Чѣмъ дальше отстоятъ машины одна отъ другой, тѣмъ длиннѣе провода, соединяющіе ихъ; провода нагрѣваются токомъ, и это нагрѣваніе, пропорціональное ихъ сопротивленію, будетъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, тѣмъ больше, чѣмъ больше ихъ длина. Но это нагрѣваніе производится на счетъ энергіи во внѣшней цѣпи первичной машины, а потому оно уменьшаетъ ту работу, которую производитъ вторичная машина.

Наше предыдущее разсужденіе о полезномъ дѣйствіи передачи работы позволитъ тотчасъ же разсмотрѣть этотъ вопросъ. Полезное дѣйствіе всей установки зависитъ, во-первыхъ, отъ качества обѣихъ машинъ, отъ ихъ коэффиціентовъ полезнаго дѣйствія; у новѣйшихъ машинъ онъ доходитъ до 85—95% и даже превышаетъ эту величину, такъ что долженъ быть считаемъ вообще высокимъ. Во-вторыхъ, это полезное дѣйствіе зависитъ еще отъ отношенія между напряженіями у зажимовъ первичной и вторичной машинъ. Чѣмъ больше оно (въ предѣлѣ оно равняется 1), тѣмъ выше полезное дѣйствіе. Такимъ образомъ является необходимымъ стараться сдѣлать это отношеніе возможно большимъ. Но, какъ мы видѣли, напряженіе у зажимовъ вторичной машины всегда меньше, чѣмъ напряженіе у первичной машины, и именно настолько, какова потеря напряженія, необходимая для пре-

одолѣнія сопротивленія проводовъ. Если, слѣдовательно, провода очень длинны, то все-таки существуютъ два способа, которые позволяютъ сдѣлать отношеніе напряженій возможно близкимъ къ 1, т. е. напряженія у зажимовъ обѣихъ машинъ возможно близкими къ равенству. Одинъ способъ заключается въ томъ, чтобы сдѣлать длинные провода большого поперечнаго сѣченія; это понизитъ сопротивленіе проводки. Если проводамъ придается двойная длина сравнительно съ длиной въ какой-нибудь дѣйствующей уже установкѣ, то стоитъ лишь придать имъ и сѣченіе двойное, чтобы потеря напряженія между двумя машинами осталась прежнею, а, слѣдовательно, и полезное дѣйствіе не измѣнилось бы. Но этотъ способъ практически непримѣнимъ, такъ какъ тогда пришлось бы при сколько-нибудь большихъ разстояніяхъ брать уже очень толстые мѣдные стержни, что чрезвычайно удорожило бы стоимость установки.

Второй способъ заключается въ томъ, что напряженіе у зажимовъ обѣихъ машинъ дѣлаютъ очень большимъ. Дѣйствительно, въ этомъ случаѣ потеря напряженія отъ первой машины до второй, выраженная въ процентахъ, будетъ гораздо меньше, чѣмъ при низкихъ напряженіяхъ. Возьмемъ, напр., вышеописанную установку передачи энергіи. Мы имѣли тамъ

напряженіе у зажимовъ первой машины . 1753,3 вольта,
„ „ вторичной „ . 1655,9 „ ,

а, слѣдовательно, потеря напряженія на линіи длиною въ 8 клм. равняется 97,4 вольта, а отношеніе обоихъ напряженій, отъ котораго зависитъ полезное дѣйствіе, равно $\frac{1655,9}{1753,3} = 0,944$. Общій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія всей установки равенъ произведенію коэффиціентовъ полезнаго дѣйствія обѣихъ машинъ на отношеніе напряженій, т. е. равенъ

$$0.886 \times 0.903 \times 0.944 = 0.756.$$

Если бы провода были двойной длины, въ 16 клм. вмѣсто восьми, то потеря напряженія на провода достигла бы 194,8 вольта. Чтобы все же получить то же самое отношеніе напряженій, нужно лишь придать обѣимъ машинамъ приблизительно двойное напряженіе у зажимовъ: первой около 3480 вольтъ и второй около 3285,2 вольта, Тогда, несмотря на большую потерю напряженія въ цѣпи, отношеніе напряженій у зажимовъ будетъ то же, что и въ приведенномъ уже случаѣ, а именно $\frac{3285,2}{3480} = 0,944$. Отсюда слѣдуетъ, что и коэф. полезнаго дѣйствія останется тѣмъ же.

То требованіе, что для электрической передачи энергіи на большія разстоянія необходимы токи большого напряженія, впервые опредѣленно высказалъ французскій инженеръ Марсель Депре; и теперь

уже всѣми признано и общеизвѣстно, что помощью высокаго напряженія можно передать значительное количество энергіи на всякое разстояніе съ большимъ полезнымъ дѣйствіемъ.

Но мы уже неоднократно говорили, что динамомашины постояннаго тока для очень большихъ напряженій—большихъ, чѣмъ отъ 600 до 1000 вольтъ—не могутъ быть удовлетворительно построены, такъ какъ едва ли можно въ достаточной мѣрѣ изолировать столь близкіе одинъ къ другому обороты обмотки; кромѣ того, въ динамомашинѣ постояннаго тока, въ случаѣ большихъ напряженій, является опаснымъ мѣстомъ еще и коллекторъ. Такимъ образомъ машины перемѣннаго и трехфазнаго тока оказываются болѣе подходящими для большихъ напряженій. Эти машины строятся на напряженія до 10,000 вольтъ, а съ этимъ напряженіемъ выгодно передавать энергію на весьма значительныя разстоянія. Далѣе, при перемѣнныхъ токахъ можно примѣнять трансформаторы и, слѣдовательно, по желанію подымать напряженіе въ цѣпи. Напротивъ того, на мѣстахъ потребленія можно понижать напряженіе, имѣя въ виду, что высокое напряженіе опасно, переходя отъ высокаго напряженія къ низкому опять таки при помощи трансформаторовъ. Трехфазный токъ съ трансформаторами является идеаломъ въ дѣлѣ передачи энергіи на большія разстоянія. Онъ потому выше простого перемѣннаго, что моторы трехфазнаго тока, по крайней мѣрѣ до сихъ поръ, гораздо выгоднѣе моторовъ простого перемѣннаго тока.

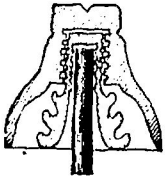
Убѣдившись въ справедливости этихъ разсужденій, Берлинское Общество A. E. G. вмѣстѣ съ машиностроительнымъ заводомъ Эрликонъ въ 1891 году выполнили огромную установку передачи работы, которая должна была доказать возможность выгодной электрической передачи энергіи, въ исключительно трудныхъ условіяхъ (для того времени). Это была знаменитая установка передачи энергіи изъ Лауффена на Неккарѣ во Франкфуртъ на Майнѣ, на разстояніе 175 клм.

Отъ лауффенскаго водопада при помощи турбины передавалось приблизительно 200 лош. силъ установленной тамъ динамомашинѣ, которая и должна была передать возможно большую часть этой энергіи во Франкфуртъ. Для этой послѣдней цѣли прибѣгли къ огромному напряженію въ 15.000—20.000 вольтъ, которое было получено при помощи трансформированнаго трехфазнаго тока.

Установка была такова: въ Лауффенѣ турбина вращала большую динамо трехфазнаго тока, которая могла развить около 300 лош. силъ. Она производила три отдѣльныхъ тока, каждый напряженіемъ въ 50 вольтъ и силою въ 1.400 амп. Эти токи проводились посредствомъ короткихъ мѣдныхъ кабелей (27 мм. въ діаметрѣ) къ первому трансформатору, масляному трансформатору трехфазнаго тока.

Здѣсь всѣ три тока силою по 1.400 амп. и напряженіемъ въ 50 вольтъ трансформировались въ токи силою 4,3 амп. и напряженіемъ 14.000 вольтъ. Эти послѣдніе токи, т. е. силою лишь 4,3 амп., проводились далѣе по сравнительно тонкимъ проволокамъ; для этихъ токовъ пользовались голыми мѣдными проводами 4 мм. діаметромъ, протянутыми подобно телеграфной линіи отъ Лауффена до Франкфурта. Было установлено приблизительно 3.000 столбовъ, на каждомъ изъ которыхъ было укрѣплено по 3 фарфоровыхъ изолятора. Эти изоляторы, какъ показано на черт. 533, имѣли съ внутренней стороны желобки, наполненные масломъ, что препятствовало электричеству отвѣтвляться съ проволокъ по поверхности изоляторовъ, которая всегда бываетъ влажною, къ желѣзнымъ изоляторнымъ крючьямъ и уходить въ землю.

Черт. 533.



Токи высокаго напряженія, достигнувъ Франкфурта, поступали вновь въ масляные трансформаторы и трансформировались во второй разъ обратно до напряженія въ 100 вольтъ, достигая при этомъ снова большой силы въ 700 амп. Часть этихъ токовъ шла на питаніе ламповой батареи въ 1.000 калильныхъ лампъ, остальная часть уходила на приведеніе въ дѣйствіе двигателей трехфазнаго тока. Одинъ изъ этихъ двигателей приводилъ въ дѣйствіе водяной насосъ, питавшій во Франкфуртѣ каскадъ въ 10 м. вышиною. Такимъ образомъ часть энергіи лауффенскаго водопада послѣ многихъ преобразованій, продѣлавъ путь въ 175 клм., обращалась вновь во Франкфуртѣ въ энергію падающей воды.

Въ этой передачѣ былъ благополучно выполненъ опытъ проведенія токовъ столь высокаго напряженія на такое далекое разстояніе, и является весьма интереснымъ узнать, каково было полезное дѣйствіе этой передачи энергіи. Изъ большого числа испытаній, произведенныхъ при различныхъ нагрузкахъ машинъ, мы приведемъ здѣсь то, при которыхъ въ Лауффенѣ бралась наибольшая энергія; оно доставитъ намъ наиболѣе характерныя соотношенія между различными величинами.

При этомъ испытаніи турбина въ Лауффенѣ доставляла 197,4 лош. силы въ динамомашину. Изъ этого количества энергіи 12,6 лош. силы терялось въ самой динамомашинѣ, а 184,8 уходило съ ея зажимовъ во внѣшнюю цѣпь; такимъ образомъ, коэффиціентъ полезнаго дѣйствія первичной машины равнялся $\frac{184,8}{197,4} = 93,5\%$.

Токъ направлялся къ первому трансформатору, гдѣ онъ преобразовывался. Съ зажимовъ вторичной цѣпи этого трансформатора получалось 177,6 лош. силы, такъ что въ немъ тратилось 7,2 лош. силы. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія этого перваго трансформатора ока-

зывается, такимъ образомъ, равнымъ $\frac{177,6}{184,8} = 96,1\%$, и коэффиціентъ полезнаго дѣйствія всей первичной части электрической установки (т. е. динамомашины и трансформатора) былъ $\frac{177,6}{187,4} = 89,9\%$. Иными словами, 89,9 процентовъ всей энергіи, получаемой отъ турбины, направлялись изъ Лауффена во Франкфуртъ въ видѣ энергіи тока высокаго напряженія.

Въ проводахъ тратилось при этомъ испытаніи, благодаря ничтожной силѣ тока, всего 25,2 лош. силы на джоулево тепло, и потому къ первичнымъ зажимамъ франкфуртскаго трансформатора поступало все еще 152,4 лош. силы. Потеря въ проводахъ достигла, слѣдовательно, 15%.

Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія франкфуртскаго трансформатора былъ $95,7\%$, т. е. онъ обращалъ токъ высокаго напряженія, съ мощностью въ 152,4 лош. силы, въ токъ низкаго напряженія, съ мощностью въ 145,8 лош. силы.

Такимъ образомъ, во Франкфуртѣ получалось 145,8 лош. силы на зажимахъ трансформатора въ видѣ энергіи тока съ напряженіемъ около 100 вольтъ; эту энергію можно было употребить на освѣщеніе, производство работы и т. п.

Итакъ, полезное дѣйствіе всей передачи энергіи отъ турбины въ Лауффенѣ до мѣста потребленія ея во Франкфуртѣ было равно $\frac{145,8}{197,4} = 73,9\%$.

Этотъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія былъ для того времени чрезвычайно высокимъ.

Однако, это испытаніе все же показываетъ, что практическое выполненіе передачи на такія значительныя разстоянія возможно только для большого количества энергіи. Хотя потеря энергіи сравнительно невелика, но зато стоимость установки (столбы и провода) столь значительна, что она превышаетъ доходъ отъ эксплоатаціи, по крайней мѣрѣ при малой величинѣ передаваемой энергіи. Чѣмъ больше, однако, полная передаваемая энергія, тѣмъ менѣе имѣютъ значенія затраты на установку.

Съ другой стороны, это же испытаніе показало возможность выполнить подобную электрическую передачу энергіи вездѣ и на значительныя разстоянія съ высокимъ полезнымъ дѣйствіемъ. Поэтому, гдѣ энергія, переданная издалека, хорошо оплачивается, тамъ не можетъ быть никакого затрудненія въ исполненіи подобной передачи и фактически теперь уже много есть примѣровъ передачи на большія разстоянія. Въ подобныхъ установкахъ напряженіе въ проводахъ обыкновенно равно 10.000 вольтъ.

При такомъ напряженіи обходятся совсѣмъ безъ трансформаторовъ, такъ какъ первичныя машины перемѣннаго тока могутъ сами создавать токъ до 10.000 вольтъ напряженія въ виду того, что въ этихъ машинахъ высокое напряженіе возникаетъ въ неподвижныхъ частяхъ. Благодаря ненужности перваго трансформатора, удается избѣжать тѣхъ потерь, которыя произошли бы въ немъ, и тѣмъ повысить коэффиціентъ полезнаго дѣйствія первичной станціи, а вмѣстѣ съ тѣмъ и полезное дѣйствіе всей установки.

Электротехника стремится, однако, дальше, желая достигнуть еще болѣе высокихъ напряженій. Существуютъ уже установки съ передачей тока въ 50.000 и даже 100.000 вольтъ. Въ послѣдніе годы фирма Сименсъ-Шукертъ выполнила большія установки для передачи энергіи съ очень высокими напряженіями и на большія разстоянія. Такъ изъ Моосбурга въ Мюнхенъ на разстояніе въ 54 клм. передаются 4.200 киловаттъ посредствомъ трехфазнаго тока очень высокаго напряженія, при 50.000 вольтъ. А въ новой установкѣ въ Испаніи требуется даже 66.000 вольтъ напряженія, чтобы передать 30.000 лошадиныхъ силъ изъ Молинара въ Мадридъ, Картагену, Алкой и Валенсію [1]). Съ повышеніемъ напряженія быстро возрастаетъ трудность изолировать; опасность такой установки, въ каждомъ мѣстѣ которой отъ проводовъ могутъ проскакивать искры въ 10 — 30 см. длиною, конечно, очень велика. Вполнѣ понятно, что очень высокія напряженія существуютъ только на проводахъ; на конечныхъ станціяхъ при помощи трансформаторовъ получаются уже безопасныя напряженія.

По большей части ограничиваются установкамии на такія разстоянія, гдѣ передача тока въ 5.000 — 10.000 вольтъ можетъ быть выполнена еще съ выгодой.

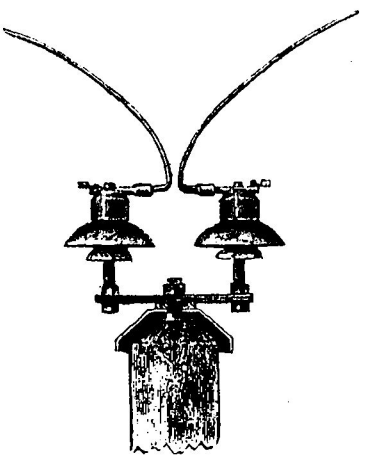
При проводкахъ, тянущихся на многіе километры и находящихся подъ напряженіемъ въ 10.000 вольтъ, является необходимость обезопасить линію отъ ударовъ молніи. Дѣйствительно, если бы гдѣнибудь на линіи молнія ударила въ проволоку, она могла бы проникнуть въ машины и аппараты и разрушила бы ихъ. Средствомъ противъ этого являются особые громоотводы. Молнія есть весьма кратковременный электрическій токъ, часто представляющій изъ себя, какъ думаютъ, весьма быстрыя электрическія колебанія. Но мы знаемъ, что при быстрыхъ электрическихъ колебаніяхъ не обыкновенное сопротивленіе затрудняетъ прохожденіе тока, а самоиндукція: искра легко перескакиваетъ чрезъ воздушный промежутокъ между металлическими пластинами, отстоящими на нѣсколько миллиметровъ, хотя воздухъ

[1]) Въ Америкѣ имѣется уже рядъ установокъ, работающихъ при напряженіяхъ въ 80.000 — 100.000 — 110.000, передающихъ мощность 30.000 — 40.000 и выше лошадиныхъ силъ на разстояніе до 500 километровъ. Въ Европѣ также напряженіе при передачѣ все повышается. *Прим. переводчика.*

и представляетъ огромное сопротивленіе, между тѣмъ какъ тотъ же искровой разрядъ лишь съ трудомъ проходитъ по мѣдной проволокѣ въ нѣсколько метровъ длиною, если она завита въ спираль. Подобнымъ свойствомъ пользуются, чтобы отвести молнію, попавшую въ проводъ, безвредно для линіи. А именно, къ каждому проводу, ведущему въ машину, параллельно къ нему присоединяютъ пару такихъ металлическихъ пластинокъ съ воздушнымъ промежуткомъ. Одна пластина приключается къ проводу, а другая къ землѣ. Такую систему называютъ линейнымъ громоотводомъ. Если молнія попадетъ въ линію, то она достигнетъ громоотвода раньше, чѣмъ машины; она легко перескочитъ воздушный промежутокъ между 2-мя пластинами и уйдетъ въ землю, не добравшись до машины. Подобные громоотводы включаются передъ каждымъ приборомъ, который нужно оградить.

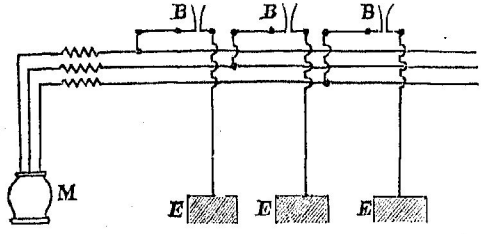
Однако, при высоковольтной проводкѣ, о которой здѣсь собственно и идетъ рѣчь, возникаетъ новая трудность. Конечно, разстояніе между пластинами или проволоками, образующими громоотводъ, должно быть такъ велико, чтобъ собственный токъ машины не могъ пройти черезъ этотъ слой воздуха; оно должно быть во всякомъ случаѣ больше, чѣмъ то предѣльное пробивное разстояніе, на которое могутъ проскакивать искры, вызванныя напряженіемъ данной машины. Однако, если молнія ударитъ въ проводъ и по громоотводу пройдетъ въ землю, она отчасти распылитъ электроды и нагрѣетъ воздухъ, сдѣлавъ его проводникомъ. Можетъ случиться, что теперь напряженіе самой машины достаточно, чтобы преодолѣть это сопротивленіе, и тогда между этими пластинами возникнетъ вольтова дуга, и токъ отъ машины будетъ черезъ громоотводъ уходить въ землю, поддерживая горѣніе дуги и создавая сильныя и опасныя въ пожарномъ отношеніи огненныя явленія. Молнія отведена, но машина оказалась, быть можетъ, двумя или даже всѣми тремя полюсами соединенной съ землей. Выгнали бѣсенка, позвавъ на подмогу чорта. Поэтому нужно постараться, чтобы возникшая дуга тухла сама собою. Это достигается въ такъ называемомъ «роговомъ громоотводѣ» фирмы Сименсъ-Шукерта (см. черт. 534). Онъ состоитъ изъ 2-хъ металлическихъ полосъ, согнутыхъ въ дугу. Внизу онѣ расположены близко одна отъ другой, но расходятся кверху все

Черт. 534.



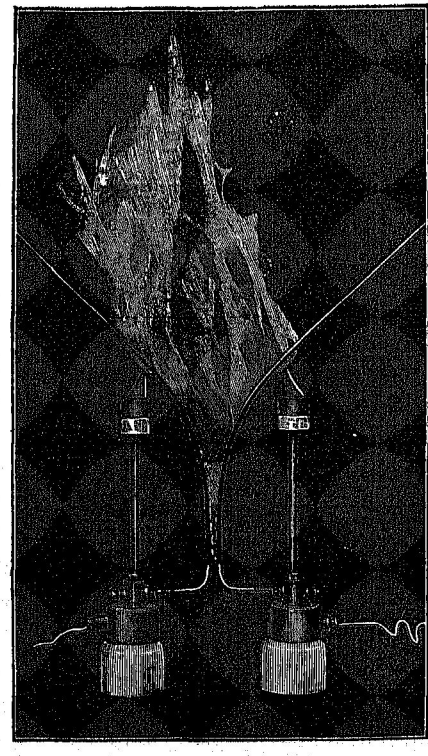
больше въ стороны. Если въ такомъ громоотводѣ, въ нижней его части, возникаетъ вольтова дуга, то сильные потоки теплаго воздуха, окружающіе дугу, увлекутъ ее наверхъ, вдоль по рогамъ громоотвода, пока разстояніе не станетъ такъ велико, что напряженіе машины не можетъ его превозмочь, тогда дуга потухнетъ сама собой.

Черт. 535 изображаетъ схему установки громоотводовъ при машинѣ трехфазнаго тока. Три провода, идущіе отъ машины, завиЧерт. 535.



ваются въ нѣсколько витковъ и присоединяются каждый къ одному рогу громоотвода *B*. Другой рогъ, при помощи прямой и короткой проволоки, соединяется съ пластинкой *E*, закопанной въ землю. Этимъ устраняется опасность для машины. Такія приспособленія располагаются передъ машинами, трансформаторами и вдоль по всей линіи на нѣкоторыхъ разстояніяхъ. Черт. 536 представляетъ моментальный снимокъ съ вольтовой дуги, возникшей въ описанномъ громоотводѣ. Точки, откуда вырывается дуга, перемѣщаются быстро наверхъ, и въ двѣ секунды дуга тухнетъ.

Черт. 536.



Передача энергіи на большія разстоянія начинаетъ теперь играть на практикѣ значительную роль, и, въ соединеніи съ распредѣленіемъ энергіи, является важнѣйшей задачей техники вообще и электротехники въ частности. Въ настоящее время является возможнымъ посредствомъ электричества сообщать энергію любому числу машинъ изъ одного мѣста. Такимъ образомъ является

осуществленной особенная комбинація централизаціи энергіи, комбинація, примѣра которой до сихъ поръ еще не было, и которая во многихъ промышленныхъ странахъ теперь выполнена.

До сихъ поръ только крупныя фабрики могли воспользоваться тѣми неисчерпаемыми источниками энергіи, какіе представляютъ, напримѣръ, водопады или тѣми выгодами, какія представляютъ большія паровыя машины. Большія паровыя машины и турбины доставляютъ энергію раза въ 2, въ 3 дешевле, чѣмъ малыя паровыя машины и малыя турбины. Прежде лишь непосредственно вблизи такихъ крупныхъ источниковъ энергіи могли развиваться большія промышленныя предпріятія. Здѣсь мы имѣемъ чистый случай централизаціи. Теперь же является возможнымъ энергію, развиваемую большими паровыми машинами и водопадами, и передавать на большія разстоянія, и распредѣлять ее по большому числу мѣстъ, и все это при помощи электричества. Такимъ образомъ, выгоды централизаціи источниковъ энергіи соединены съ выгодами децентрализаціи въ дѣлѣ потребленія энергіи.

Такъ въ верхней части Шпрее, въ Саксоніи, вблизи Рейнскаго водопада, въ Мюнхенѣ развились большіе промышленные округа, въ которыхъ источники энергіи сконцентрированы въ одномъ мѣстѣ, въ то время какъ, благодаря электрической передачѣ энергіи, выгодами этой энергіи могутъ пользоваться мелкіе промышленники.

Нѣтъ сомнѣнія, что эта цѣлесообразная комбинація будетъ все больше распространяться, и можно предсказать, что электрической передачѣ энергіи и распредѣленію ея принадлежитъ будущее. Такое соединеніе централизаціи источниковъ электрической энергіи съ распредѣленіемъ ея на большія площади привело въ послѣдніе годы къ сооруженію все въ большемъ числѣ областныхъ станцій. Теперь уже нѣтъ надобности основывать промышленныя области вблизи большихъ источниковъ водяной энергіи; электрическая энергія переносится посредствомъ перемѣнныхъ токовъ высокаго напряженія или трехфазныхъ токовъ на большія разстоянія, распредѣляется на большія площади и обслуживаетъ всѣ находящіяся здѣсь промышленныя предпріятія. Такія центральныя станціи впервые были устроены съ большимъ успѣхомъ въ Верхней Силезіи и въ рейнской Вестфаліи; онѣ снабжаютъ электрическимъ токомъ области больше, чѣмъ 1500 кв. километровъ; электрическій токъ доставляетъ энергію, освѣщеніе, отчасти даже обслуживаетъ подъѣздные пути для всѣхъ находящихся въ этой области промышленныхъ предпріятій и мелкихъ производствъ. Въ послѣдніе годы попробовали расширить это систему. во многихъ мѣстахъ такія областныя станціи частью уже построены, частью лишь намѣчены. Но оказалось, что ихъ хозяйственный успѣхъ возможенъ лишь въ томъ случаѣ, когда въ данной области находятся хотя бы

города средней величины съ сравнительно большимъ спросомъ на электричество. Распространеніе же такой формы оборудованія на большія области съ слабо развитой промышленностью, даже если къ числу пользующихся электрическимъ токомъ принадлежатъ и сельскіе хозяева, оказалось до сихъ поръ выгоднымъ только тамъ, гдѣ возможно очень дешевое полученіе тока посредствомъ дешевой водяной энергіи безъ большихъ затратъ на оборудованіе.

ГЛАВА IX.

Распредѣленіе электрической энергіи.

По мѣрѣ того, какъ расширяется область приложеній электрическаго тока, требованія, предъявляемыя къ электротехникѣ, принимаютъ совсѣмъ неожиданные размѣры. Вначалѣ были довольны, если удавалось питать одной машиною нѣсколько дуговыхъ лампъ какого-нибудь отдѣльнаго помѣщенія, но скоро при введеніи освѣщенія лампами накаливанія было поставлено электротехникѣ требованіе, питать отъ одного источника то или другое число калильныхъ лампъ такъ, чтобы каждая лампа оставалась независимою отъ другихъ и могла бы быть, по желанію, зажжена или потушена безъ вреда для горѣнія остальныхъ лампъ. Затѣмъ явилась новая задача: питать въ одной и той же цѣпи дуговыя и калильныя лампы. Разрѣшеніе этой задачи не представляло затрудненія для случая такого совмѣстнаго питанія въ какомъ-нибудь отдѣльномъ помѣщеніи или зданіи. Но весьма большія трудности сказались въ случаяхъ освѣщенія цѣлой части города, или даже цѣлаго города дуговыми и калильными лампами, при чемъ постояннымъ требованіемъ оставалась полная независимость всѣхъ отдѣльныхъ источниковъ свѣта. Вскорѣ къ этому требованію присоединилось еще другое, а именно: чтобы токъ служилъ не только для освѣтительныхъ цѣлей, но еще снабжалъ бы энергіей электродвигатели и нагрѣвательные приборы. Необходимо было выработать особые способы распредѣленія электрической энергіи, которые съ возрастаніемъ потребностей становились все труднѣе и сложнѣе.

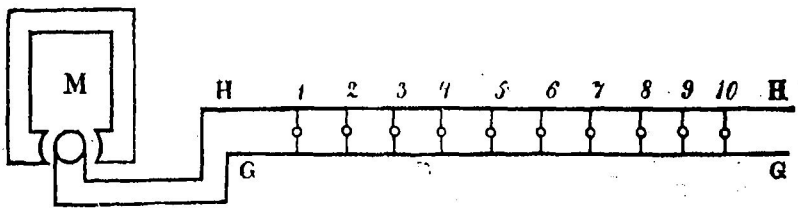
Питаніе нѣсколькихъ дуговыхъ лампъ отъ одной и той же машины не представляетъ затрудненій послѣ изобрѣтенія дифференціальной лампы. Всѣ лампы включаются послѣдовательно въ одну цѣпь, и, благодаря точному регулированію дифференціальной лампы, каждая изъ нихъ является независимою отъ остальныхъ. Но при извѣстномъ числѣ включенныхъ послѣдовательно лампъ необходимое напряженіе тока дѣлается скоро очень высокимъ. Такъ какъ у зажимовъ каждой лампы требуется напряженіе приблизительно въ 45 вольтъ, то токъ, питающій послѣдовательно 20 дуговыхъ лампъ, долженъ уже

имѣть напряженіе почти въ 1000 вольтъ, если принять во вниманіе потерю напряженія въ проводникахъ. Машины постояннаго тока и, въ особенности, машины перемѣннаго тока въ настоящее время безопасно даютъ подобное напряженіе; такимъ образомъ, самый дешевый и простой способъ питанія токомъ цѣлаго ряда дуговыхъ лампъ состоитъ въ послѣдовательномъ ихъ соединеніи. Этотъ способъ примѣняется всегда, когда устранена опасность прикосновенія къ проводамъ. Вводить же въ жилыя помѣщенія провода съ такимъ высокимъ напряженіемъ нежелательно, такъ какъ могутъ произойти несчастные случаи.

Вопросъ о цѣлесообразномъ распредѣленіи электричества между отдѣльными мѣстами потребленія сталъ особенно важнымъ съ появленіемъ освѣщенія калильными лампами. При освѣщеніи калильными лампами частныхъ квартиръ является большое число потребителей (абонентовъ), изъ которыхъ никому нѣтъ дѣла до другихъ, каждый хочетъ тушить и зажигать столько лампъ, сколько ему въ данное время надобно, не взирая на потребности своего сосѣда. Такимъ образомъ, оказалась необходимою полная независимость всякой отдѣльной лампы отъ остальныхъ, хотя онѣ и должны быть включены въ одну и ту же цѣпь, т. е. быть питаемы отъ одной и той-же центральной станціи.

Самъ же Эдисонъ скоро послѣ изобрѣтенія способа освѣщенія свѣтомъ накаливанія нашелъ и практическое средство для такого независимаго включенія. А именно: онъ включилъ всѣ лампы параллельно, т. е. такъ, какъ показываетъ черт. 537, гдѣ *M* изображаетъ машину, а 1, 2, 3 и до 10 изображаютъ лампы. Если сопротивленіе проводовъ *GG*, *HH* (которые можно брать съ очень большимъ поперечнымъ сѣченіемъ) очень мало, мы имъ можемъ пренебрегать въ

Черт. 537.



дальнѣйшихъ разсужденіяхъ и тогда у зажимовъ каждой лампы будемъ предполагать одно и то же напряженіе, а именно: равное напряженію у зажимовъ машины. Иными словами, провода, идущіе отъ зажимовъ машины до послѣдней лампы, дѣлаютъ столь толстыми, т. е. столь малаго сопротивленія, чтобы потеря напряженія (произведеніе силы тока на сопротивленіе) въ нихъ не превосходила, напримѣръ, 2—3%. Въ такой цѣпи, пока напряженіе у зажимовъ машины остается

неизмѣннымъ, въ каждомъ отвѣтвленіи, въ каждой лампѣ сила тока остается постоянною, такъ какъ его сопротивленіе неизмѣнно, и лампа всегда горитъ нормально. Ясно также, что, если напряженіе у зажимовъ машины всегда поддерживается постояннымъ, можно потушить или ввести любое число лампъ; всѣ лампы вполнѣ независимы другъ отъ друга.

Это рѣшеніе можетъ быть непосредственно перенесено и на тотъ случай, когда въ цѣпи питаются не только лампы накаливанія, но и электродвигатели. Если вмѣсто лампъ накаливанія 1, 2 и до 10, черт. 537, включить по электродвигателю и притомъ поддерживать напряженіе у зажимовъ машины постояннымъ, то черезъ каждый двигатель будетъ проходить токъ, отвѣчающій по силѣ совершаемой работѣ; но каждый двигатель вполнѣ независимъ отъ другого. Необходимымъ, но и достаточнымъ условіемъ выполненія всѣхъ требованій смѣшаннаго питанія калильныхъ лампъ и электродвигателей является постоянство напряженія у зажимовъ машины. Двигатели должны быть, конечно, такъ сконструированы и сопротивленіе ихъ обмотковъ должно быть такъ разсчитано, чтобы, при напередъ заданномъ постоянномъ напряженіи у зажимовъ машины, они могли производить наибольшую требуемую отъ нихъ работу. Вмѣсто лампъ 1—10, можно, конечно, включить также и нагрѣвательные аппараты, разсчитанные тоже на постоянное напряженіе.

При такомъ параллельномъ включеніи всѣхъ потребляющихъ приборовъ нужно заранѣе установить какое-нибудь нормальное напряженіе въ цѣпи, такъ-какъ всѣ калильныя лампы, электродвигатели и нагрѣвательные приборы должны быть такъ разсчитаны, имѣть такое сопротивленіе, чтобы при этомъ установленномъ напряженіи черезъ нихъ протекалъ токъ, необходимый для ихъ нормальнаго дѣйствія.

Вошло въ обыкновеніе примѣнять постоянный токъ съ напряженіемъ около 110 вольтъ (100—120 в.) въ главной цѣпи (во многихъ городахъ примѣняютъ напряженіе въ 220 вольтъ). Поэтому калильныя лампы, предназначенныя для большихъ установокъ, устраиваются такими, чтобы при названномъ напряженіи давать свѣтъ нормальной силы (обыкновенно 16 или 25 свѣчей); соотвѣтственнымъ же образомъ проектируются электродвигатели и нагрѣвательные приборы. Между двумя такими проводниками, разность потенціаловъ которыхъ равна 110 вольтамъ, можно включить и дуговыя лампы. Такъ какъ каждая дуговая лампа требуетъ напряженіе около 45 в., то между такими проводами можно включить двѣ лампы, соединенныя послѣдовательно, и еще соотвѣтственное добавочное сопротивленіе, и тогда черезъ лампы пойдетъ нормальный токъ. Такимъ же образомъ можно включать и калильныя лампы болѣе слабой силы свѣта, требующія и переносящія лишь меньшее напряженіе, между тѣми же магистралями, несущими

напряженіе въ 110 в.; стоитъ лишь ихъ включить послѣдовательно въ такомъ числѣ, чтобы сумма ихъ напряженій была какъ разъ около 110 вольтъ, т. е., напримѣръ, 4 калильныхъ лампы, назначенныя для напряженія въ 27 в.; 14 лампъ, требующихъ напряженіе въ 8 вольтъ.

Отсюда видно, что эта система параллельнаго включеніе представляетъ собою способъ распредѣленія электрической энергіи, прекрасно отвѣчающій всѣмъ требованіямъ.

Главнымъ условіемъ при этомъ является то, чтобы напряженіе у зажимовъ машины, производящей токъ, было постоянно однимъ и тѣмъ же. Въ виду этого необходимо, чтобы машинистъ непрерывно слѣдилъ по вольтметру за напряженіемъ у зажимовъ машины, а если оно почему-либо измѣнится, то, регулируя отвѣтвленіе, приводилъ бы это напряженіе немедленно къ требуемой нормальной величинѣ.

Иногда, впрочемъ, включеніе сопротивленія въ отвѣтвленіе производится не машинистомъ отъ руки, но автоматически при помощи особыхъ электродвигателей, возбуждаемыхъ токами.

Цѣлесообразнымъ является производить все огромное количество электричества при большомъ потребленіи не одною динамомашиною, но нѣсколькими, которыя и включаются смотря по надобности, такъ какъ потребность на электричество въ цѣпи распредѣленія сильно колеблется. Лампы горятъ большею частью лишь вечеромъ и часть ночи, двигатели же работаютъ главнымъ образомъ днемъ. Поэтому на центральной станціи устанавливается нѣсколько машинъ, изъ которыхъ каждая можетъ давать токъ не выше нѣкоторой опредѣленной силы; если потребляется большій токъ, чѣмъ доставляетъ одна машина, то къ ней присоединяется вторая, затѣмъ третья. Эти машины включаются всегда параллельно, и для того, чтобы производить присоединеніе плавно, чтобы потребители не ощущали никакихъ колебаній тока,—устраиваютъ особыя приспособленія, описывать которыя мы однако не будемъ.

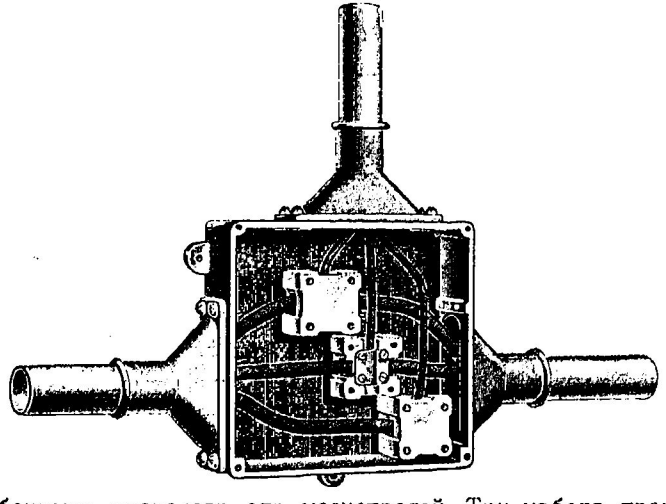
Отъ динамомашины или, лучше сказать, отъ ея обоихъ зажимовъ идутъ провода (или кабели) къ распредѣлительной доскѣ, на которой расположены необходимые приборы, какъ-то: вольтметръ, амперметръ, выключатели, реостаты для шунта и для главной цѣпи, предохранители и т. д. Если на центральной станціи установлено нѣсколько машинъ, то всѣ ихъ зажимы, посредствомъ выключателя, присоединяются къ двумъ полюсамъ на распредѣлительной доскѣ, называемымъ собирательными шинами; такимъ образомъ машины соединены параллельно. Отъ собирательныхъ шинъ идетъ черезъ городъ двойной проводъ, укладываемый въ землю и состоящій изъ кабелей большого сѣченія, такъ какъ они предназначены для сильныхъ токовъ. Отъ каждаго изъ этихъ кабелей отвѣтвляется въ каждую улицу по одному кабелю меньшаго сѣченія. Еще меньшее сѣченіе

сравнительно съ послѣдними имѣютъ провода, идущіе въ переулки, и, наконецъ, провода, идущіе въ отдѣльные дома. Все устройство ведется, слѣдовательно, аналогично устройству газопроводной сѣти.

Для проводки въ настоящее время часто примѣняются кабели, состоящіе изъ мѣдной внутренней жилы и мѣднаго проводника концентрическаго съ ней, сдѣланнаго изъ проволокъ, такъ что одинъ проводникъ вполнѣ окруженъ другимъ. Такимъ образомъ оба проводника содержатся въ одномъ кабелѣ. Внѣшній проводникъ окружается изоляціонной массой. Затѣмъ, поверхъ изолирующаго слоя накладывается свинцовая оболочка, а поверхъ этой послѣдней иногда еще желѣзная броня, т. е. оболочка изъ желѣзныхъ лентъ. Для трехфазнаго тока берутъ, конечно, три кабеля.

Всѣ отвѣтвленія отъ главнаго кабеля и отъ побочныхъ кабелей, равно какъ и лампы, и двигатели каждаго отдѣльнаго дома включаются параллельно. Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ вѣтви отвѣтвляются, присоединяютъ распредѣлительные ящики, которые заключаютъ въ себѣ мѣста отвѣтвленій. На черт. 538 изображенъ такой ящикъ для проводовъ трехфазнаго тока. Въ этомъ ящикѣ происходитъ отвѣт-

Черт. 538.



леніе побочныхъ проводовъ отъ магистралей. Три кабеля трехфазнаго тока проходятъ слѣва и справа черезъ стальныя трубы, введенныя въ ящикъ посредствомъ упорныхъ выступовъ. Самое отвѣтвленіе внутри ящика устраивается посредствомъ клеммъ (зажимовъ) на фарфоровыхъ шайбахъ. Отвѣтвленные кабели внизу или вверху выводятся наружу черезъ стальную трубу.

При такомъ устройствѣ электрическая энергія распредѣляется съ полной безопасностью, и каждый потребитель независимъ отъ другого, благодаря параллельному соединенію и постоянному напря-

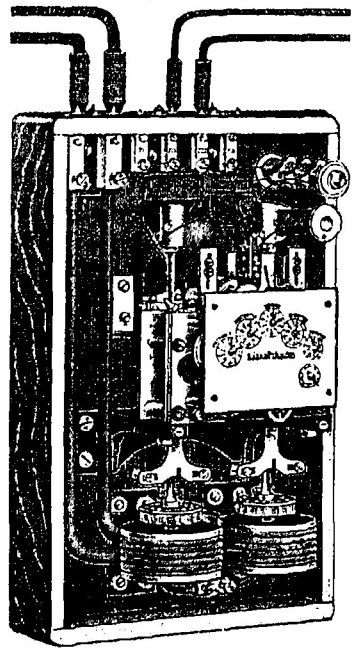
женію въ цѣпи. Здѣсь есть однако еще одно обстоятельство большой важности. Именно, каждый потребитель долженъ знать, какое количество электричества потрачено имъ, и электрическое общество, снабжающее его токомъ, должно быть освѣдомлено на счетъ величины потребленія въ каждой освѣщаемой электричествомъ квартирѣ. Это необходимо для разсчета стоимости потребленія энергіи. Однимъ словомъ, дѣло идетъ о примѣненіи счетчика электричества.

Подобный счетчикъ можетъ быть устроенъ различно. Задача состоитъ въ томъ, чтобы въ нѣкоторой опредѣленной установкѣ, напримѣръ, въ нѣкоторой квартирѣ, измѣрить количество потребленной электрической энергіи за данный промежутокъ времени (напр. 1 мѣсяцъ). Произведенная электрическимъ токомъ въ 1 секунду работа измѣряется произведеніемъ изъ его напряженія (въ вольтахъ) на его силу (въ амперахъ). Число ваттъ (вольтъ-амперъ), развиваемыхъ токомъ, представляетъ, такимъ образомъ, электрическую энергію, доставленную токомъ въ 1 секунду и израсходованную потребителемъ. Это число, умноженное на время пользованія токомъ, выражаетъ все количество потребленной энергіи. Время обыкновенно выражаютъ въ часахъ и, слѣдовательно, счетчикъ долженъ показывать ваттъ-часы. Если бы напряженіе въ цѣпи было совершенно постоянно, напримѣръ, равно 110 вольтамъ, то счетчикъ долженъ показывать только амперъ-часы (произведеніе изъ силы тока на время). Число амперъ-часовъ, умноженное на 110, дастъ въ настоящемъ случаѣ число потребленныхъ ваттъ-часовъ. Но обыкновенно напряженіе въ цѣпи не бываетъ абсолютно неизмѣннымъ, а потому лучше пользоваться счетчиками, которые мѣряютъ прямо ваттъ-часы, такъ какъ ваттъ-часы и являются той энергіей, при доставленіи которой общество несетъ извѣстные расходы, и за которую, слѣдовательно, оно и желаетъ имѣть вознагражденіе по установленному тарифу.

Принципъ счетчика Арона, измѣряющаго ваттъ-часы, слѣдующій: Произведеніе вольтъ на амперы, слѣдовательно, ватты измѣряется величиной взаимодѣйствія 2-хъ катушекъ, по которымъ течетъ токъ; время же измѣряется по качаніямъ маятника. Въ приборѣ находится два маятника равной длины и одного и того же вѣса, каждый изъ которыхъ дѣйствуетъ на особый часовой механизмъ (черт. 539). Если оба маятника колеблются подъ дѣйствіемъ одной силы тяжести, какъ это бываетъ въ обыкновенныхъ часахъ, то они оба движутся одинаково, и ходъ обоихъ часовыхъ механизмовъ одинаковъ. Въ соединеніи съ обоими часовыми механизмами находится указатель, который приходитъ въ движеніе лишь при условіи, если существуетъ разница въ ихъ ходѣ. Вслѣдствіе этого онъ остается въ покоѣ, пока на оба маятника дѣйствуетъ лишь сила тяжести, хотя маятники и колеблются. У каждаго изъ маятниковъ на концѣ имѣется катушка

изъ тонкой проволоки, а подъ каждой такой катушкой неподвижно установлена катушка изъ толстой проволоки. Если по этимъ катушкамъ и по верхней, и по нижней пропустить токъ, то онѣ взаимодѣйствуютъ между собою съ силой, зависящей отъ произведенія идущихъ по катушкамъ токовъ. Мы знаемъ уже эту электродинамическую силу (стр. 230). Теперь маятники находятся не только подъ дѣйствіемъ силы тяжести, но еще и электродинамической силы токовъ, вслѣдствіе чего мѣняется ихъ періодъ колебанія. Включенія производятся такъ, что при пропусканіи тока колебаніе одного маятника ускоряется, а другого замедляется. Указатель, благодаря этому, приходитъ въ движеніе, и очевидно показанія его зависятъ отъ произведенія двухъ токовъ, текущихъ по этимъ катушкамъ (вверху и внизу) и отъ продолжительности дѣйствія тока.

Черт. 539.

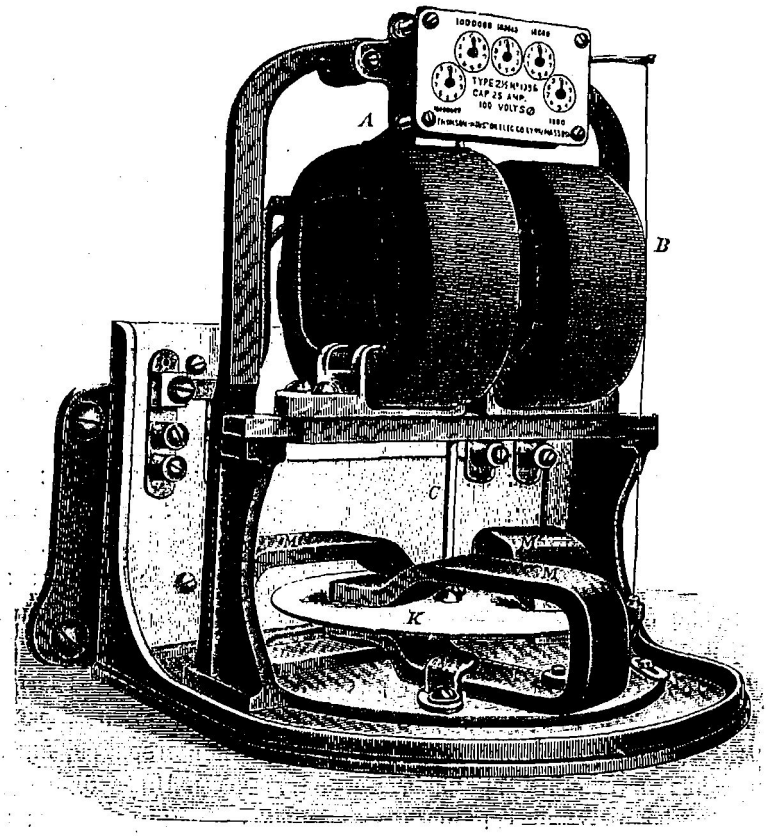


По обѣимъ неподвижнымъ катушкамъ мы пускаемъ главный токъ, тогда какъ подвижныя катушки включаются между обоими проводами, вступающими въ помѣщеніе. Такъ какъ сопротивленіе этихъ катушекъ неизмѣнно, то, очевидно, сила тока въ нихъ зависитъ только отъ напряженія, господствующаго между главными проводами, а слѣдовательно, и все электродинамическое взаимодѣйствіе между обѣими катушками пропорціонально произведенію силы главнаго тока на его напряженіе, т. е. пропорціонально измѣряемымъ ваттамъ. Дифференціальный часовой механизмъ измѣряетъ, значитъ, произведеніе ваттъ на время т. е. ваттъ-часы. Циферблатъ даетъ прямо энергію въ киловаттъ-часахъ, при чемъ первый указатель показываетъ тысячи, второй сотни и т. д., послѣдній—десятыя киловаттъ-часовъ. Очевидно, что приборъ этотъ пригоденъ не только для постоянныхъ, но и для перемѣнныхъ токовъ, такъ какъ взаимодѣйствіе токовъ обѣихъ катушекъ остается однимъ и тѣмъ же, когда измѣненіе направленія тока происходитъ въ нихъ одновременно..

Кромѣ того весьма удобенъ и получилъ широкое распространеніе счетчикъ Томсонъ-Гоустона, изобрѣтенный въ Америкѣ. Онъ принадлежитъ къ типу такъ называемыхъ счетчиковъ-двигателей. На черт. 540 представлено его внутреннее устройство. Счетчикъ со-

стоитъ изъ электродвигателя безъ желѣзныхъ частей, вращающаго мѣдный дискъ между полюсами магнита. Роль индукторовъ въ электродвигателѣ играютъ двѣ катушки A и B изъ толстой проволоки; черезъ нихъ проходитъ главный токъ. Между ними находится якорь также безъ желѣза съ обмоткой барабаннаго типа, съ вертикальною осью C. Барабанная обмотка включается между проводами, имѣющими данное напряженіе, при чемъ передъ ней вводится еще дополнительное сопротивленіе. Ея токъ пропорціоналенъ напряженію. Якорь

Черт. 540.

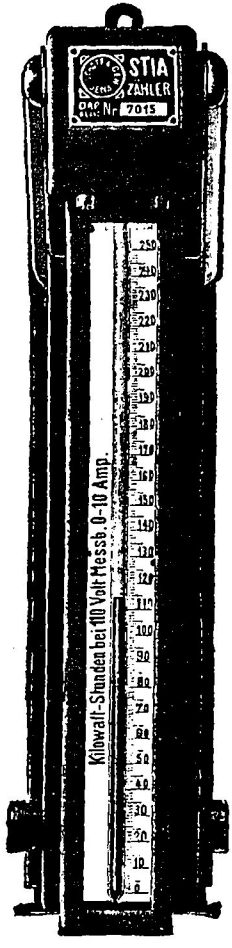


приходитъ во вращеніе, и скорость его вращенія непрерывно увеличивалась бы, если бы энергія его движенія не расходовалась на совершеніе работы. Эта работа состоитъ во вращеніи показаннаго внизу мѣднаго диска K между полюсами трехъ подковообразныхъ магнитовъ MMM. Такимъ образомъ якорь и дискъ приходятъ въ равномѣрное вращеніе и при помощи зубцовъ приводятъ въ движеніе систему колесъ, снабженныхъ указателями. Эти указатели движутся по циферблату, показанному вверху чертежа, и ихъ положеніе прямо показываетъ ваттъ-часы, если, конечно, счетчикъ установленъ надле-

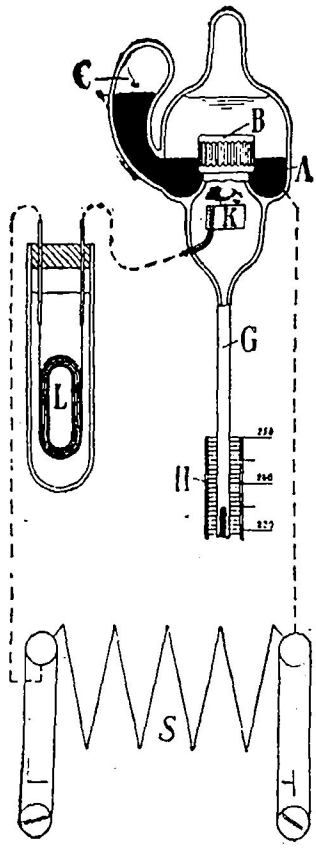
жащимъ образомъ. Это достигается либо измѣненіемъ добавочнаго сопротивленія, либо же измѣненіемъ положенія магнитныхъ полюсовъ. Приборъ заключается въ коробку, на виду остаются только циферблаты. Для перемѣннаго и многофазнаго тока употребляются подобные же счетчики, только тамъ ставятъ индукціонный двигатель (стр. 597).

Большинство употребляющихся нынѣ счетчиковъ основано или на этихъ, или на подобныхъ принципахъ. Эти счетчики не отличаются большой точностью. Для счетчиковъ при полной нагрузкѣ, т. е. тогда, когда онъ получаетъ максимальный токъ, который только можетъ выдержать въ силу своей конструкціи, наибольшая допустимая на законномъ основаніи погрѣшность составляетъ 6%; при меньшей нагрузкѣ точность его еще меньше. Такъ какъ съ введеніемъ лампъ съ металлическими нитями потребленіе тока въ большинствѣ домовъ уменьшилось, то правильность показаній такого счетчика часто довольно сомнительна. Новый счетчикъ, распространяемый фирмой Шоттъ и К° въ Іенѣ подъ названіемъ „Стіа“, имѣетъ то преимущество, что показываетъ съ одинаковой точностью при всякихъ нагрузкахъ, такъ что и при полной, и при совсѣмъ малой нагрузкѣ ошибка остается одной и той же, около 2%. Но этотъ счетчикъ считаетъ не ваттъ-часы, а амперъ-часы, такъ что ваттъ-часы можно получить изъ показаній его только при томъ условіи, что напряженіе остается постояннымъ. Счетчикъ Стіа, изображенный на черт. 541, представляетъ собой ртутный вольтаметръ, въ которомъ отсчитывается общее количество выдѣлившейся ртути. Такъ какъ это количество зависитъ отъ числа амперъ-часовъ, прошедшихъ черезъ вольтаметръ, то счетчикъ прежде всего измѣряетъ это число. Устройство счетчика представлено на черт. 542. Сосудъ AC изъ іенскаго стекла содержитъ ртуть (изображенную черно на рисункѣ); ртуть наливается въ камеру, раздѣленную внутри маленькой стѣнкой изъ стеклянныхъ палочекъ B. Надъ ртутью и въ нижней части сосуда находится электролитическая жидкость, состоящая изъ воднаго раствора двуіодистой ртути и іодистаго калія, при чемъ на 1 литръ берется 225 гр. двуіодистой ртути и 750 гр. іодистаго калія. При K находится катодъ, иридіевая пластинка. Когда токъ проходитъ черезъ элементъ, отъ ртути къ

Черт. 541.



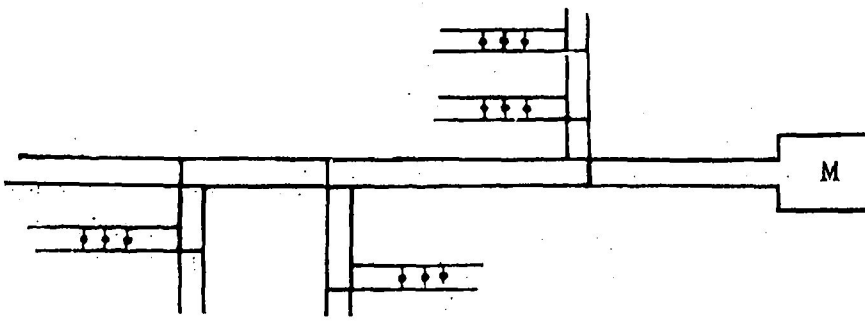
Черт. 542.



иридію, на иридіѣ выдѣляется ртуть, которая стекаетъ маленькими каплями въ калибрированную измѣрительную трубку G; высота ея въ трубкѣ отсчитывается по шкалѣ H. Черезъ приборъ пропускается не тотъ токъ, который мы измѣряемъ, а извѣстная часть его: приборъ присоединяютъ къ концамъ небольшого сопротивленія S (сдѣланнаго изъ константана) параллельно къ нему. Передъ приборомъ включается еще добавочное сопротивленіе L изъ никкелевой проволоки. При повышеніи температуры сопротивленіе никкелевой проволоки увеличивается, но во столько же разъ уменьшается сопротивленіе электролита, такъ что отношеніе сопротивленій въ обѣихъ вѣтвяхъ параллельнаго соединенія остается однимъ и тѣмъ же. При прохожденіи тока жидкость на катодѣ становится легче, на анодѣ тяжелѣе, а такъ какъ катодъ дѣлается нарочно подъ анодомъ, то въ самой жидкости возникаютъ теченія, которыя выравниваютъ концентрацію раствора. Когда трубка наполнится ртутью, нужно опрокинуть счетчикъ такъ, чтобы ртуть опять стекла въ сосудъ A. Эти удобные и точные счетчики все болѣе и болѣе входятъ въ употребленіе за послѣднее время.

До сихъ поръ мы предполагали, что токъ проводится отъ центральной станціи къ отдѣльнымъ мѣстамъ потребленія такимъ образомъ: отъ машины идутъ двѣ магистрали съ напряженіемъ около 110 вольтъ; отъ нихъ отвѣтвляется по два провода въ каждую улицу или

Черт. 543.

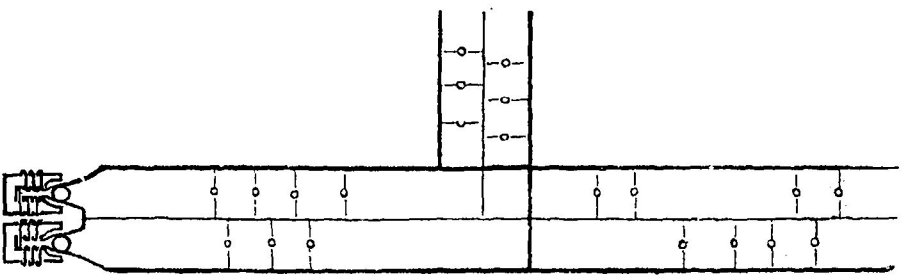


въ каждую группу домовъ и т. д. Схема такой проводки изображена на черт. 543. Такую систему называютъ двухпроводной.

Эта система самая простая и самая понятная, но при большихъ разстояніяхъ она очень дорога. Дѣйствительно, такъ какъ главные провода должны нести токъ для всѣхъ потребляющихъ приборовъ, т. е. проводить токъ очень большой силы, то они должны имѣть ничтожное сопротивленіе, чтобы, во-первыхъ, въ нихъ не развивалось слишкомъ много джоулева тепла, а во-вторыхъ, чтобы потеря напряженія отъ начала проводовъ до конца ихъ была незначительною, что весьма существенно въ системѣ параллельнаго включенія. По этимъ причинамъ приходится брать провода очень толстые и, какъ показываетъ практика, уже при разстояніи болѣе 800 метровъ между машиною и послѣднею лампою, такая система распредѣленія не можетъ быть экономичною. Такимъ образомъ, двухпроводная система годна лишь для района съ радіусомъ не большимъ 800 метровъ.

Для распредѣленія тока по большому району Эдисонъ и Гопкинсонъ придумали схему, оказавшуюся очень выгодною на практикѣ, называемую трехпроводною системою. При этой системѣ на центральной станціи устанавливаются двѣ машины, соединенныя послѣдовательно, съ напряженіемъ у зажимовъ каждой изъ нихъ по 110 в., такъ что разность потенціаловъ на внѣшнихъ зажимахъ равняется 220 в. Отъ обоихъ этихъ зажимовъ, а также и отъ среднихъ, соединенныхъ другъ съ другомъ, идутъ провода по городу.

Черт. 544.



Средній проводъ называется еще выравнивающимъ (нулевымъ). Между среднимъ проводомъ и каждымъ изъ крайнихъ включаются параллельно лампы, двигатели и проч., какъ показываетъ черт. 544; такимъ образомъ, у зажимовъ этихъ приборовъ напряженіе равно 110 в. Такъ какъ энергія передается теперь отъ станціи при двойномъ напряженіи, т. е. при силѣ тока, равной половинѣ той, которая была въ двухпроводной сѣти, то внѣшніе провода могутъ быть меньшаго сѣченія. Однако въ этой системѣ являются источники новыхъ расходовъ: на двойной комплектъ машинъ, на средній проводъ, на большее число

измѣрительныхъ и регулирующихъ аппаратовъ; по этимъ причинамъ районъ, на которомъ она работаетъ еще съ выгодою, не превышаетъ 1.200 м. въ радіусѣ. Теперь однако строятъ моторы на 220 вольтъ, которые, значитъ, включаются прямо между обоими внѣшними проводами. Равнымъ образомъ, но съ меньшимъ успѣхомъ примѣняются и лампы накаливаніи на 220 вольтъ. Лампы Нернста легко конструируются на 220 в.

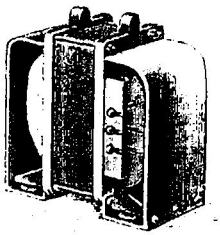
При этихъ системахъ распредѣленія центральная станція устраивается по возможности въ центрѣ сѣти, питаемой ея токомъ. Обыкновенно въ машинномъ зданіи помѣщается еще и аккумуляторная батарея, которая позволяетъ пользованіе машинами сдѣлать болѣе правильнымъ, если ее заряжать во время наименьшаго потребленія тока абонентами; при этомъ машины могутъ быть установлены меньшей мощности.

При трехпроводной системѣ, которая теперь примѣняется на всѣхъ болѣе или менѣе значительныхъ установкахъ постояннаго тока, требуется имѣть 2 динамомашины, по 110 вольтъ каждая. Можно однако вмѣсто этого взять батарею аккумуляторовъ съ напряженіемъ въ 220 вольтъ и только одну динамомашину на 220 вольтъ. Аккумуляторная батарея заряжается машиною, а три провода, идущіе по городу, присоединяются къ двумъ крайнимъ аккумуляторамъ и къ среднему. Было сдѣлано много попытокъ питать трехпроводную сѣть отъ одной только динамомашины въ 220 вольтъ безъ помощи аккумуляляторовъ. Въ настоящее время это легко достигается безъ значительнаго увеличенія стоимости машины примѣненіемъ такъ называемаго дѣлителя напряженія системы Доливо-Добровольскаго, конструируемаго берлинскимъ Об-омъ A. E. G. Именно обыкновенную динамомашину постояннаго тока въ 220 вольтъ снабжаютъ двумя, насаженными на ось, контактными кольцами, къ которымъ прикасаются щетки. Кольца эти присоединены къ двумъ діаметрально противоположнымъ катушкамъ якоря (барабаннаго или кольцевого). Мы знаемъ, что при вращеніи якоря въ каждой отдѣльной катушкѣ возбуждается перемѣнный токъ. Поэтому, при такомъ расположеніи отъ колецъ черезъ щетки идетъ перемѣнный токъ. Этотъ токъ направляется въ неподвижную катушку съ очень большой самоиндукціей; катушка наматывается на желѣзное кольцо (реактивная катушка). Токъ, проходящій черезъ катушку, очень слабъ по причинѣ большой самоиндукціи ея. Напряженіе въ серединѣ обмотки катушки какъ разъ соотвѣтствуетъ серединѣ между напряженіями зажимовъ машины. Если, напримѣръ напряженія зажимовъ суть + 110 вольтъ и —110 вольтъ, то въ серединѣ катушки напряженіе равно 0 вольтъ. Къ этой точкѣ можно присоединить средній проводъ трехпроводной сѣти. Черт. 545 схематически показываетъ подобное расположеніе. Вверху видна динамомашина постояннаго тока съ обыкновеннымъ коллекторомъ, къ которому

Черт. 545.



Черт. 546.



прикасаются щетки B_1 и B_2. Кромѣ того, видны контактныя кольца со щетками a и b, отъ которыхъ перемѣнный токъ идетъ къ катушкѣ S. Въ точкѣ O къ прибору присоединяется средній проводъ N, внѣшніе же провода L_1 и L_2 идутъ отъ щетокъ B_1 и B_2. На черт. 546 изображенъ подобный дѣлитель напряженія. Онъ имѣетъ видъ трансформатора и не требуетъ никакого ухода, такъ какъ въ немъ нѣтъ движущихся частей. Фирма Сименсъ-Шукертъ строитъ трехпроводныя динамомашины, въ которыхъ дѣленіе напряженія производится безо всякихъ особенныхъ аппаратовъ, при помощи добавочной обмотки въ якорѣ.

Трехпроводная система очень удобна для распредѣленія энергіи и, какъ уже упомянуто, примѣнима еще съ выгодою при разстояніи въ 1.200 метровъ отъ центральной станціи. Если же нужно снабжать постояннымъ токомъ бо̀льшія пространства, то необходимо устраивать нѣсколько отдѣльныхъ центральныхъ станцій, какъ это, напримѣръ, существуетъ въ Берлинѣ, или же устраивать аккумуляторныя подстанціи, снабжающія токомъ свои участки.

Но для такихъ большихъ разстояній между центральною станціею и потребляющими приборами болѣе выгодною является система распредѣленія энергіи при помощи перемѣнныхъ и многофазныхъ токовъ съ примѣненіемъ трансформаторовъ.

Большое преимущество перемѣнныхъ токовъ съ трансформаторами заключается въ томъ, что они позволяютъ проводить по главной линіи энергію въ видѣ тока высокаго напряженія и малой силы, которая на мѣстахъ потребленія преобразуется посредствомъ трансформаторовъ въ токъ низкаго напряженія, но большой силы. Это позволяетъ, не боясь потерь, сдѣлать главные провода съ большимъ сопротивленіемъ, т. е. изъ тонкой проволоки, и такимъ образомъ провести электрическую энергію дешево на большія разстоянія.

Питаемые приборы—лампы, двигатели—и въ этой системѣ должны быть независимыми другъ отъ друга и работаютъ при низкомъ напряженіи обыкновенно въ 110 в., какъ и въ обыкновенной двухпроводной системѣ.

Это достигается тѣмъ, что всѣ трансформаторы, т. е. ихъ первичныя обмотки, включаются параллельно между главными проводами.

При этой системѣ распредѣленія тока въ какомъ-нибудь мѣстѣ, иногда находящемся далеко внѣ питаемаго района, устанавливается машина перемѣннаго или трехфазнаго тока. Если требуется отъ станціи большая энергія, то устанавливаютъ нѣсколько машинъ, соединяемыхъ параллельно; долгое время это представляло значительныя трудности при выполненіи; теперь же параллельное соединеніе альтернаторовъ не представляетъ больше никакихъ затрудненій. Токъ отъ этихъ машинъ посылается въ главные провода. При однофазномъ токѣ примѣняются два провода, при трехфазномъ три. Этотъ третій проводъ на первый взглядъ является недостаткомъ трехфазнаго тока сравнительно съ однофазнымъ. Но на самомъ дѣлѣ это не такъ. Три провода, примѣняемые для трехфазнаго тока, при одномъ и томъ же количествѣ передаваемой энергіи и при той же потерѣ энергіи имѣютъ сѣченіе не большее, чѣмъ два провода при простомъ перемѣнномъ токѣ. Слѣдовательно, вѣсъ мѣди, идущей на провода, одинъ и тотъ же. Неудобство же, представляемое необходимостью проведенія третьяго провода, въ значительной степени окупается многими преимуществами трехфазнаго тока. Въ главныхъ проводахъ (магистраляхъ) примѣняются токи обыкновенно отъ 1.000 до 5.000 и даже до 10.000 вольтъ напряженія, а въ исключительныхъ случаяхъ и еще болѣе высокаго.

Магистрали, по которымъ идетъ токъ высокаго напряженія, или прокладываются въ землѣ, или проводятся въ воздухѣ. Въ первомъ случаѣ примѣняются концентрическіе кабели, въ которыхъ одинъ проводъ облегаетъ второй, во второмъ—проводники укрѣпляются на столбахъ посредствомъ изоляторовъ. Несмотря на высокое напряженіе, такая изоляція обыкновенно вполнѣ достаточна. Такимъ образомъ магистрали проводятся отъ центральной станціи по всѣмъ районамъ, питаемымъ токомъ. Въ каждомъ такомъ районѣ отъ магистралей проводятся отвѣтвленія, ведущія каждое къ отдѣльному трансформатору, причемъ всѣ трансформаторы, какъ было упомянуто, включаются параллельно. Въ случаѣ воздушной проводки трансформаторы обыкновенно помѣщаются въ особые кіоски. Въ случаѣ подземной проводки трансформаторы помѣщаются или въ кіоскахъ, или въ подвалахъ. Трансформаторы, какъ и магистрали, всегда должны быть недоступны для постороннихъ лицъ въ виду опасности высокаго напряженія.

Въ трансформаторахъ энергія тока видоизмѣняется такимъ образомъ, что его напряженіе на концахъ вторичныхъ нажимовъ пони-

жается до 100—110 вольтъ. Токъ, идущій отъ зажимовъ вторичной обмотки трансформаторовъ, направляется къ потребляющимъ приборамъ, которые всѣ включаются тоже параллельно. Такимъ образомъ отъ конечныхъ зажимовъ вторичныхъ проводовъ отходятъ два параллельныхъ главныхъ провода (если и отъ средняго зажима отходитъ проводъ, то всего ихъ будетъ три); напряженіе между ними 110 вольтъ; они проходятъ черезъ весь районъ и между ними включаются параллельно всѣ лампы калильныя и дуговыя, двигатели и нагрѣвательные приборы. Такъ какъ для каждаго района устанавливается особый трансформаторъ, то провода для токовъ большой силы имѣютъ лишь небольшую длину, а отсюда и происходитъ значительное удешевленіе затраты на установку сѣти, которое отличаетъ описываемую систему.

При трехфазномъ токѣ лампы включаются между какими-нибудь двумя проводами изъ трехъ, тогда какъ для моторовъ нужны всѣ 3 провода, изъ которыхъ каждый отвѣтвляется отъ одного изъ трехъ главныхъ проводовъ.

Слабая сторона этой системы заключается лишь въ томъ, что по трансформаторамъ (ихъ первичнымъ обмоткамъ) протекаетъ токъ даже и тогда, когда во вторичныхъ обмоткахъ токъ не потребляется. При намагничиваніи сердечника всегда теряется извѣстная работа и эта работа совершается, такимъ образомъ, въ теченіе всѣхъ 24 часовъ, тогда какъ потребленіе тока продолжается всего около 6 часовъ. По этой причинѣ теряется значительный процентъ электрической энергіи. Второй значительный недостатокъ системы перемѣннаго тока заключается въ томъ, что не существуетъ никакого аккумулятора для перемѣннаго тока. Поэтому большія машины должны работать день и ночь, несмотря на то, что потребленіе достигаетъ значительныхъ размѣровъ только въ опредѣленные часы. При постоянномъ токѣ, запасая энергію въ аккумуляторахъ, можно питать ими цѣпь въ часы малаго потребленія; при перемѣнномъ же и трехфазномъ токѣ ради нѣсколькихъ лампъ, горящихъ ночью, должны непрерывно работать большія машины.

Несмотря на всѣ свои недочеты, система эта весьма распространена. Она примѣнена между прочимъ въ Вѣнѣ, Римѣ, Люцернѣ, Нюренбергѣ, Амстердамѣ и во многихъ другихъ мѣстахъ. Она для большихъ округовъ гораздо дешевле и выгоднѣе, чѣмъ система постояннаго тока, а такъ какъ моторы трехфазнаго тока лучше, чѣмъ моторы постояннаго тока, то трехфазный токъ не только догналъ, но даже и побѣдилъ различныя системы распредѣленія постояннаго тока. Чтобы соединить преимущества обѣихъ системъ, переходятъ къ комбинированной системѣ распредѣленія. Полученный перемѣнный или трехфазный токъ высокаго напряженія въ городѣ видоизмѣняется посред-

ствомъ трансформаторовъ въ токъ низкаго напряженія. А этотъ послѣдній посредствомъ особаго умформера (стр. 517) обращается въ постоянный токъ. Полученный такимъ образомъ постоянный токъ въ соединеніи съ аккумуляторами идетъ уже прямо на потребленіе. Конечно, при превращеніи перемѣннаго тока въ постоянный значительный процентъ энергіи теряется; несмотря на это, такая система много разъ оказывалась пригодной именно потому, что освѣщеніе при помощи постояннаго тока гораздо пріятнѣе, чѣмъ при помощи перемѣннаго. Такъ какъ обѣ эти столь различныя системы имѣютъ каждая свои преимущества, то распредѣленіе и передача электрической энергіи примѣнительно къ разнообразнымъ внѣшнимъ условіямъ развивается теперь съ каждымъ днемъ.

Въ большихъ городахъ особеннаго развитія достигла система трехфазнаго тока съ примѣненіемъ трансформаторовъ.

ГЛАВА X.

Электрическіе желѣзныя дороги, лодки и автомобили.

Какъ только электрическая энергія оказалась способною совершать тяжелую работу и, благодаря быстрой и легкой передачѣ на разстояніе, совершать ее далеко отъ мѣста, гдѣ она сама возбуждается, сейчасъ же явилась возможность электричествомъ приводить въ движеніе вагоны желѣзныхъ дорогъ, трамваи, фургоны, лодки и т. п. Примѣненіе электричества, какъ средства передвиженія, создало уже и теперь новые удобные виды передвиженія и послужитъ еще и впередъ къ ихъ усовершенствованію.

Сименсъ и Гальске еще въ 1879 г. устроили первую электрическую желѣзную дорогу на промышленной выставкѣ въ Берлинѣ. Принципъ электрической желѣзной дороги, идея которой впервые дана Вернеромъ Сименсомъ, состоитъ въ слѣдующемъ: если электрическій токъ извнѣ поступаетъ въ динамомашину (электродвигатель), то якорь ея придетъ во вращеніе. Если передать какимъ-нибудь образомъ вращеніе оси якоря колесамъ, которыя могли бы двигаться по рельсамъ, а къ динамомашинѣ все время какимъ-нибудь образомъ подводить токъ, то эти колеса съ динамомашиной пойдутъ по рельсамъ, увлекая съ собою крѣпко связанный съ ними вагонъ, и электрическая желѣзная дорога готова.

Отсюда видно, что электрическая желѣзная дорога есть частный случай электрической передачи и производства работы. Гдѣ-нибудь производится электрическій токъ (отъ динамомашины, установленной гдѣ-нибудь вблизи дороги, или отъ аккумуляторовъ, или элементовъ); онъ передается двигателю желѣзнодорожнаго вагона, и этотъ послѣдній приходитъ въ движеніе. Очевидно, это то же самое, что и всякая иная электрическая передача работы.

Но въ этомъ частномъ случаѣ являются нѣкоторыя особенныя трудности, главнѣйшею изъ которыхъ является слѣдующая: какимъ образомъ передать токъ желѣзнодорожному вагону (его двигателю)?

Въ случаѣ неподвижной установки при передачѣ энергіи между первичною динамомашиною и электродвигателемъ существуетъ нѣко-

торое опредѣленное разстояніе, и потому ихъ можно соединить неподвижными проводами. Въ случаѣ же электрической желѣзной дороги двигатель самъ перемѣщается, его разстояніе отъ динамомашины, производящей токъ, мѣняется, а потому проводникъ тока, соединяющій ихъ, долженъ быть перемѣнной длины. Въ дѣйствительности это было труднѣйшимъ вопросомъ при устройствѣ электрической желѣзной дороги.

Естественною является здѣсь мысль воспользоваться самими рельсами, какъ проводниками; такимъ именно образомъ и была устроена упомянутая выше первая электрическая желѣзная дорога Сименса и Гальске.

Двигатель получаетъ токъ отъ первичной динамомашины, которая устанавливается гдѣ-нибудь вблизи пути вмѣстѣ съ паровою машиной, отъ которой она получаетъ свою энергію. Токъ отъ динамо проводится къ двигателю, вторичной машинѣ, по рельсамъ, причемъ проложено было три линіи рельсовъ. По двумъ крайнимъ шли колеса, средній служилъ лишь, какъ проводникъ тока; токъ поступалъ съ него въ электродвигатель, а затѣмъ уже, пройдя по проволокамъ якоря и электромагнитовъ, черезъ вагонныя колеса и крайніе рельсы возвращался къ первичной машинѣ.

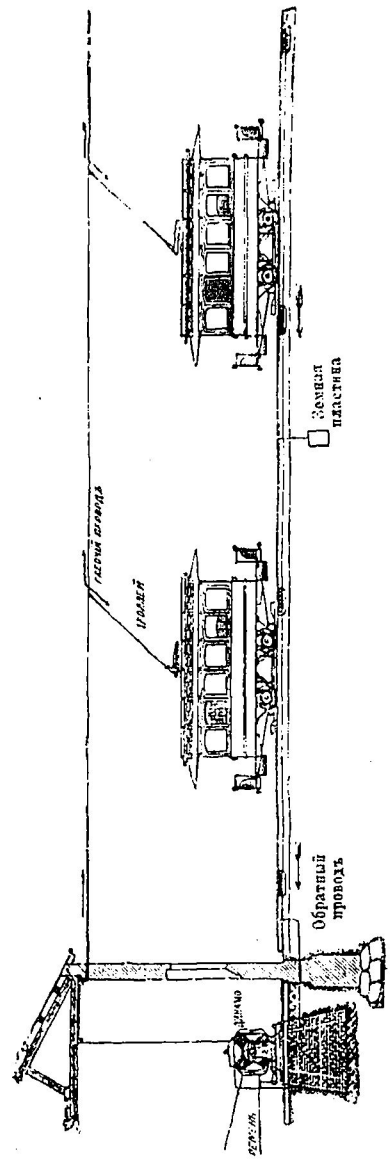
Скоро, однако, оказалось, что пользоваться рельсами, какъ проводниками тока, возможно лишь въ рѣдкихъ случаяхъ. Въ сырую погоду, а особенно, если между рельсами лежитъ снѣгъ, крайніе рельсы оказываются въ сообщеніи со среднимъ, что причиняетъ весьма значительное ослабленіе тока. Поэтому съ самаго же начала пришлось обратиться къ другимъ средствамъ проведенія тока къ вагону, не сопряженнымъ съ такими потерями.

По мѣрѣ развитія электрическихъ желѣзныхъ дорогъ были найдены различные способы приведенія электричества. Существуютъ три различныя системы, а именно: система воздушныхъ проводовъ, система подземной канализаціи и, наконецъ, система, при которой не нужно приведеніе тока издалека, а именно аккумуляторная желѣзная дорога.

Уже въ одной изъ первыхъ своихъ установокъ Сименсъ и Гальске примѣнили систему воздушной проводки, когда проводъ, уложенный на уровнѣ рельсовъ, оказался нецѣлесообразнымъ. Наибольшаго же развитія эта система достигла въ Америкѣ, гдѣ способы устройства городскихъ электрическихъ желѣзныхъ дорогъ очень хорошо разработаны и усовершенствованы; изъ Америки электрическія желѣзныя дороги въ усовершенствованномъ видѣ обратно перешли въ Европу; теперь главнымъ образомъ распространена именно эта система. Она состоитъ въ томъ, что надъ рельсами подвѣшивается особый голый проводъ, по которому идетъ токъ отъ машины. По этому про-

воду, называемому рабочимъ или троллейнымъ, скользитъ укрѣпленный на крышѣ вагона стержень и проводитъ токъ въ вагонъ, къ находящемуся въ телѣжкѣ послѣдняго электродвигателю. Отъ него токъ возвращается въ динамомашину черезъ рельсы и, такимъ образомъ, замыкается цѣпь. Обыкновенно вдоль рельсоваго пути въ одно и то же время движется нѣсколько вагоновъ; очевидно при этомъ всѣ они включаются въ цѣпь параллельно, какъ показано на черт. 547. Налѣво изображена дающая токъ динамомашина; отъ нея идутъ два провода: верхній—рабочій проводъ, нижній—рельсы, а между ними параллельно включены вагонные электродвигатели.

Черт. 547.



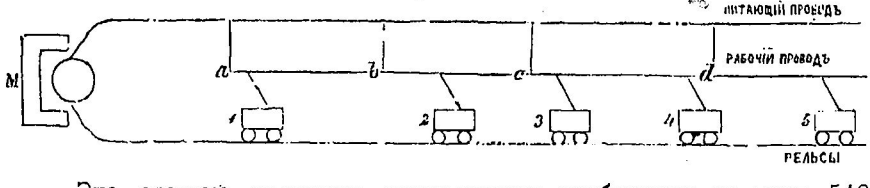
Итакъ, при этой системѣ на крышѣ каждаго вагона находится стержень, состоящій обыкновенно изъ стальной трубы. На верхнемъ концѣ стержня укрѣпляется контактный роликъ, катящійся вдоль рабочаго провода и собирающій съ него токъ. Стержень снабженъ внизу сильной пружиной, такъ что роликъ постоянно прижимается къ рабочему проводу, хотя этотъ послѣдній находится не вездѣ на одной и той же высотѣ надъ рельсами благодаря провисанію или когда онъ подвѣшенъ очень низко, какъ напр., подъ віадуками. Стержень, снабженный пружиной, будетъ всегда прижимать контактный роликъ къ проводу. Эта система рабочаго провода съ контактнымъ роликомъ носитъ названіе системы троллея.

Однако система троллея въ такомъ простомъ видѣ примѣнима лишь въ немногихъ случаяхъ. Если токъ посылать на линію по одному непрерывному рабочему проводу, то при эксплоатаціи желѣзной дороги могутъ произойти недоразумѣнія. Такъ напримѣръ, въ случаѣ пожара при установкѣ спасательныхъ лѣстницъ можетъ оказаться не-

обходимымъ разрѣзать и удалить рабочій проводъ; этотъ проводъ можетъ также и совершенно случайно повредиться и разорваться. Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ движеніе должно пріостановиться вдоль всего пути до тѣхъ поръ, пока не будетъ совершенно устранена неисправность. Чтобы предотвратить такія нарушенія правильнаго дѣйствія дороги, рабочій проводъ дѣлится на самостоятельные участки, въ 200—500 метровъ каждый (въ зависимости отъ длины улицъ), и эти участки изолируются одинъ отъ другого прокладываніемъ между ихъ обращенными другъ къ другу концами непроводящаго матеріала. Электрическое соединеніе въ этихъ мѣстахъ производится такимъ образомъ. Отъ конца одного участка и начала слѣдующаго проводятся провода къ особому выключателю (стр. 499), который обыкновенно помѣщается въ запертомъ ящикѣ въ какомъ-либо домѣ. Такъ достигается электрическое соединеніе всѣхъ отдѣльныхъ участковъ, при чемъ легко можно выключить токъ изъ любого участка, стоитъ только разомкнуть соотвѣтственный выключатель. Но этого, однако, еще не достаточно. Вѣдь очевидно, что въ этомъ случаѣ произойдетъ полное прекращеніе тока, а равно и движенія вдоль всего пути, лежащаго за выключеннымъ участкомъ, считая отъ машиннаго зданія. Токъ идетъ отъ машиннаго зданія по рабочему проводу до разомкнутаго выключателя и черезъ находящіеся на этой линіи вагоны въ землю. Находящіеся позади разомкнутаго выключателя вагоны тока не получаютъ.

Въ интересахъ же дѣла желательно, чтобы въ описываемомъ случаѣ движеніе прекращалось только на одномъ небольшомъ участкѣ; вездѣ же на другихъ участкахъ оно должно поддерживаться попрежнему. Этому требованію удовлетворяетъ слѣдующая система: отъ машины, дающей токъ, проводится главный питательный проводъ, который служитъ только для проведенія тока на разстояніе и слѣдовательно, не соприкасается съ подвижными контактами. Этотъ проводъ можетъ быть воздушнымъ или подземнымъ и на любомъ разстояніи отъ рельсовъ; можетъ онъ быть отчасти подземнымъ, отчасти воздушнымъ. Онъ соединяется съ питательнымъ проводомъ поперечными проводами черезъ извѣстные промежутки — черезъ каждые 100—200 метровъ.

Черт. 548.



Эта система проводки схематически изображена на черт. 548. Здѣсь *M* представляетъ динамомашину, щетки которой присоединены съ одной стороны къ подземному или воздушному питательному про-

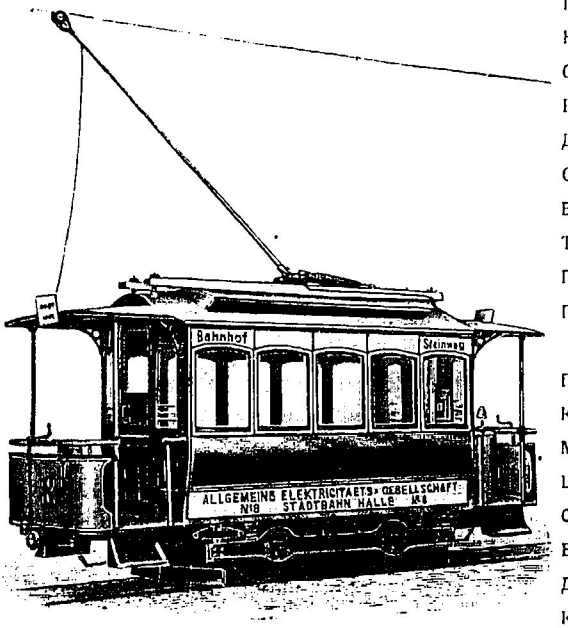
воду, съ другой стороны къ рельсамъ. Надъ рельсами протягивается рабочій проводъ соединенный съ питательнымъ проводомъ въ точкахъ *a*, *b*, *c*, *d*, но изолированный отъ рельсовъ. Пока вагоны не движутся, по рабочему проводу не проходитъ никакого тока. Если же вагоны 1, 2, 3, 4 и 5 начинаютъ двигаться, то каждый изъ нихъ образуетъ при посредствѣ рабочаго провода соединеніе между питательнымъ проводомъ и рельсами и каждый получаетъ свою часть главнаго тока, такъ какъ они всѣ включены параллельно. При такомъ устройствѣ всякая ненормальность въ дѣйствіи рабочаго провода не выходитъ за предѣлы 100—200 метровъ. Если рабочій проводъ прорвется въ какомъ-нибудь мѣстѣ, токъ не перестанетъ отъ этого течь по питательному проводу и будетъ проходить по всѣмъ остальнымъ секціямъ рабочаго провода, такъ что отдѣльные вагоны будутъ получать токъ. Кромѣ того, главный проводъ можетъ быть отлично защищенъ отъ какихъ бы то ни было поврежденій, будучи расположенъ на недоступной высотѣ или подъ землею. Наконецъ, при этой системѣ рабочій проводъ долженъ быть лишь такой толщины, чтобы обезпечивалось постоянное соприкосновеніе его съ контактнымъ роликомъ. Нѣтъ надобности дѣлать рабочій проводъ такимъ, чтобы онъ могъ безъ большой потери служить для проводки всего потребляемаго на линіи тока, который при большомъ числѣ одновременно движущихся вагоновъ долженъ быть очень сильнымъ. Это происходитъ отъ того, что главный токъ проходитъ по питательному проводу, а каждый участокъ рабочаго провода служитъ лишь для отвѣтвленнаго тока.

Рабочій проводъ обыкновенно подвѣшивается на проволочныхъ канатахъ, которые протягиваются надъ улицею и прикрѣпляются концами либо къ домамъ, либо къ особымъ столбамъ, установленнымъ близъ рельсоваго пути. Эта система проводки можетъ быть выполнена даже съ большимъ изяществомъ. На закругленіяхъ и разъѣздахъ подвѣшиваніе рабочаго провода должно быть выполнено достаточно тщательно, чтобы контактный роликъ не соскочилъ съ него. На черт. 549 данъ видъ подобной желѣзной дороги въ городѣ Галле. Здѣсь можно видѣть стержень съ контактнымъ приспособленіемъ, поднимающійся съ крыши вагона и прижимающійся къ рабочему проводу.

Контактный роликъ иногда соскакиваетъ съ рабочаго провода. Въ этомъ случаѣ прекращается доступъ тока къ соотвѣтственному вагону. Если вагонъ идетъ при этомъ по уклону и не будетъ немедленно затормаженъ, онъ можетъ сильно разогнаться, и произойдетъ несчастіе. Для избѣжанія такихъ случайностей примѣняютъ очень часто вмѣсто катящагося ролика скользящую дугу; при такомъ устройствѣ не можетъ быть соскакиванія. На черт. 550 изображенъ вагонъ съ двумя такими дугами. Эта скользящая дуга, подобно ролику, прикрѣпляется къ подвижному стержню и прижимается снизу къ рабочему

проводу. Большая контактная поверхность, получаемая при такомъ устройствѣ, совершенно обезпечиваетъ отъ соскакиваній, являющихся большимъ неудобствомъ при примѣненіи контактнаго ролика. Кромѣ того, оказывается возможнымъ при подвѣшиваніи провода на закругленіяхъ не особенно точно слѣдовать искривленію пути, такъ что выполненіе проводки производится проще.

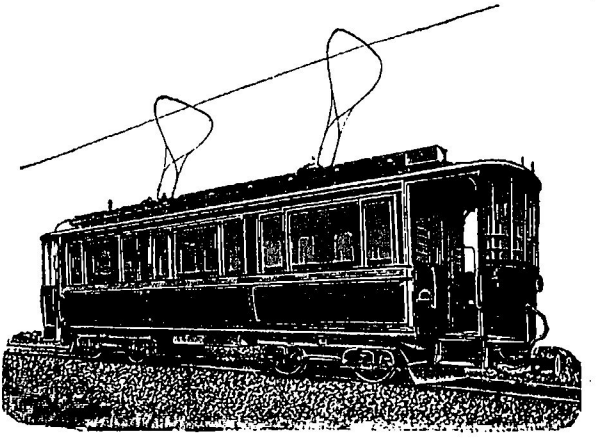
Черт. 549.



Такъ какъ рельсы проводятъ токъ обратно къ станціи, то необходимо заботиться о хорошемъ электрическомъ соединеніи между ними въ мѣстахъ стыковъ. Оно достигается тѣмъ, что концы рельсовъ соединяются металлически обыкновенно припаянными къ нимъ мѣдными пластинами.

Разность потенціаловъ прямого и обратнаго проводовъ обыкновенно бываетъ 500 в. и поддерживается постоянною. Такъ какъ всѣ отдѣльные вагоны включены параллельно между этими проводами, то постоянство напряженія достаточно для того, чтобы каждый двигатель, независимо отъ остальныхъ, получалъ требуемый имъ токъ.

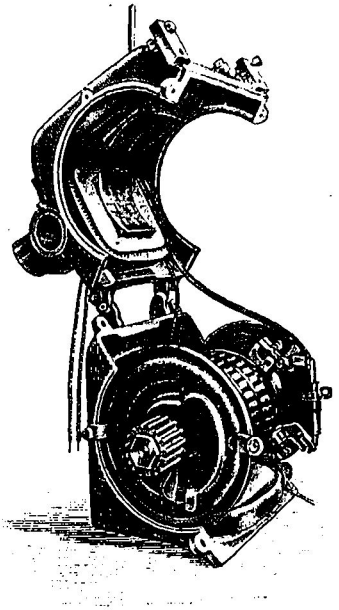
Черт. 550.



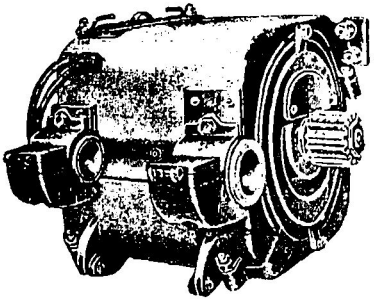
Вполнѣ нагруженный трамвай при горизонтальномъ и прямолинейномъ пути потребляетъ приблизительно 400 ваттъ-часовъ сообщенной ему энергіи на каждый километръ. Величина потребляемой ваго-

номъ энергіи, а, слѣдовательно, и сила необходимаго для него тока не остаются всегда постоянными, но сильно колеблются. При началѣ движенія вагона, при пускѣ въ ходъ токъ въ 5 и даже 10 разъ больше, чѣмъ при движеніи по горизонтальному пути; на подъемахъ токъ требуется большій, на уклонахъ меньшій. Поэтому моторы для трамваевъ должны прежде всего обладать значительной мощностью въ моментъ начала движенія. Этимъ качествомъ отличаются моторы съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ, какъ было указано на стр. 595. Поэтому для трамваевъ примѣняется почти исключительно эта система. Такъ какъ моторъ помѣщается подъ вагономъ, то онъ долженъ быть низкимъ и, во избѣжаніе загрязненія отъ уличной пыли, долженъ быть замкнутъ въ особый кожухъ. Поэтому подобные моторы конструируются такъ, что магнитная система, приготовленная изъ чугуна, охватываетъ со всѣхъ сторонъ якорь, представляя изъ себя въ то же время коробку. Коробка эта должна легко отпираться. Для того, чтобы избѣжать значительнаго нагрѣванія мотора, заключеннаго въ кожухъ, очень часто примѣняютъ кожухъ съ двумя отверстіями. Черезъ одинъ вентиляторъ засасывается извнѣ холодный воздухъ, черезъ другой выгоняется нагрѣтый.

Черт. 551.



Черт. 552.



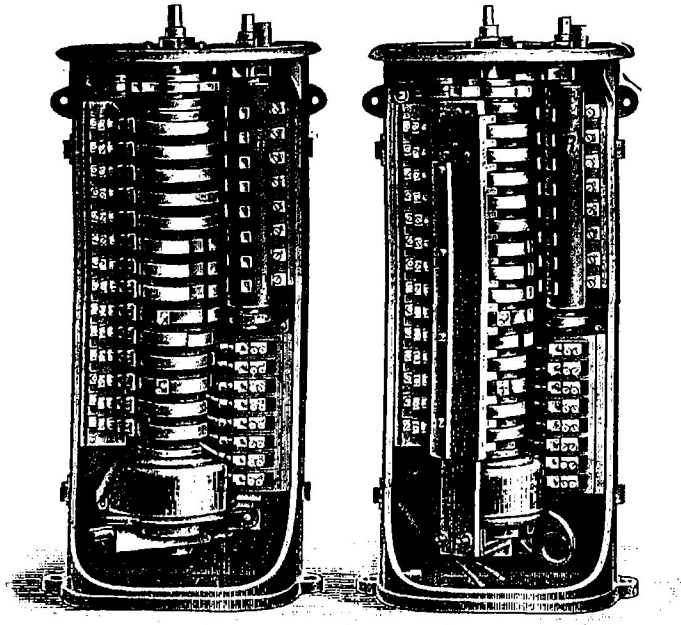
Черт. 551 и 552 изображаютъ подобный моторъ фирмы В. К. Э. въ открытомъ и закрытомъ видѣ.

Каждый якорь ведетъ за собою ось вагонныхъ колесъ посредствомъ зубчатой передачи. Такая передача устроена потому, что якори двигателей вращаются гораздо скорѣе, чѣмъ могутъ вращаться колеса вагона. Моторы укрѣпляются на особыхъ пружинахъ къ телѣжкѣ вагоновъ, по одному мотору на каждой вагонной оси. Каждый якорь вращаетъ сначала маленькое зубчатое колесо, это захватываетъ колесо большей величины, которое уже двигаетъ колеса вагона.

Зубчатыя колеса жирно смазаны масломъ во избѣжаніе ихъ скораго изнашиванія и для уменьшенія шума. На телѣжкѣ устанавливается вагонный кузовъ, снабженный рессорами.

Для того, чтобы можно было увеличивать или уменьшать по желанію скорость хода, а также мѣнять и самое направленіе движенія впередъ или назадъ, на переднемъ мѣстѣ, гдѣ находится вагоновожатый, имѣется особый регулирующій аппаратъ, называемый контроллеромъ. На цилиндрическомъ валу, приводимомъ въ движеніе при помощи рукоятки, насаженъ цѣлый рядъ контактныхъ пластинъ. При вращеніи вала эти пластины могутъ приходить въ соприкоснове-

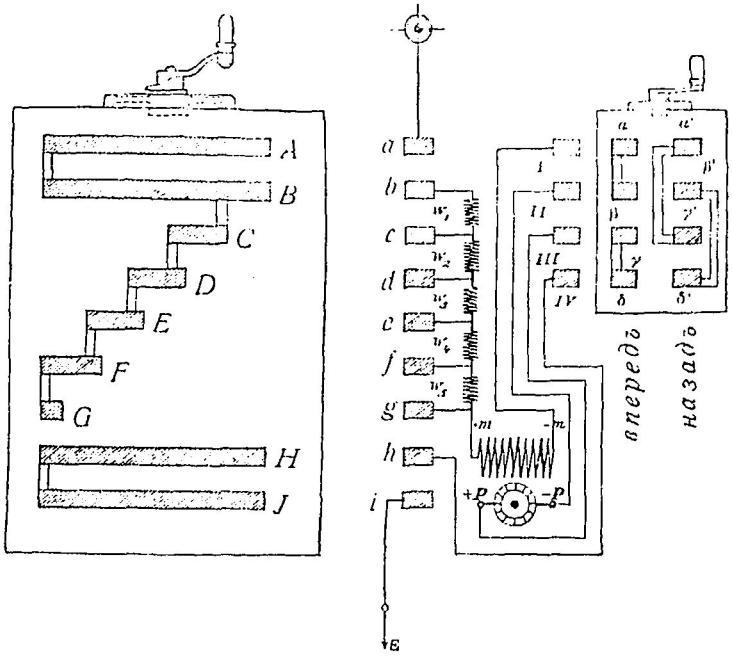
Черт. 553.



ніе съ рядомъ соотвѣтственно расположенныхъ пружинъ. Каждая пара пружинъ соединена съ какой-нибудь частью электрической системы, и, поворачивая рукоятку регулирующаго аппарата, можно получить весьма разнообразные способы включенія различныхъ частей. Черт. 553 изображаетъ открытымъ подобный контроллеръ, фирмы Сименсъ-Шукертъ, въ двухъ положеніяхъ. Пружины его соединены съ обмоткой якоря, обмоткой индукторовъ и особымъ сопротивленіемъ. Скорость можно регулировать, или включая сопротивленіе, или измѣняя магнитное поле индуктора. Послѣдній состоитъ не изъ одной, но изъ цѣлаго ряда обмотокъ. Соотвѣтственнымъ параллельнымъ или послѣдовательнымъ включеніемъ этихъ обмотокъ можно

регулировать магнитное поле. Чтобы измѣнить самое направленіе вращенія мотора и заставить вагонъ итти назадъ, нужно измѣнить направленіе тока или въ индукторахъ, или въ якорѣ. Только не въ обоихъ заразъ. Для этой цѣли въ контроллерѣ имѣется запасный валъ, которымъ пользуются только при измѣненіи направленія тока. На черт. 553 онъ изображенъ справа у R. Схема соединеній въ контроллерѣ и переключателѣ направленія изображена на черт. 554 Слѣва изображенъ регуляторъ скорости, справа переключатель направленія. Токъ вступаетъ въ верхнюю пластину a регулятора и при положеніи, изображенномъ на чертежѣ, долженъ пойти отъ a въ A,

Черт. 554.



B, b и далѣе въ сопротивленіе w_1, а отсюда черезъ w_2 w_3 и т. д. до w_5 въ роторъ, состоящій изъ якоря PP и индуктора mm. По мѣрѣ поворачиванія рычага въ сторону, обратную движенію часовой стрѣлки, нижнія пластины контроллера касаются соотвѣтственныхъ пластинъ сопротивленій, и токъ, минуя вышележащія сопротивленія, прямо идетъ до той пластины контроллера, которая уже коснулась соотвѣтственной пластины сопротивленій. Очевидно, что сопротивленіе будетъ уменьшаться по мѣрѣ поворачиванія рукоятки, и моторъ будетъ итти все скорѣе. Напримѣръ, если пластина регулятора E касается пластины сопротивленія e, то токъ идетъ отъ a черезъ A, B, C, D, E въ e,

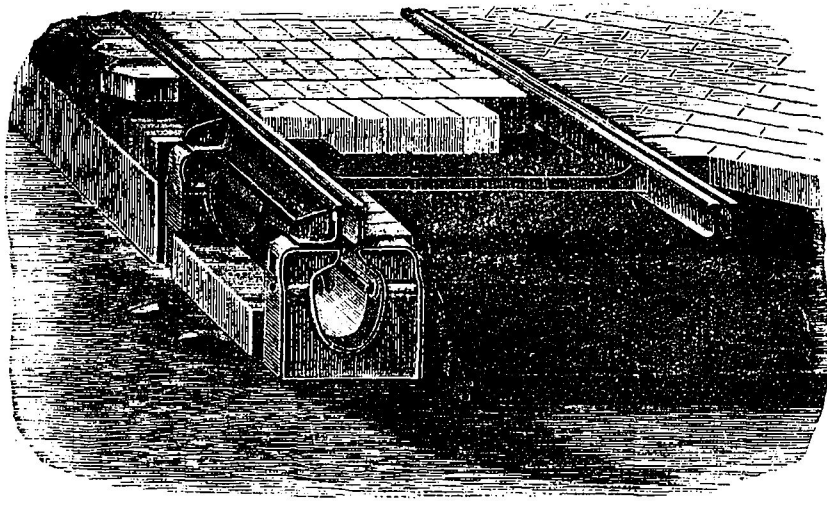
затѣмъ лишь черезъ w_1, w_2 къ мотору. При этомъ, если рукоятка переключателя направленій стоитъ слѣва, моторъ бѣжитъ впередъ и наоборотъ, такъ какъ при положеніи рукоятки справа токъ въ якорѣ мѣняетъ направленіе. Въ первомъ случаѣ токъ идетъ отъ g черезъ $+ m$, $- m$, I, къ α β, II, затѣмъ черезъ якорь отъ $- P$ до $+ P$ къ III, γ, δ, IV, h, H, J, i въ землю. Во второмъ случаѣ, наоборотъ, токъ направляется отъ g, черезъ $+ m$, $- m$, I, къ α', γ', III, затѣмъ черезъ якорь отъ зажима $+ P$ къ $- P$, II, β', δ', IV, h, H, J, i, въ землю.

При выключеніи сильнаго тока въ мѣстѣ разрыва появляются искры. Имѣются особыя средства быстро тушить эти искры, но мы не будемъ на этомъ останавливаться.

Система воздушной проводки, употребляемая при этихъ трамваяхъ, благодаря описаннымъ приспособленіямъ дѣйствуетъ очень правильно. Однако же толстые проводники, несмотря на современныя улучшенія, не представляютъ собою особеннаго украшенія улицъ, и въ нѣкоторыхъ случаяхъ власти, дабы не портить вида улицъ, не даютъ разрѣшенія на такую проводку.

При подземной проводкѣ совершенно избѣгается искаженіе внѣшняго вида улицъ, хотя, правда, цѣною значительнаго повышенія стоимости установки. Подобный трамвай устроенъ въ Будапештѣ и

Черт. 555.



отчасти въ Берлинѣ и Вѣнѣ фирмою Сименсъ и Гальске. По всей его линіи подъ однимъ изъ рельсовъ проложенъ каналъ (черт. 555), верхняя часть котораго и образуетъ рельсъ. Вдоль этого послѣдняго по серединѣ идетъ прорѣзъ въ 33 мм. шириною, черезъ который предо-

ставляется доступъ въ каналъ особой контактной пластинѣ, ведущей къ вагону. Въ каналѣ проложено два оголенныхъ толстыхъ проводника изъ углового желѣза, которые, такимъ образомъ, оба оказываются подъ однимъ рельсомъ. Между ними проходитъ контактная пластина, изолированная посрединѣ, касающаяся обоихъ проводовъ, отводящая токъ съ одного провода къ электродвигателю и приводящая его ко второму. Разность потенціаловъ между проводами равна 300–600 в. По внѣшнему виду электрическій трамвай описываемой системы ничѣмъ не отличается отъ вагона обыкновенной конно-желѣзной дороги, кромѣ только того, что лошади отсутствуютъ. Но стоимость проведенія линіи для него, конечно, выше, такъ какъ приходится устраивать каналъ подъ поверхностью улицы и принять особыя мѣры, чтобы въ немъ не застаивалась вода и не забивались снѣгъ и грязь; несмотря на это, подобная система, устроенная на линіяхъ большого движенія, работаетъ прекрасно. При другихъ обстоятельствахъ эта система можетъ, конечно, оказаться слишкомъ дорогою. При климатическихъ условіяхъ нашей страны, при снѣжныхъ зимахъ и обиліи дождей лѣтомъ способъ подземной подводки тока трудно примѣнимъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ система воздушной проводки соединяется съ подземной, именно послѣдняя устраивается лишь въ лучшей, центральной части города. При этомъ вагоны должны быть снабжены какъ дугою для воздушной, такъ и скользящимъ контактомъ для подземной проводки; въ мѣстахъ перехода отъ одной системы къ другой нужно производить переключеніе контактныхъ приспособленій.

Можно приводить вагонъ въ движеніе электричествомъ еще по третьему способу: а именно питать электродвигатель токомъ отъ аккумуляторовъ, которые везетъ съ собой самъ же вагонъ. Для такого аккумуляторнаго трамвая не нужно никакихъ проводовъ; каждый вагонъ имѣетъ при себѣ источникъ энергіи, совершенно подобно вагону прежней конно-желѣзной тяги, съ тою лишь разницею, что прежде этотъ источникъ, т. е. лошадь, находился впереди вагона, теперь же онъ находится внутри его. Въ концѣ концовъ эта система трамвая оказалась неудовлетворительной и въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ уже была заведена,—ее пришлось вскорѣ замѣнить другою.

Электрическіе трамваи представляютъ прежде всего ту выгоду, что замѣняютъ конную тягу машинною, болѣе дешевою. Кромѣ того, при электрической тягѣ легко можетъ быть развита временно гораздо большая сила, чѣмъ это возможно при тягѣ лошадьми. При электрическихъ трамваяхъ можетъ быть развита значительная скорость, если, конечно, это позволяютъ условія движенія. На крутыхъ подъемахъ, напр., когда пришлось бы прибѣгнуть къ пристяжкѣ, достаточно лишь пустить въ двигатель болѣе сильный токъ, т. е. выключить реостатъ, чтобы получить требуемое увеличеніе силы. Далѣе, отсутствіе лошадей

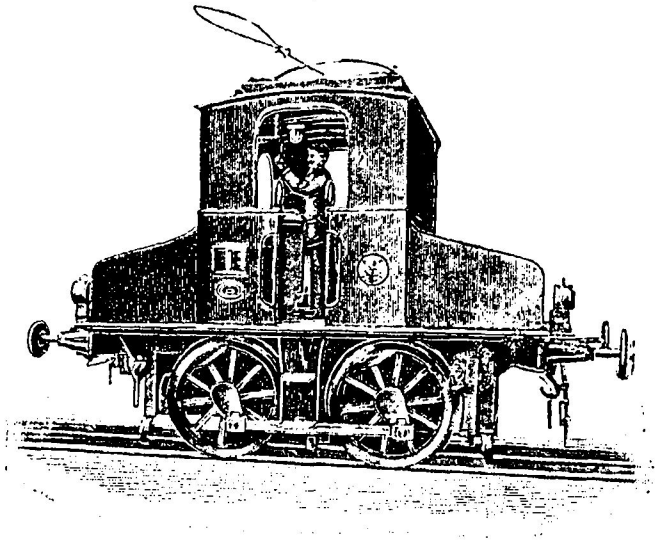
позволяетъ придать вагону электрическаго трамвая бо́льшіе размѣры, не боясь загроможденія улицы, и, наконецъ, въ случаяхъ усиленнаго движенія, при электрической тягѣ легко можно пустить большее число вагоновъ или къ имѣющимся моторнымъ вагонамъ присоединить прицѣпные лишь бы только генераторная динамомашина была достаточныхъ размѣровъ. Таковы преимущества электрической тяги трамваевъ, вслѣдствіе которыхъ она получаетъ все большее распространеніе.

Дѣйствительно вездѣ, гдѣ устроенъ электрическій трамвай, замѣчается значительное увеличеніе движенія, и, что особенно важно для предпринимателей, параллельно со значительнымъ повышеніемъ дохода съ вагонъ-километра всегда обнаруживается значительное уменьшеніе стоимости эксплоатаціи. Можно поэтому съ большою увѣренностью утверждать, что въ очень близкомъ будущемъ конная тяга трамваевъ повсюду совершенно вытѣснится электрической. Во многихъ мѣстахъ, гдѣ конная тяга вообще не примѣнима по чисто мѣстнымъ неблагопріятнымъ условіямъ, такъ какъ она оказалась бы убыточной, сразу устроили электрическую желѣзную дорогу, подобно тому, какъ во многихъ небольшихъ городахъ оказалось цѣлесообразнымъ устроить электрическое освѣщеніе улицъ, хотя газоваго освѣщенія не было устраиваемо изъ-за невыгодности предпріятія.

Электрическая тяга оказалась выгодной не только для городскихъ трамваевъ. Ее примѣняютъ теперь часто для подъѣздныхъ путей и для сельскохозяйственныхъ цѣлей. Особенно полезной она оказалась въ примѣненіи къ рудничному дѣлу. Хотя протягиваніе провода надъ рельсами увеличиваетъ стоимость пути, но зато, для полученія энергіи, достаточно установить одну большую паровую машину, которая поглощаетъ на каждую лошадиную силу гораздо меньше угля, чѣмъ маленькія машины. Кромѣ того, при этомъ не приходится покупать дорогихъ паровыхъ локомотивовъ, замѣняя ихъ болѣе дешевыми электрическими. Да и самые рельсы могутъ быть взяты болѣе легкаго типа, такъ какъ паровой локомотивъ тяжелѣе электрическаго. Такіе электрическіе локомотивы строятся весьма разнообразной формы. Они пригодны для многихъ цѣлей, особенно въ виду ихъ готовности въ любой моментъ къ работѣ. Такъ, напримѣръ, они очень удобны для перевозки продуктовъ съ заводовъ къ ближайшей желѣзнодорожной линіи и обратно; и даже на станціяхъ желѣзныхъ дорогъ ими удобно пользоваться для сортировки вагоновъ и сборки поѣздовъ. Иногда локомотивы эти устраиваются съ аккумуляторной тягой. Въ большинствѣ случаевъ, однако, съ воздушной проводкой. Черт. 556 изображаетъ подобный локомотивъ фирмы A. E. G., примѣняемый въ Глейвицѣ для маневрированія на станціи. Локомотивы для рудниковъ дѣлаются, конечно, гораздо ниже. На такомъ локомотивѣ находятся:

электромоторъ, контроллеръ и всѣ другія части управленія и предохранительныя приспособленія.

Черт. 556.



Въ сельскохозяйственной практикѣ западной Европы для доставки продуктовъ на желѣзнодорожныя станціи уже и теперь примѣняются

Черт. 557.

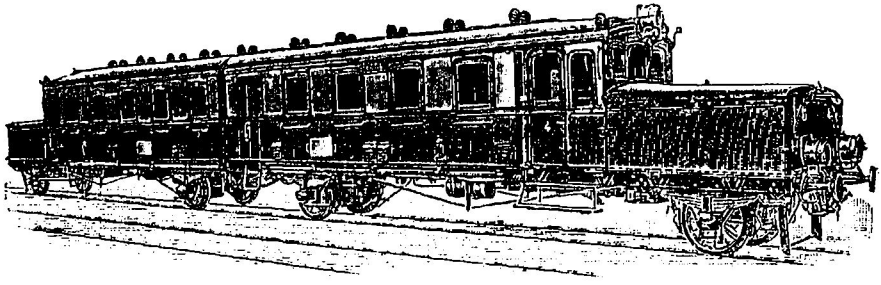


небольшія электрическія желѣзныя дороги, а именно въ тѣхъ случаяхъ, когда крупныя имѣнія находятся въ предѣлахъ дѣйствія какой-либо областной станціи (глава VIII). Устройство пути этихъ желѣзныхъ

дорогъ значительно упрощено, для подвѣски рабочаго провода также не требуется особо сложнаго устройства. Черт. 557 изображаетъ такую сельскохозяйственную желѣзную дорогу, подымающуюся на уклонъ.

При сравнительно мало оживленномъ движеніи, какое бываетъ на мѣстныхъ желѣзныхъ дорогахъ, паровозы, благодаря долгой ихъ растопкѣ и сложному уходу, требующему обученнаго персонала, неэкономичны въ отношеніи эксплоатаціи. Прусскія желѣзныя дороги, послѣ долгихъ опытовъ, ввели для такихъ случаевъ упрощенные поѣзда, состоящіе изъ двухъ вагоновъ каждый и оборудованные аккумуляторами. Черт. 558 даетъ такой двойной аккумуляторный вагонъ прусскихъ желѣзныхъ дорогъ. Два тѣсно соединенные между собою пассажирскіе вагона имѣютъ каждый съ одного конца небольшую сун-

Черт. 558.



дукообразную пристройку, въ которую помѣщаются аккумуляторы—въ 12 ящикахъ по 14 акккмуляторовъ въ каждомъ, такъ что общее напряженіе достигаетъ почти 340 вольтъ. Аккумуляторы питаютъ токомъ два послѣдовательныхъ двигателя, дѣйствующихъ на обѣ среднія оси двойного вагона. На внѣшнихъ концахъ вагоновъ, примыкая къ аккумуляторному помѣщенію, находятся помѣщенія для вагоновожатаго, оборудованныя, подобно обычному трамвайному вагону, контроллеромъ, необходимыми измѣрительными приборами, тормазами, предохранителями и выключателями.

Какъ для городского трамвая, или для пригородныхъ желѣзныхъ дорогъ, такъ и для дорогъ дальняго слѣдованія электрическая тяга даетъ нѣкоторыя преимущества. Для большихъ однако разстояній раціоналенъ лишь перемѣнный—однофазный и трехфазный—токъ высокаго напряженія. Трехфазный токъ при этомъ имѣетъ рядъ значительныхъ недостатковъ. Онъ требуетъ три провода, что при линіи большого протяженія значительно повышаетъ первоначальныя затраты. Помимо этого, три провода на станціяхъ, при перекрещиваніи путей и на разъѣздахъ усложняютъ устройство и загромождаютъ путь. Далѣе трехфазный моторъ имѣетъ опредѣленную скорость, которая не

легко поддается регулированію, такъ что запоздавшіе поѣзда не въ состояніи нагнать время увеличеніемъ скорости. Всѣ требованія, предъявляемыя желѣзнымъ дорогамъ дальняго слѣдованія, при современномъ положеніи техники могутъ быть удовлетворены исключительно однофазнымъ токомъ; это единственный родъ тока, о которомъ можетъ быть рѣчь при большихъ желѣзныхъ дорогахъ.

Съ другой стороны, какъ разъ при однофазномъ токѣ вопросъ о наиболѣе цѣлесообразномъ и примѣнимомъ двигателѣ наиболѣе сложенъ. Въ условіяхъ работы желѣзнодорожной тяги двигатель безусловно долженъ брать съ мѣста подъ полной нагрузкой и долженъ допускать удобную регулировку числа оборотовъ и направленія вращенія. Въ виду этого индукціонный моторъ однофазнаго тока совершенно непригоденъ для цѣлей тяги. Однофазный коллекторный моторъ (стр. 605), напротивъ, удовлетворяетъ, повидимому, всѣмъ требованіямъ. Въ дѣйствительности имѣется уже немалое число желѣзныхъ дорогъ, оборудованныхъ однофазнымъ токомъ и именно такими коллекторными двигателями, какъ напримѣръ стубайтальская линія около Инсбрука, пригородныя дороги Берлина, Гамбурга, въ Швейцаріи, Италіи, Англіи и т. д, и возможно, что однофазный токъ высокаго напряженія и долженъ будетъ вытѣснить постепенно паровыя желѣзныя дороги.

На упомянутой стубайтальской линіи ограничились рабочимъ напряженіемъ въ 2500 вольтъ, а уже на линіяхъ прусскихъ казенныхъ желѣзныхъ дорогъ принято 6000 вольтъ; въ другихъ же случаяхъ далеко перейденъ и этотъ предѣлъ. При этомъ изъ соображеній экономичности для коллекторныхъ моторовъ число періодовъ перемѣннаго тока выбираютъ по возможности низкое. Вмѣсто обычныхъ въ освѣтительной техникѣ 50 періодовъ на установкахъ тяги выбираютъ 25 и даже 15 періодовъ.

Переходъ большихъ желѣзныхъ дорогъ съ паровой тяги на электрическую совершается до сихъ поръ повсюду весьма медленно. Помимо того, что техника однофазнаго тока, который къ тому же, какъ было сказано, единственно возможенъ въ данномъ случаѣ, лишь за послѣдніе нѣсколько лѣтъ пришла къ удовлетворительнымъ результатамъ, оставляя также въ сторонѣ разныя финансовыя соображенія, которыя и здѣсь, конечно, играютъ значительную роль, главное основаніе этому явленію нужно искать въ стратегическихъ соображеніяхъ, съ точки зрѣнія которыхъ такой переходъ не особенно желателенъ. Нужно имѣть въ виду, что въ военное время попортить и привести въ негодность электрическую желѣзную дорогу значительно легче, чѣмъ паровую. Перерѣзавъ питательные провода, можно совершенно уничтожить работоспособность электрической желѣзной дороги на значительное разстояніе, тогда какъ при паровой тягѣ порча пути вызываетъ лишь мѣстное замѣшательство въ движеніи, на болѣе или менѣе зна-

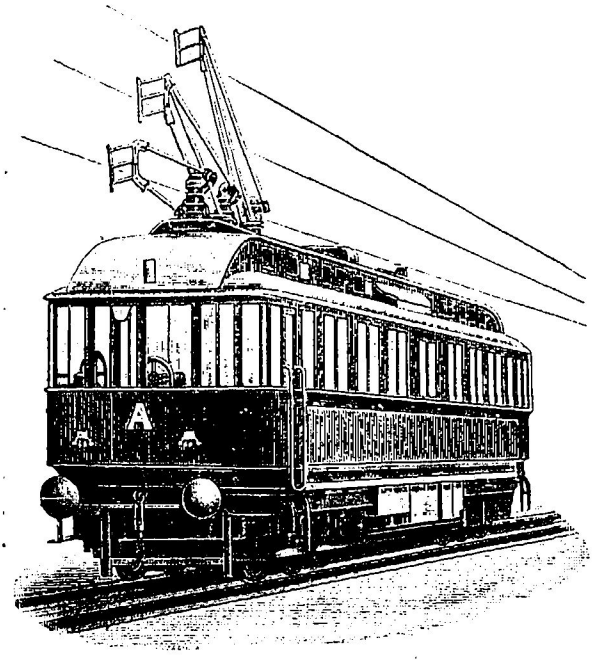
чительныхъ участкахъ пути. Нельзя отказать въ основательности такой точкѣ зрѣнія. Во всякомъ случаѣ, надежда на то, что вся міровая желѣзнодорожная сѣть будетъ электрифицирована, еще надолго останется иллюзіей. Съ другой стороны подобныя соображенія, разумѣется, отпадаютъ при такихъ единичныхъ желѣзныхъ дорогахъ также большой важности, какъ напримѣръ берлинская городская и круговая дорога. Электрификація этихъ дорогъ несомнѣнно является вопросомъ не столь отдаленнаго будущаго.

Въ эксплоатаціи нормальныхъ электрическихъ желѣзныхъ дорогъ въ томъ видѣ, въ какомъ онѣ частью уже построены, частью же еще только проектируются, нѣтъ особенной разницы по сравненію съ паровой тягой. Длинные поѣзда съ электровозомъ во главѣ замѣняютъ длинные поѣзда съ паровозомъ.

Съ другой стороны электричество даетъ еще возможность совершенно иной эксплоатаціи большихъ дорогъ далекаго разстоянія. Именно, при электрической тягѣ можно каждый вагонъ оборудовать двигателемъ; въ этомъ случаѣ особенно удобна эксплоатація подвижного состава отдѣльными вагонами. Быстро слѣдующіе одинъ за другимъ вагоны съ ограниченнымъ количествомъ пассажировъ каждый, какъ это и введено на линіяхъ городского трамвая, идущіе съ громадной скоростью, постепенно вводятся и для дальняго слѣдованія.

Въ послѣднее время въ Берлинѣ образовалось общество скорыхъ желѣзныхъ дорогъ, которое занимается изученіемъ многихъ трудныхъ вопросовъ, связанныхъ съ этой задачей. Стрѣмились достигнуть скорости въ 200 километровъ. Цѣль эта съ блестящимъ успѣхомъ достигнута въ 1903 году. Были построены два вагона большой скорости, одинъ фирмой Сименсъ и Гальске, другой—Всеобщей Компаніей Электричества; оба отлично выполнили задачу и показали скорость свыше 200 километровъ въ часъ.

Черт. 559.



Въ этихъ опытахъ, происходившихъ между Цоссеномъ и Лихтерфельдомъ, подача тока производилась по тремъ рабочимъ проводамъ, трехфазнымъ токомъ при напряженіи отъ 10—15.000 вольтъ. Черт. 559 изображаетъ вагонъ Всеобщей Компаніи Электричества. Помощью трехъ дугъ съ контактами токъ собирался съ проводовъ и передавался внутрь вагона.

Токособиратели должны были быть весьма тщательно сконструированы, чтобы, несмотря на большую скорость, давать постоянно надежный контактъ. Дугамъ придано такое устройство, что онѣ собираютъ токъ не снизу, а сбоку, какъ это видно на чертежѣ. Токъ высокаго напряженія внутри вагона преобразуется помощью двухъ параллельно включенныхъ трансформаторовъ въ токъ низкаго напряженія, который питаетъ трехфазные двигатели, предварительно пройдя, конечно, пусковые реостаты, выключатели и предохранители. Каждый двигатель могъ развить отъ 250 до 750 лошадиныхъ силъ. Спеціальныя конструкціи прикрѣпленія мотора къ телѣжкѣ вагона, соединенія колесъ вагона, наконецъ, система управленія и измѣрительные приборы и т. д. здѣсь не могутъ быть детально описаны.

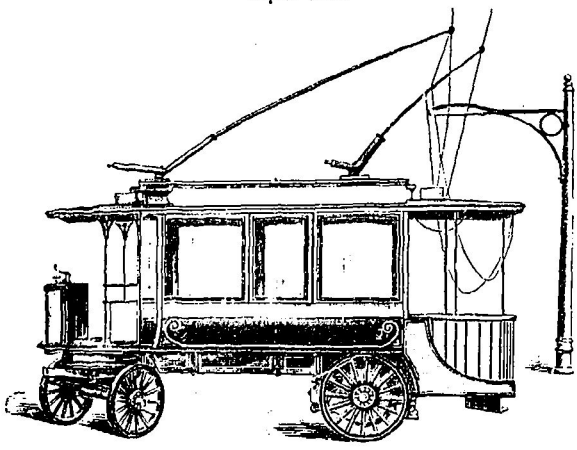
Благодаря успѣху этихъ смѣлыхъ и грандіозныхъ опытовъ упомянутыхъ двухъ фирмъ: Сименсъ и Гальске и Всеобщей Компаніи Электричества, въ электротехникѣ открылись совершенно новыя широкія перспективы. Подобно тому, какъ широко поставленные опыты по передачѣ энергіи на франкфуртской выставкѣ (см. стр. 625) впервые показали возможность такой передачи на большія разстоянія и тѣмъ подготовили многочисленныя примѣненія, появившіяся послѣ этого, такъ же и эти опыты съ электрической тягой, вѣроятно, повлекутъ за собою постепенный переворотъ всей нашей системы желѣзнодорожнаго сообщенія. Гдѣ имѣются средства для первоначальныхъ затратъ на оборудованіе такого скораго сообщенія, тамъ электротехника въ настоящее время смѣло можетъ взять на себя его выполненіе. Вѣроятно и здѣсь успѣхи техники и поиски капитала за новыми областями приложенія побѣдятъ бюрократическій консерватизмъ, и способы сообщенія испытаютъ новый подъемъ.

Между электрическою тягою и паровою различіе столь существенно, что и при перевозкѣ грузовъ электрическимъ способомъ дѣло должно быть поставлено иначе, чѣмъ при пользованіи силою пара. На паровой желѣзной дорогѣ съ выгодою пользуются очень мощными локомотивами, къ которымъ прицѣпляютъ большое число вагоновъ, везущихъ огромный грузъ. Было бы весьма непрактичнымъ пускать отдѣльные вагоны, съ маленькими локомотивами для каждаго. Напротивъ того, электричество безъ большихъ потерь распредѣляется между многими малосильными двигателями, изъ которыхъ каждый можетъ совершать лишь небольшую работу. Такимъ образомъ, паръ дѣлаетъ не-

обходимымъ массовое передвиженіе, централизацію, электричество же съ одинаковой выгодой можетъ быть или сконцентрировано на одномъ моторѣ, или распредѣлено между многими меньшими. По этой причинѣ электрическая тяга подходитъ къ трамваямъ, къ желѣзной дорогѣ въ копяхъ и для сельскохозяйственныхъ цѣлей.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ электрическая тяга съ подачей тока со станціи можетъ быть примѣнена и въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ либо невозможно устройство рельсоваго пути, либо это устройство слишкомъ дорого по мѣстнымъ условіямъ. Уже положено начало такъ называемымъ безрельсовымъ электрическимъ дорогамъ для пассажирскаго движенія, и въ особенности для товарнаго транспорта. Вдоль шоссе или улицы протягиваютъ сбоку или посерединѣ два рабочихъ провода подобно тому, какъ это дѣлается въ трамвайныхъ установкахъ. Вагонъ либо омнибуснаго типа, либо въ видѣ маленькаго электровоза получаетъ токъ помощью роликоваго токособирателя или дуги отъ обоихъ рабочихъ проводовъ. Токособиратели устроены такъ, что могутъ вращаться во всѣ стороны и даже до нѣкоторой степени удлиняться, такъ что вагону не приходится ѣхать только подъ самыми проводами, онъ можетъ отходить въ каждую сторону на 3,5 метра. Благодаря этому, возможны встрѣчи и разъѣзды съ другими вагонами, не прерывая надолго подачу тока. Черт. 560 изображаетъ подобный электрическій омнибусъ фирмы Максъ Шиманъ и К° въ Дрезденѣ, которая главнымъ образомъ и занимается распространеніемъ этой системы. Вагонъ изображенъ въ моментъ поворота. У него двѣ оси; изъ нихъ задняя неподвижна, передняя ось можетъ быть повернута помощью рычага вожатымъ; этимъ обусловлена удобная и легкая управляемость. Электродвигатели, которыхъ обыкновенно бываетъ два, дѣйствуютъ на заднія колеса. Здѣсь необходимы два рабочихъ провода — прямой и обратный, такъ какъ нѣтъ рельсъ, служащихъ обычно обратнымъ проводомъ. На крышѣ вагона прикрѣплены двѣ упругія длинныя штанги, вращающіяся, какъ было сказано, свободно во всѣ стороны, длиною отъ 5 до 5,5 метровъ. На ихъ концахъ имѣются особые контакты, скользящіе башмаки которыхъ прижимаются штангами къ проводу, да-

Черт. 560.

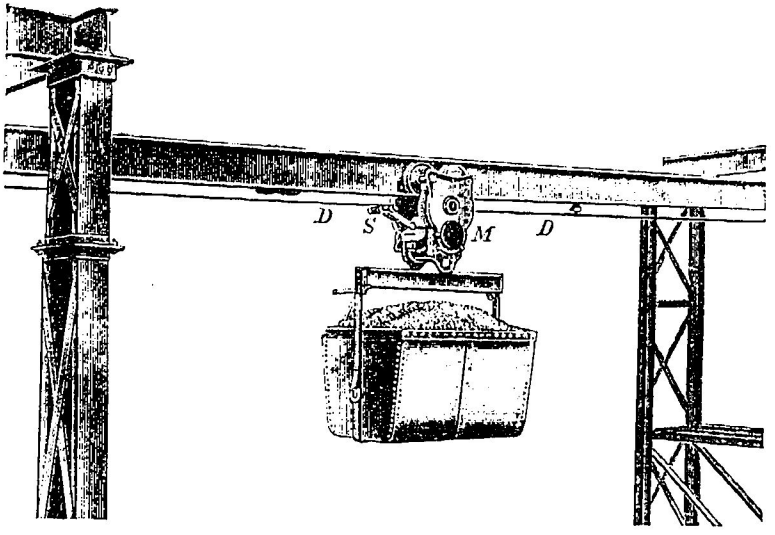


вая постоянно хорошій контактъ. Такой парный рабочій проводъ можетъ обслуживать нѣсколько слѣдующихъ въ одну или въ разныя стороны вагоновъ; при встрѣчахъ одинъ вагонъ отъѣзжаетъ въ сторону и лишь на короткое время опускаетъ свой токособиратель, пока не пройдетъ встрѣчный вагонъ, затѣмъ слѣдуетъ прежнимъ порядкомъ дальше. Для обслуживанія пассажировъ и перевозки товаровъ между мѣстами, гдѣ нельзя ожидать очень оживленнаго движенія, прокладка рельсъ не окупила бы себя; такая дорога, не требуя особыхъ затратъ, можетъ съ успѣхомъ замѣнить тягу лошадьми. Наибольшія трудности при этой системѣ связаны съ устройствомъ дорогъ, которыя постепенно портятся самими же вагонами.

Въ Бременѣ недавно введено нѣсколько омнибусныхъ линій, которыя приключены къ трамвайнымъ. Устройство ихъ сходно съ описаннымъ выше.

Транспортъ товаровъ на болѣе или менѣе значительныя разстоянія по территоріи фабрикъ, при товарныхъ станціяхъ, при разгрузкѣ, либо нагрузкѣ судовъ, также нерѣдко производится электрическимъ путемъ помощью электрическихъ подвѣсныхъ желѣзныхъ дорогъ Блейхерта. При этомъ подвѣсныя телѣжки соединены съ капсюльнымъ

Черт. 561.



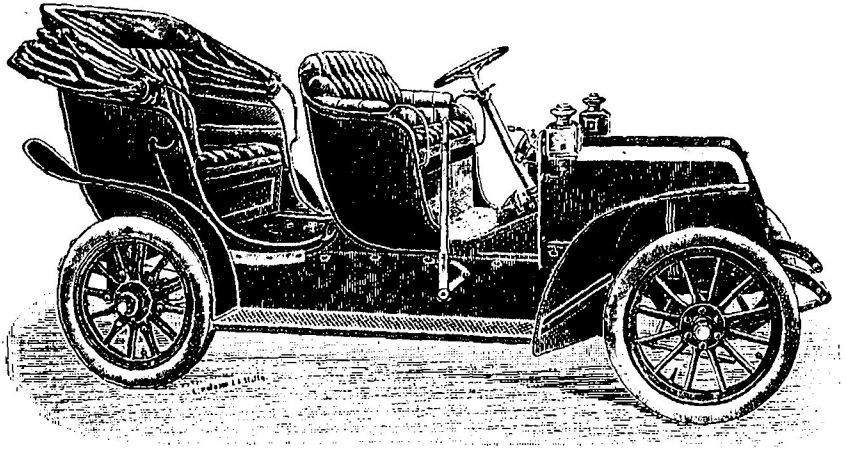
(закрытымъ) двигателемъ (черт. 561, *M*), который передвигается по проложенному соотвѣтственнымъ образомъ надъ поверхностью земли рельсу и получаетъ токъ отъ рабочаго провода *DD* помощью токособирателя *S*. Спеціальныя приспособленія для остановки телѣжки въ требуемомъ мѣстѣ, для устраненія возможности столкновеній, для пре-

одолѣнія подъемовъ и т. п. дѣлаютъ эту систему пригодной для всѣхъ встрѣчающихся на практикѣ случаевъ.

Въ послѣднее время машины стали съ громаднымъ успѣхомъ замѣнять лошадей и въ обыденныхъ средствахъ передвиженія; именно, за послѣдніе годы большіе успѣхи сдѣлали автомобили, замѣнившіе собою дрожки, крытые экипажи, омнибусы, телѣги и т. д. Большинство автомобилей приводятся въ движеніе бензиновымъ двигателемъ. Извѣстны неудобства этой системы. Эти двигатели не безопасны, движеніе взадъ-впередъ поршня мотора и пыханье газа причиняютъ сильный шумъ, весьма непріятный для самого ѣдущаго при продолжительной ѣздѣ, а что особенно непріятно для постороннихъ, такъ это сильно пахнущій и пачкающій дымъ, идущій отъ мотора. Электротехника появилась и здѣсь. Подобными недостатками не обладаютъ электрическіе автомобили, которые во Франціи и Германіи получили мѣткое названіе электромобилей. Они обладаютъ чисто-вращательнымъ движеніемъ, а, слѣдовательно, не приходится первоначальное прямолинейное движеніе, какъ у поршней, обращать во вторичное вращательное; затѣмъ онъ вполнѣ безопасенъ и работаетъ чисто, безъ запаха.

Чтобы привести электрическій автомобиль въ движеніе, нужно питать аккумуляторнымъ токомъ моторъ, а моторъ долженъ вращать колеса автомобиля. Лишь послѣ того, какъ аккумуляторные заводы сумѣютъ изготовлять особо легкіе и выносливые аккумуляторы, электромобили смогутъ выдержать конкурренцію съ бензиновыми моторами въ

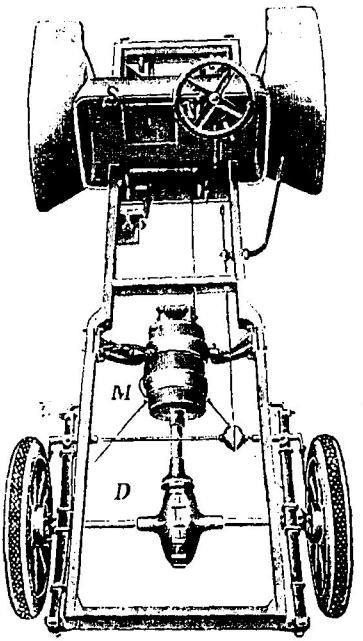
Черт. 562.



области уличныхъ средствъ передвиженія. Подобный автомобиль (Викторія) изображенъ на черт. 562. Аккумуляторная батарея, состоящая изъ 44 элементовъ, дающая слѣдовательно 88 вольтъ напряженія, уложена въ ящикъ подъ сидѣньемъ такъ, что коляски эти по внѣшнему виду не отличаются отъ обыкновенныхъ автомобилей. Телѣжка

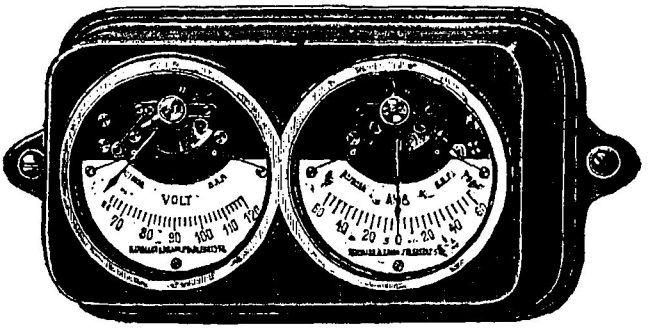
автомобиля (черт. 563) показываетъ, что моторъ M подвѣшенъ по серединѣ въ особомъ кольцѣ и вращаетъ валъ, который помощью дифференціальной передачи D передаетъ вращеніе задней оси. Электромобиль потребляетъ отъ 125 до 130 ваттъ-часовъ на километръ. Аккумуляторная батарея обладаетъ емкостью въ 145 амперъ-часовъ; такимъ образомъ одной зарядкой можно проѣхать около 100 километровъ при возможной въ условіяхъ городской ѣзды скорости отъ 20 до 25 километровъ. Это значитъ, что одной зарядки хватаетъ на 4—5 часовую непрерывную ѣзду. На переднемъ мѣстѣ имѣется сильный тормазъ, приводимый въ дѣйствіе ногою, и кромѣ того имѣется руль для управленія экипажемъ и регуляторъ для пуска въ ходъ, измѣненія скорости и электрическаго торможенія. Для этихъ всѣхъ цѣлей служатъ особыя сопротивленія. Эти регуляторы устроены весьма сходно съ трамвайными и называются также контроллерами (см. на стр. 656). На изображенномъ автомобилѣ контроллеръ находится за стѣнкой ящика S.

Черт. 563.



Внѣшнимъ отличіемъ электрическаго автомобиля является находящіеся на переднемъ мѣстѣ около шофера амперметръ и вольтметръ. Эти приборы позволяютъ слѣдить за состояніемъ батареи во время

Черт. 564.

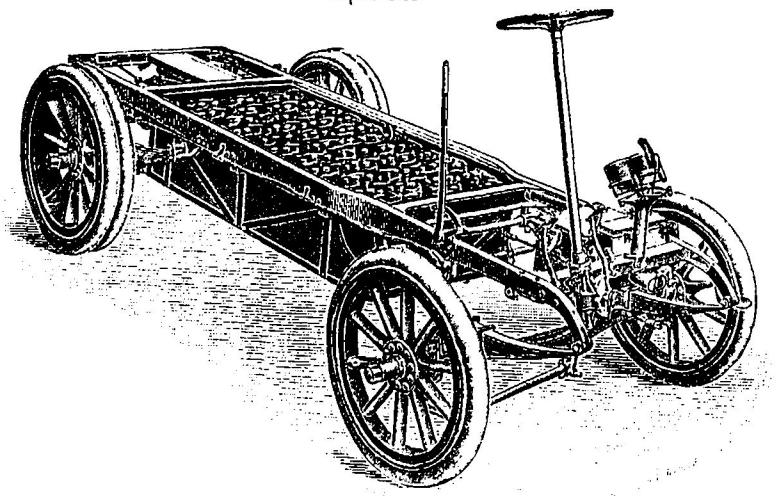


хода и, что особенно важно, при зарядкѣ. Подобный комбинированный вольтъ-амперметръ фирмы Гартманъ и Браунъ изображенъ на черт. 564. Понятно, что всѣ средства современной техники приложены къ тому, чтобы сдѣлать этотъ автомобиль легкимъ и легкоидущимъ;

подобнымъ же образомъ можно было бы устроить большіе экипажи, омнибусы, телѣги и т. д., подбирая конечно соотвѣтственно большую батарею.

Аккумуляторы Эдисона примѣняются фирмой Бергманъ А. О. въ Берлинѣ для электрическаго оборудованія ея фульгура-электромобилей. Черт. 565 изображаетъ шасси подобнаго роскошнаго автомобиля съ эдисоновскою батареей.

Черт. 565.

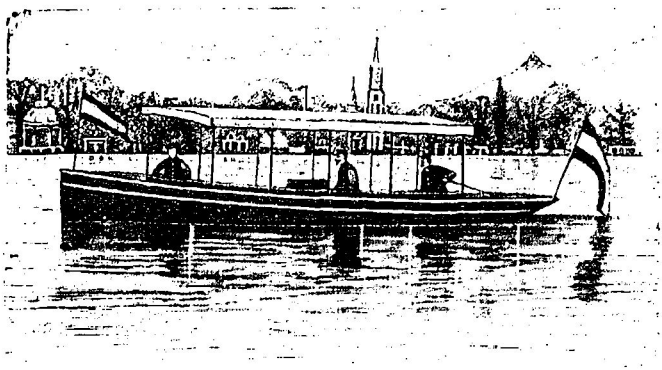


Подобные автомобили примѣнимы только тамъ, гдѣ имѣются центральныя стаціи, т. е. почти исключительно въ городахъ. Въ нѣкоторыхъ городахъ администрація проектируетъ уже разрѣшить ѣзду по городу лишь электрическимъ автомобилямъ, чтобы уничтожить шумъ и непріятный запахъ, связанный со столь удобными въ другихъ отношеніяхъ обычными автомобилями. Электромобили не годны для большихъ поѣздокъ, такъ какъ они не могутъ взять съ собой энергіи на долгое время. Но этотъ недочетъ происходитъ отъ небольшого еще сравнительно распространенія электрическихъ станцій. Если бы въ каждой деревнѣ была электрическая станція постояннаго тока для зарядки аккумуляторовъ(или перемѣнный токъ съ умформеромъ), то можно было бы на подобномъ автомобилѣ совершать далекія экскурсіи. Въ Швейцаріи это и теперь уже кое-гдѣ возможно, и можно надѣяться, что со временемъ такъ будетъ во многихъ мѣстахъ.

Для движенія кораблей большихъ размѣровъ электричество, конечно, не пригодно. Большіе корабли снабжены своими машинами, и было бы совершенно излишнимъ обращать силу пара въ силу электрическую. Напротивъ того, легко можно примѣнить электрическую тягу къ небольшимъ прогулочнымъ лодкамъ, на которыхъ не желательно

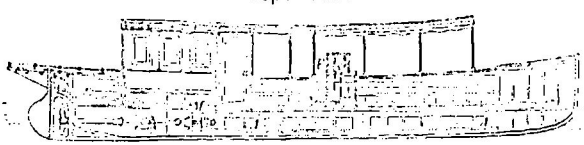
устанавливать паровой машины, при чемъ удобны именно аккумуляторы, заряжаемые на пристани динамомашиною. Подобныя лодки въ послѣдніе годы строются довольно часто. Онѣ въ настоящее время употребляются и для цѣлей перевозки, и для надзора, таможенныхъ нуждъ,—вообще для всевозможныхъ служебныхъ цѣлей. Черт. 566 даетъ внѣш-

Черт. 566.



ній видъ небольшого увеселительнаго бота, на которомъ поставлены аккумуляторы завода въ Хагенѣ. Батарея состоитъ изъ 40 аккумуляторовъ емкостью 220 амперъ-часовъ. Двигатель трехсильный. Вѣсъ электрическаго оборудованія 1950 килограммъ. Общее расположеніе частей и электрическое оборудованіе такого бота видно на разрѣзѣ (черт. 567). На днѣ судна видны ящики A аккумуляторовъ, которые

Черт. 567.



питаютъ двигатель M. Валъ послѣдняго непосредственно сочлененъ съ валомъ винта. У штурманской стойки F устроенъ контроллеръ, помощью котораго штурманъ простымъ вращеніемъ ручки вводитъ или выводитъ сопротивленія и тѣмъ измѣняетъ скорость бота. При скорости 10 километровъ въ часъ подобный ботъ отъ одной зарядки можетъ пройти 20 часовъ, т. е. 200 километровъ.

Въ послѣднее время пытались примѣнить электричество къ буксировкѣ судовъ, что особенно важно теперь, когда, имѣя большіе каналы, приходится обставлять ихъ всѣми средствами для удобной проводки судовъ.

Изъ различныхъ предложенныхъ системъ одна, а именно система Сименса и Гальске, вполнѣ разработана и практически осуществлена на каналѣ Финовъ (Finow).

При этой системѣ по берегу канала, на особой линіи, идетъ электрическій локомотивъ и тянетъ за собою канатъ съ привязанными къ нему судами. Система эта весьма аналогична конной или бурлачной тягѣ. Есть основанія полагать, что эта система оправдаетъ себя.

Захватить область оборудованія управляемыхъ аэростатовъ или аэроплановъ электричество до сихъ поръ не пыталось. Собственно говоря, электромоторъ весьма цѣлесообразенъ, какъ двигательная сила пропеллера, который употребляется на дирижабляхъ и аэропланахъ. Онъ обладаетъ сравнительно небольшимъ вѣсомъ на единицу силы. Однако для его питанія необходимо брать съ собою запасы энергіи въ аккумуляторахъ и они-то, повидимому, представляютъ еще слишкомъ ощутительный балластъ. Все же и здѣсь еще нельзя предсказать, въ какомъ направленіи пойдетъ окончательно развитіе этой новой области человѣческой мощи.

ГЛАВА XI.

Электрохимія.

Вернеръ Сименсъ, творецъ современной электротехники, почти сорокъ лѣтъ тому назадъ высказалъ мысль, что въ области электрохимическихъ процессовъ электрическому току еще предстоитъ большая будущность. «Именно въ этой области», говорилъ Сименсъ, «примѣненіе электрическаго тока будетъ наиболѣе успѣшно; въ ней онъ окажетъ человѣчеству самыя большія услуги. Техникою совсѣмъ еще не разработана многообѣщающая область электролиза расплавленныхъ проводниковъ, и не только техническая, но и научная химія не оцѣнили еще въ должной мѣрѣ аналитическую и синтетическую способность электрическаго тока».

Прошло около тридцати лѣтъ, прежде чѣмъ это предсказаніе начало сбываться, но зато, начиная съ этого времени, за разностороннюю разработку этого новаго отдѣла техники—электрохиміи принялись съ большимъ усердіемъ; это рвеніе принесло уже очень цѣнные результаты, давая вмѣстѣ съ тѣмъ возможность ожидать еще много новыхъ, совсѣмъ непредвидѣнныхъ успѣховъ.

Подъ электрохиміей мы разумѣемъ здѣсь всякое полученіе химическихъ веществъ электрическимъ путемъ. Сюда не подходитъ гальванопластика, хотя она и пользуется электролизомъ; для электрохиміи существенно прежде всего то вещество, которое она получаетъ, тогда какъ для гальванопластики—форма, въ какой отлагаются получаемыя вещества.

Электрохимія разрѣшаетъ въ настоящее время слѣдующія задачи. Во-первыхъ, — полученіе чистыхъ металловъ изъ сложныхъ рудъ или другихъ естественныхъ и искусственныхъ соединеній. Эту часть электрохиміи очень удачно называютъ электрометаллургіей.

Вторая задача состоитъ въ полученіи при помощи электрическаго тока болѣе дорогихъ химическихъ соединеній изъ менѣе дорогихъ матеріаловъ. Задача эта въ настоящее время въ сущности сводится къ полученію при помощи электролиза соды, хлора, ѣдкихъ кали и натра, а также къ добыванію изъ воздуха карбида кальція и азотистыхъ соединеній при помощи вольтовой дуги.

Третья задача, которую разрѣшаетъ электрохимія, состоитъ въ полученіи нѣкоторыхъ химическихъ продуктовъ, дѣйствующихъ на окружающую среду, какъ окислители или возстановители въ моментъ своего появленія. Сюда должно быть отнесено полученіе озона, полученіе бѣлильныхъ жидкостей, обеззараживаніе сточныхъ водъ и т. п.

Главнѣйшимъ явленіемъ, на которомъ основана электрохимія, служитъ электролизъ—свойство гальваническаго тока разлагать на составныя части сложныя жидкости, черезъ которыя онъ проходитъ. Но электролизъ не представляетъ собою единственнаго орудія электрохиміи; наоборотъ, она пользуется всѣми извѣстными свойствами электрическаго тока. Сюда принадлежитъ прежде всего тепловое дѣйствіе тока и, главнымъ образомъ, чрезвычайно высокая температура, развиваемая въ вольтовой дугѣ, при которой всѣ тѣла, даже самыя тугоплавкія (кромѣ угля), легко обращаются въ жидкое состояніе. Далѣе сюда же относятся примѣняемые при полученіи озона электрическіе разряды черезъ газы при весьма высокихъ напряженіяхъ; они производятъ какое-то видоизмѣненіе газовъ, которое, можетъ быть, вызывается особыми электролитическими процессами.

Само собою разумѣется, что техника пользуется и чисто химическими процессами, помогающими электролитическимъ; именно въ томъ разнообразіи явленій, какое получается отъ соединенія электролиза съ чисто химическими процессами, и заключается возможность дальнѣйшаго широкаго развитія этой новой отрасли техники.

Электролизъ, этотъ важнѣйшій факторъ электрохиміи, состоитъ какъ это было подробно объяснено въ главѣ VI первой части, въ томъ, что электрическій токъ, проходя черезъ проводящую жидкость, представляющую собой сложное тѣло, и разлагая ее на составныя части—іоны, заставляетъ ихъ выдѣляться на электродахъ; при этомъ положительная составная часть, катіонъ (металлы, водородъ), выдѣляется на катодѣ, а остатокъ, аніонъ—на анодѣ. Основнымъ закономъ, который остается справедливымъ при всѣхъ явленіяхъ электролиза, является законъ Фарадея, согласно которому количество разложенной жидкости, а слѣдовательно, и количество выдѣленныхъ іоновъ увеличивается пропорціонально силѣ тока и времени прохожденія тока, и количества эти для различныхъ тѣлъ относятся между собою, какъ ихъ химическіе эквиваленты.

Химическіе эквиваленты извѣстны для всѣхъ веществъ, и такъ какъ изъ опытовъ найдено, какое количество мѣди выдѣляетъ токъ силою въ 1 амперъ въ 1 сек., минуту или часъ (стр. 425), то можно вывести, сколько того или иного химическаго тѣла выдѣлится на электродѣ, если черезъ растворъ этого вещества проходитъ количество электричества, равное одному амперъ-часу (т. е. 1 амперъ въ теченіе

одного часа или 5 амперъ въ теченіе $^1/_2$ часа и т. д.). Слѣдующая таблица даетъ рядъ чиселъ, выражающихъ эти количества для нѣкоторыхъ тѣлъ:

Токъ силою въ 1 амперъ за 1 часъ выдѣляетъ:

Названіе веществъ.	Мгр.	Названіе веществъ.	Мгр.
Алюминій	337,0	Никкель	371
Свинецъ	3858,4		1096
Желѣзо.	1047	Платина	3632,4
	698	Серебро	4025
Золото	2452	Цинкъ	1217,2
Мѣдь	1182	Олово	2221
	2364	Хлоръ	1323
Магній	454,3	Іодъ	4730
		Кислородъ	298

При нѣкоторыхъ изъ тѣлъ, а именно при желѣзѣ, мѣди и никкелѣ указано два числа. Это сдѣлано потому, что названныя тѣла имѣютъ по два различныхъ эквивалентныхъ вѣса, смотря по соединенію, въ которомъ они находятся. Подъ эквивалентнымъ вѣсомъ какого-нибудь вещества разумѣютъ его атомный вѣсъ (величина неизмѣнная), раздѣленный на эквивалентъ вещества; этотъ же послѣдній различенъ въ различныхъ соединеніяхъ. Напримѣръ, мѣдь обыкновенно извѣстна, какъ 2-хъ эквивалентный металлъ. Изъ сѣрной кислоты H_2SO_4 и мѣди получается мѣдный купоросъ $CuSO_4$, изъ формулы котораго можно видѣть, что 1 атомъ мѣди замѣщаетъ два атома водорода (H_2), т. е. что мѣдь въ этомъ соединеніи двуатомна. Подобнымъ же соединеніемъ является и хлорная мѣдь $CuCl_2$, гдѣ одинъ атомъ мѣди соединенъ съ двумя атомами хлора. Такъ какъ атомный вѣсъ мѣди, какъ это установлено химіей, равенъ 63,18, то эквивалентный ея вѣсъ въ соединеніяхъ, подобныхъ описаннымъ, равенъ 31,59. Но существуютъ и такія соединенія мѣди, въ которыхъ мѣдь является одноатомною, а именно: соли закиси мѣди; изъ нихъ важнѣйшею является хлористая мѣдь CuCl (или Cu_2Cl_2), въ которой 1 атомъ мѣди соединенъ съ 1 атомомъ хлора. Въ этихъ соединеніяхъ эквивалентный вѣсъ мѣди оказывается вдвое больше предыдущаго, т. е. 63,18; поэтому токъ въ 1 амп. въ теченіе одного часа выдѣлитъ изъ нихъ двойное количество мѣди (2364 мгр.) по сравненію съ количествомъ, выдѣляющимся изъ другихъ соединеній, называемыхъ солями окиси мѣди, изъ которыхъ выдѣляется 1182 мгр. Къ солямъ закиси мѣди, кромѣ хлористой мѣди, относятся еще: іодистая мѣдь (CuJ), закись мѣди Cu_2O и сѣрная мѣдь Cu_2S; послѣдняя и представляетъ собою то обыкновенно встрѣчающееся въ природѣ соединеніе, которое называется мѣднымъ блескомъ.

То же наблюдается и съ желѣзомъ, съ тою лишь разницею, что желѣзо не одно- и двухатомно, но двух- и трехатомно. Изъ сѣрной кислоты H_2SO_4 и желѣза Fe получается желѣзный купоросъ $FeSO_4$, въ которомъ желѣзо двухатомно. Соединенія, гдѣ желѣзо двухатомно, называютъ солями закиси; къ нимъ принадлежитъ, кромѣ купороса, двухлористое желѣзо $FeCl_2$, закись желѣза FeO, углекислое желѣзо $FeCO_3$ (шпатовый желѣзнякъ), сѣрнистое желѣзо FeS. Напротивъ того, въ другихъ соединеніяхъ желѣзо трехатомно; ихъ называютъ солями окиси. Къ такимъ соединеніямъ принадлежатъ хлорное желѣзо $FeCl_3$ (или лучше Fe_2Cl_6) и окись желѣза Fe_2O_3 (красный желѣзнякъ). Атомный вѣсъ желѣза равенъ 55,88, а, слѣдовательно, эквивалентный вѣсъ его въ соляхъ закиси равенъ 27,94 и въ соляхъ окиси—18,63. Изъ солей закиси выдѣляется такимъ образомъ въ 1 часъ при токѣ въ 1 амп. 1047 мгр. желѣза, изъ солей же окиси всего лишь 698 мгр. Подобнымъ же образомъ и никкель двух- и трехатоменъ.

Если нужно, чтобы черезъ сосудъ, наполненный растворомъ соли какого-либо металла (ванну), проходилъ токъ, то прежде всего необходима извѣстная разность потенціаловъ, чтобы преодолѣть то сопротивленіе, какое представляетъ собою ванна. Эта разность потенціаловъ равняется, какъ мы видѣли на стр. 76, силѣ тока, умноженной на сопротивленіе ванны; такова именно величина той потери напряженія, какую испытываетъ токъ, преодолѣвая нѣкоторое сопротивленіе.

Но кромѣ того, какъ мы уже знаемъ, всегда при прохожденіи тока черезъ электролитъ возникаетъ обратная электродвижущая сила поляризаціи, и напряженіе тока, проходящаго черезъ электролитъ, должно еще преодолѣть и эту поляризацію; такимъ образомъ, полное напряженіе тока, производящаго электролитическія дѣйствія, должно быть по крайней мѣрѣ равно суммѣ изъ:

1) электродвижущей силы поляризаціи и

2) потери напряженія вслѣдствіе сопротивленія ванны.

Если, напр., черезъ платиновые электроды проводятъ токъ въ растворъ хлористой мѣди, то возникающая поляризація имѣетъ электродвижущую силу въ 1,35 вольта. Если сопротивленіе ванны 0,5 ома, и пропускаются токи силою въ 1, 2, 3 ампера, то потери напряженія въ ваннѣ равны соотвѣтственно 0,5; 1; 1,5 вольта; полное же, слѣдовательно, напряженіе у концовъ ванны равно

1,85; 2,35; 2,85 вольта.

Стоимость электролитическаго процесса существенно зависитъ именно отъ того напряженія (числа вольтъ), какое примѣняется, и силы тока. Дѣйствительно, мощность тока, т. е. та работа, которую онъ произведетъ въ ваннѣ за одну секунду, всегда равна

число вольтъ $\times$ число амперъ.

Чтобы получить такую мощность, должно или привести въ движеніе динамомашину, или примѣнить батарею элементовъ, въ которой будетъ сгорать цинкъ: выходитъ, такимъ образомъ, что для полученія мощности нужно произвести извѣстныя затраты. Полезное дѣйствіе при электролитическомъ процессѣ зависитъ отъ количества осѣвшихъ въ ед. времени іоновъ, т. е., по закону Фарадея, исключительно отъ силы тока. Отсюда ясно, что полезное дѣйствіе, по сравненію съ затраченной мощностью, будетъ тѣмъ выше, чѣмъ меньшимъ напряженіемъ приходится пользоваться.

Мы приходимъ, слѣдовательно, къ такому заключенію:

Электролитическій процессъ тѣмъ выгоднѣе, чѣмъ меньшее требуется напряженіе тока.

Очень картинно выражается этотъ фактъ въ такой фразѣ: при техническомъ электролизѣ амперы приносятъ деньги, а вольты стоятъ денегъ.

Значитъ, первымъ требованіемъ экономическаго электролиза является — понизить, насколько возможно, вольты, т. е. напряженіе ванны. Напряженіе это, какъ уже сказано, составляется изъ двухъ частей: паденіе вольтъ вдоль сопротивленія и напряженіе поляризаціи.

Напряженіе, теряемое при преодолѣніи сопротивленія ванны, нельзя измѣнить, если уже задано сопротивленіе раствора; оно равно произведенію изъ силы примѣняемаго тока на это сопротивленіе; отсюда ясно, что надо обратить особенное вниманіе на уменьшеніе напряженія поляризаціи, т. е. уменьшить насколько возможно при этомъ процессѣ поляризацію.

Въ этомъ можно убѣдиться слѣдующимъ образомъ. Если въ ваннѣ имѣется токъ, развивающій мощность въ 1 лош. силу, т. е. 736 ваттъ (см. стр. 420), и если принять, что напряженіе, необходимое для хода процесса, все время равно 1 вольту, то по числамъ, приведеннымъ на стр. 675, мы можемъ разсчитать, сколько килограммовъ того или иного вещества выдѣлится каждой лошадиной силой въ 1 часъ. Дѣйствительно, въ этомъ случаѣ токъ былъ бы равенъ 736 амп., и намъ придется лишь помножить числа упомянутой таблицы на 736 и выразить всѣ количества въ кило- вмѣсто миллиграммовъ. Тогда мы получимъ слѣдующее:

Каждою лошадиною силою освобождается въ часъ (если напряженіе у ванны равно 1 вольту):

Алюминія	0,248 клгр.	Никкеля	0,538 клгр.
Свинца	2,893 »		0,807 »
Желѣза	0,770 »	Платины	2,673 »
	0,513 »	Серебра.	2,962 »
Золота	1,804 »	Цинка	0,896 »

Мѣди	0,870 клгр.	Олова	1,635 клгр.
	1,740 »	Хлора	0,974 »
Магнія	0,334 »	Іода	3,481 »
		Кислорода	0,219 »

Если же необходимое напряженіе у ванны больше одного вольта, какъ, напр., при никкелевыхъ соляхъ — 4 вольта, то одною лош. силою будетъ выдѣлено не 0,538, а 0,135 клгр. Чѣмъ больше необходимое напряженіе, тѣмъ меньшее количество металла освобождается одной лошадиной силой въ часъ и наоборотъ.

Для наибольшей полезности электрохимическаго процесса необходимымъ условіемъ является то, чтобы поляризація ванны была по возможности слабой. Поляризація эта происходитъ отъ того, что электроды ванны, вслѣдствіе самого электролитическаго процесса, становятся химически не одинаковыми. Чѣмъ рѣзче эта разница между электродами, т. е. чѣмъ дальше они находятся другъ отъ друга въ ряду напряженій, тѣмъ больше будетъ поляризація.

Эти обстоятельства можно себѣ представить еще и съ другой точки зрѣнія. Когда токъ проходитъ черезъ электролитъ, разлагая его на іоны, онъ долженъ совершать извѣстную работу. Эта работа какъ разъ равняется такъ называемому тепловому эффекту процесса, происходящаго при электролизѣ, и отличается отъ него лишь тѣмъ, что выражается въ килограммометрахъ, тогда какъ тепловой эффектъ — въ единицахъ тепла, калоріяхъ. Однако, какъ извѣстно (малыя) калоріи легко превратить въ килограммометры: ихъ нужно лишь помножить на 0,435. Такимъ образомъ, напр., при разложеніи мѣднаго купороса $CuSO_4$, растворенаго въ водѣ, употребляется работа въ 55.960 малыхъ калорій, или

$$55960 \times 0{,}435 \text{ кгм.}$$

на каждую разложенную граммъ-молекулу купороса (т. е. на разложеніе 159 гр. $CuSO_4$). Эту-то работу и долженъ произвести токъ, причемъ она вся скапливается въ электролитической ваннѣ. На одномъ электродѣ выдѣляется мѣдь, на другомъ же остатокъ сѣрной кислоты (SO_3+O). Эти вещества поляризуютъ электроды, и эта поляризація представляетъ собою новый источникъ энергіи, могущій совершить работу, такъ какъ, если соединить поляризованные электроды, то они вызовутъ токъ (поляризаціонный токъ), который можетъ произвести работу. Если же выдѣляющіяся вещества (которыя, находясь въ видѣ свободныхъ іоновъ, очень жадны къ соединеніямъ) не оставлять свободными на электродахъ, а заставлять образовывать новыя соединенія, то взамѣнъ потраченнаго количества тепла будетъ выдѣляться новое, а потому потребное для электролиза количество тепла будетъ

меньше, чѣмъ раньше, и въ ваннѣ будетъ накапливаться меньше энергіи, т. е. поляризація уменьшится.

Это даетъ намъ средство уменьшить поляризацію: нужно такъ устроить, чтобы іоны на одномъ электродѣ, или на обоихъ, образовывали новыя соединенія, которыя производили бы количество тепла, по возможности близкое по величинѣ къ тому тепловому эффекту, который надо преодолѣть.

Численный примѣръ пояснитъ сказанное. Въ случаѣ ванны съ мѣднымъ купоросомъ и платиновыми электродами для разложенія мѣднаго купороса потребляется, какъ было сказано, $55960 \times 0{,}435$ кгм. работы на каждую граммъ-молекулу, въ данномъ случаѣ на каждые 2 эквивалента выдѣленной мѣди. Эта работа въ 24343 кгм. на каждые 2 эквивалента мѣди остается въ ваннѣ въ скрытомъ состояніи въ видѣ поляризаціи. Если пойдетъ поляризаціонный токъ, то онъ можетъ произвести всю эту работу. Отсюда можно вычислить электродвижущую силу поляризаціи. Дѣйствительно, токъ, выдѣляющій два эквивалента мѣди, долженъ пронести съ собою 2×96540 кулоновъ (см. стр. 160). Но вѣдь произведеніе изъ числа вольтъ на число кулоновъ (въ данномъ случаѣ: 2×96540), раздѣленное на 9,81, равно работѣ, произведенной токомъ и выраженной въ килограммометрахъ (здѣсь: 24343); откуда для нашего случая получается, что число вольтъ $= \frac{24343 \times 9{,}81}{2 \times 96540} = 1{,}56$. Такова была бы величина электродвижущей силы поляризаціи, если бы не происходило никакихъ побочныхъ процессовъ.

Если же сдѣлать анодъ не платиновымъ, а мѣднымъ, то при пропусканіи тока аніонъ SO_4 немедленно войдетъ въ соединеніе съ мѣдью, образуя вновь мѣдный купоросъ, при чемъ вновь выдѣляется 55960 калорій; такимъ образомъ энергія, затраченная при выдѣленіи мѣди (на катодѣ), возмѣщается энергіею, получаемой при соединеніи мѣди (на анодѣ); никакого накопленія въ ваннѣ не происходитъ, т. е. поляризація будетъ равна нулю. Дѣйствительно, поляризаціи при этомъ не наблюдается вслѣдствіе того, что въ жидкость погружены электроды мѣдный и платиновый, покрытый мѣдью, которые въ электрическомъ отношеніи, конечно, совершенно одинаковы.

Итакъ, средство понизить напряженіе заключается въ томъ, чтобы іонамъ, освобождающимся на электродахъ, предоставить возможность вступить въ химическія соединенія (которыя, конечно, не должны вредить основному процессу); другими словами, іонамъ надо предоставить возможность совершать работу у электродовъ.

Такъ какъ при металлургическихъ процессахъ катіонъ (металлъ) представляетъ собою продуктъ, который требуется получить въ чистомъ видѣ, то въ этихъ случаяхъ надо стараться создать возможность произведенія химической работы у анода. У анода выдѣляется

всегда кислотный остатокъ электролита, дѣйствующій окислительно, какъ напримѣръ SO_4, NO_3, Cl и др. Поэтому должно стремиться къ тому, чтобы у анода происходило возможно энергичное окисленіе. Во многихъ случаяхъ это достигается тѣмъ, что для анода выбираютъ такое вещество, которое подъ дѣйствіемъ аніона само растворялось бы, при чемъ по возможности происходило бы то же самое соединеніе, какое подвергается электролизу, какъ это и было въ нашеиъ примѣрѣ съ мѣднымъ электродомъ. Аніонъ можно еще заставить дѣйствовать не на анодъ, а на электролитъ и притомъ такъ, чтобы онъ цѣлесообразно окислялъ электролитъ. Ниже мы познакомимся съ примѣрами на оба эти метода.

Въ связи съ разсмотрѣннымъ вопросомъ находятся еще слѣдующія важныя обстоятельства. Для электролитическаго процесса при данныхъ электродахъ не всякая сила тока оказывается одинаково пригодною; сила тока должна быть въ извѣстномъ отношеніи къ поверхности электродовъ. Для выясненія упомянутаго обстоятельства обратимся къ случаю разложенія мѣднаго купороса, при чемъ анодомъ будетъ служить мѣдная пластинка. Пусть поверхность анода имѣетъ опредѣленную величину, напримѣръ, $^1/_2$ кв. мт. При прохожденіи тока у анода выдѣляется SO_4; этотъ остатокъ разъѣдаетъ мѣдь и образуетъ $CuSO_4$. Чѣмъ сильнѣе токъ, тѣмъ больше выдѣляется SO_4 въ одно и то же время, и тѣмъ больше образуется купороса $CuSO_4$. Однако такъ происходитъ, очевидно, лишь до тѣхъ поръ, пока выдѣленіе SO_4 не будетъ происходить слишкомъ энергично. Если это выдѣленіе слишкомъ велико, т. е. если слишкомъ велика сила тока, то на анодѣ не найдется достаточной поверхности для того, чтобы все SO_4 могло растворять мѣдь. Отсюда слѣдуетъ, что въ зависимости отъ величины поверхности анода сила тока не должна превосходить нѣкоторой величины, если желаютъ, чтобы электролитическій процессъ происходилъ возможно правильнѣе. Если анодъ имѣетъ поверхность вдвое большую, для нашего случая значитъ 1 кв. мт., то и токъ можно увеличить вдвое. Отношеніе силы тока къ величинѣ поверхности анода называется плотностью тока, и можно сказать, что для всякаго электролитическаго процесса существуетъ извѣстная максимальная плотность тока, за которую нельзя перейти, не вызывая вредныхъ послѣдствій. Плотность тока выражается обыкновенно числомъ амперъ на квадратный метръ поверхности анода.

Это разсужденіе примѣнимо и къ катоду. Плотность тока вблизи него также оказываетъ существенное вліяніе на продукты электролиза. Если напр. сила тока слишкомъ велика для поверхности катода, то будетъ выдѣляться слишкомъ много металла, который при этомъ часто въ моментъ своего выдѣленія разлагаетъ большее или меньшее количество воды. При этомъ металлъ выдѣляется не плотнымъ слоемъ,

а губчатымъ или пористымъ. Такимъ образомъ, дальнѣйшимъ условіемъ электрохимическаго процесса является подходящая плотность тока, опредѣленная предварительными опытами. Можетъ случиться, что нѣкоторая плотность тока весьма удачно подобрана для анода, но въ то же время она слишкомъ мала или велика сравнительно съ поверхностью катода. Въ такомъ случаѣ можетъ оказаться необходимымъ сдѣлать поверхность катода больше или меньше анодной.

Послѣ этихъ предварительныхъ соображеній обращаемся къ описанію главнѣйшихъ электрохимическихъ процессовъ, примѣняемыхъ современною практикою.

Электролизомъ уже давно пользуются для полученія чистой мѣди, конечно, не изъ естественныхъ мѣдныхъ рудъ, а изъ такъ называемой черной мѣди, которая получается изъ различныхъ естественныхъ рудъ обжиганіемъ въ печахъ. Черная мѣдь состоитъ главнымъ образомъ изъ мѣди, но содержитъ еще примѣси сѣрнистой мѣди, сѣрнистаго желѣза, серебра, платины, золота, висмута, олова и др. Задача состоитъ въ томъ, чтобы изъ этой нечистой мѣди добыть при помощи электролиза совершенно чистую, весьма поэтому цѣнную мѣдь и въ тоже время выдѣлить такія цѣнныя примѣси, какъ серебро и проч.

Съ этою цѣлью изъ черной мѣди отливаются большія толстыя плиты и устанавливаются въ качествѣ положительныхъ электродовъ (анодовъ) въ ванну, которая наполняется подкисленнымъ растворомъ мѣднаго купороса. Отрицательнымъ электродомъ служитъ тонкая пластина такой же величины, но изъ чистой мѣди. При прохожденіи тока нечистая мѣдь растворяется въ сѣрной кислотѣ, образующейся при электролитическомъ процессѣ, чистая же выдѣляется на отрицательномъ электродѣ, если подобрана подходящая сила тока. Обыкновенно считаютъ на каждый квадратный метръ по 50—100 амп. Примѣси съ положительнаго электрода отчасти растворяются въ растворѣ мѣднаго купороса, отчасти же осаждаются на днѣ. Такимъ образомъ изъ черной мѣди получаются (въ ничтожныхъ количествахъ) серебро, олово, висмутъ, золото, платина, свинецъ, которые осѣдаютъ на дно въ видѣ осадка и могутъ быть при случаѣ выдѣлены изъ него. На горномъ заводѣ въ Оккерѣ (Саксонія), гдѣ былъ впервые примѣненъ электролитическій способъ очищенія мѣди, давно уже получаютъ этимъ способомъ превосходную чистую мѣдь, т. наз. электролитическую мѣдь. Въ настоящее время этотъ способъ примѣняется на многихъ мѣдноплавильныхъ заводахъ.

При этомъ процессѣ весьма важно поддерживать постоянное движеніе жидкости. Чѣмъ обильнѣе примѣси въ анодѣ, тѣмъ больше электродвижущая сила поляризаціи; поэтому, чѣмъ менѣе чиста мѣдь, тѣмъ большее требуется напряженіе, и тѣмъ менѣе экономичнымъ

является процессъ. Онъ оказывается наиболѣе экономичнымъ, если въ неочищенной мѣди содержится не болѣе $^1/_2\%$ примѣсей.

Напряженіе, необходимое для преодолѣнія поляризаціи при черной мѣди, если растворъ еще киселъ и не очень загрязненъ, равно 0,12 вольта. Это напряженіе, конечно, очень мало и оно мало именно потому, что у анода снова происходитъ разъѣданіе мѣди.

Получаемая такимъ образомъ электролитическая мѣдь предъ употребленіемъ сплавляется, такъ какъ оказывается слишкомъ ломкою и хрупкою вслѣдствіе своего кристаллическаго строенія. Лишь съ введеніемъ электролитическаго способа очистки мѣди явилась въ продажѣ совершенно чистая, такъ называемая электролитическая мѣдь. Она во многихъ случаяхъ вытѣсняетъ собой нечистую мѣдь, напр., въ электротехникѣ, благодаря своей особенно большой проводимости.

Подобно тому, какъ электролизъ употребляется для полученія изъ нечистой совершенно чистой мѣди, такъ же имъ пользуются и для полученія въ чистомъ видѣ другихъ, а именно благородныхъ металловъ.

Это электрическое очищеніе металловъ чаще всего употребляется для золота и серебра; но и для очищенія свинца и цинка этотъ способъ оказался практичнымъ.

Электролизъ мѣди даетъ средство приготовлять мѣдныя трубы безъ швовъ. Производится это по эльморовскому способу, введенному въ Лидсѣ (Англіи) и въ Шладернѣ на р. Зигѣ. При этомъ способѣ въ ваннѣ, наполненной растворомъ мѣднаго купороса, отрицательнымъ электродомъ служитъ желѣзный валъ, приводимый въ непрерывное вращеніе, на которомъ и отлагается мѣдь. Положительный электродъ приготовляется изъ т. наз. чилійской мѣди, раздробленной предварительно въ зернышки посредствомъ быстраго капанія ея въ расплавленномъ состояніи въ воду. Эти зерна лежатъ на особомъ рѣшетѣ изъ мѣдной проволоки на днѣ ванны. Въ продолженіе всего электролитическаго процесса по вращающемуся валу взадъ и впередъ скользитъ агатовый полировальный камень, который и заставляетъ мѣдь отлагаться плотнымъ и гладкимъ слоемъ. Токъ проводится къ вращающемуся валу скользящими по немъ щетками. Каждая ванна требуетъ 1 вольтъ напряженія. Сила тока можетъ быть очень большою, такъ какъ отлагающаяся слоями мѣдь уплотняется агатомъ, и отложившійся металлъ оказывается очень плотнымъ. Въ 144 часа откладывается на валу слой въ 3,2 мм. толщины. Когда слой отложившейся мѣди получитъ требуемую толщину, желѣзный сердечникъ извлекается посредствомъ нагрѣванія и выдавливанія, и получается мѣдная труба безъ швовъ. Трубы, приготовленныя по этому способу, отличаются очень большимъ сопротивленіемъ на разрывъ. Весьма важнымъ условіемъ при этомъ способѣ является то, чтобы форма, т. е. желѣзный

валъ, былъ совершенно гладкимъ: всякая неправильность на поверхности вала дѣлаетъ трубу негодною къ употребленію.

Въ только-что описанныхъ способахъ электролизомъ вполнѣ очищается достаточно уже чистая мѣдь, при чемъ иногда ей сразу же придается желаемая форма. Еще болѣе важною задачею является полученіе чистой мѣди прямо изъ мѣдныхъ рудъ (а не изъ продукта обработки—черной мѣди). Къ разрѣшенію этой задачи приступали съ различныхъ сторонъ; но здѣсь, какъ и въ другихъ подобныхъ случаяхъ, вполнѣ разрѣшаемыхъ принципіально, являются столь большія практическія затрудненія, что процессъ, легко производимый на бумагѣ, оказывается невыполнимымъ въ дѣйствительности. Для полученія чистой мѣди существовали различные способы, которые долгое время изучались на практикѣ, но въ концѣ концовъ всѣ они были оставлены.

Пробовали также получить электрическимъ путемъ изъ рудъ и другіе тяжелые неблагородные металлы; однако электрическій способъ мало еще привился по отношенію къ нимъ. Электрическимъ путемъ производится лишь очищеніе ихъ, какъ то было сказано выше.

Напротивъ, электролизъ находитъ себѣ примѣненіе на практикѣ при выдѣленіи олова изъ обрѣзковъ бѣлой жести (луженаго желѣза), содержащей 3—9% олова. Листы бѣлой жести укладываются въ желѣзные ящики и опускаются въ ванну. Ванны наполняются воднымъ растворомъ ѣдкаго натра. Ящики съ жестью встряхиваются во время электролиза, для того, чтобы жидкость всюду проникала. Обрѣзки бѣлой жести вмѣстѣ съ ящиками являются анодами, катодами же служатъ куски листового желѣза, устанавливаемые около ящиковъ. Олово тогда освобождается токомъ съ анода и отлагается на катодѣ. Каждая ванна требуетъ напряженіе всего лишь въ 2 вольта, плотность же тока должна быть въ 30 амп. на кв. мт. Сначала олово осаждается въ видѣ рыхлой массы, но затѣмъ оно становится зернистымъ, осаждаясь кристаллами въ формѣ иглъ. Оно оказывается чище обыкновеннаго продажнаго олова.

Электрохимія достигла хорошаго результата въ дѣлѣ полученія золота. Въ цѣломъ рядѣ копей въ Трансваалѣ примѣняется теперь въ большихъ размѣрахъ т. наз. сименсовскій процессъ; техническіе и экономическіе результаты его оказываются весьма удовлетворительными. Сименсовскій процессъ заключается въ томъ, что золотоносная руда вмѣстѣ съ примѣсями обрабатывается очень слабымъ растворомъ ціанистаго кали, растворяющимъ золото. Растворъ золота въ ціанистомъ кали подвергается электролизу, при чемъ золото осаждается на свинцовыхъ пластинахъ. Съ этихъ пластинъ оно снимается обычными способами. Примѣненіе ціанистаго кали дѣлаетъ описываемый пріемъ сходнымъ съ такъ называемымъ ціановымъ процессомъ, часто примѣняемымъ на практикѣ. Однако въ этомъ процессѣ золото

выдѣляется изъ ціановаго раствора помощью цинковыхъ опилокъ, тогда какъ въ способѣ Сименса выдѣленіе его производится помощью электролиза. Слѣдствіемъ этого различія является то, что въ ціановомъ процессѣ долженъ употребляться гораздо болѣе концентрированный растворъ ціанистаго кали (около 0,3%), чѣмъ въ сименсовскомъ, при которомъ необходимо, чтобы въ растворѣ находилось всего лишь 0,05 и даже 0,01% ціанистаго кали, что весьма существенно въ виду высокой стоимости ціанъ-кали. Кромѣ того, при ціановомъ способѣ золото выдѣляется въ видѣ порошка на цинковыхъ опилкахъ, тогда такъ при электролитическомъ — оно осаждается крѣпкимъ слоемъ на свинцовой пластинѣ. При сименсовскомъ способѣ полученія золотая руда измельчается въ возможно мелкій порошокъ и затѣмъ ссыпается въ желѣзные сосуды, объемомъ приблизительно въ 100 кб. мт., наполненные растворомъ ціанистаго кали; при этомъ золото растворяется. Растворъ этотъ сливается въ желѣзные сосуды около 20 кб. мт. емкостью, гдѣ и подвергается электролизу, причемъ катодами, какъ выше упомянуто, служатъ свинцовыя пластины, анодами же куски листового желѣза. На это желѣзо дѣйствуетъ электролизуемая жидкость, при чемъ образуется берлинская лазурь, которая затѣмъ снова обращается въ ціанистый кали. Этимъ способомъ выдѣляется около 70% золота, содержащагося въ промытой уже рудѣ. Этотъ сименсовскій способъ позволяетъ обрабатывать руды, бѣдныя золотомъ.

Общее во всѣхъ этихъ способахъ полученія тяжелыхъ металловъ при помощи электрическаго тока заключается въ томъ, что металлы получаются изъ растворовъ ихъ солей.

Этотъ пріемъ не могъ быть, до настоящаго времени, распространенъ на легкіе металлы, такъ какъ они въ моментъ своего выдѣленія дѣйствуютъ на воду разлагающимъ образомъ и потому не могутъ быть выдѣлены изъ раствора электролитическимъ путемъ. Для выдѣленія этихъ металловъ надо пользоваться расплавленными, раскаленными до жидкаго состоянія соединеніями этихъ металловъ.

Въ малыхъ размѣрахъ удается получать почти всѣ эти металлы. Что же касается до полученія въ большихъ размѣрахъ, то отчасти и способы полученія не подходятъ еще для этого, отчасти же и сами металлы не находятъ еще себѣ такого обширнаго примѣненія, чтобы могло оправдаться добываніе ихъ въ большихъ количествахъ.

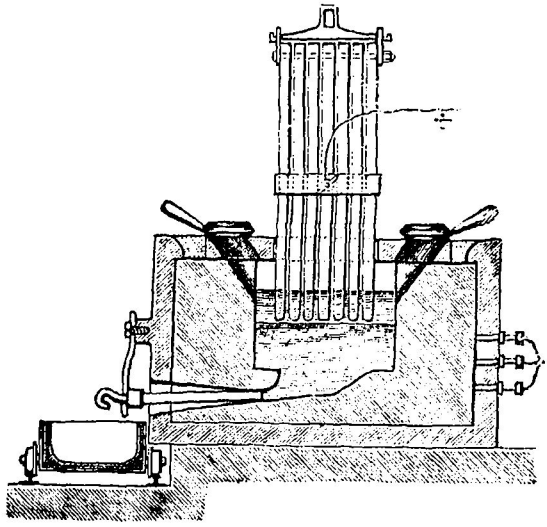
Изъ всѣхъ легкихъ металловъ въ большихъ размѣрахъ производится добываніе лишь алюминія, натрія, калія и магнія, при чемъ, лишь со времени изобрѣтенія электрическаго способа полученія алюминія металлъ этотъ сталъ предметомъ ежедневнаго обихода.

Алюминій имѣетъ столь необыкновенныя полезныя качества, что во многихъ случаяхъ онъ совершенно вытѣсняетъ собой желѣзо. Сплавы алюминія съ мѣдью и цинкомъ, такъ наз. алюминіевыя

бронзы, какъ оказывается, также обладаютъ очень цѣнными качествами.

Акціонерное общество алюминіевой промышленности въ Нейгаузенѣ (Швейцарія) пользуется для полученія чистаго алюминія слѣдующимъ способомъ. Въ Нейгаузенѣ утилизировали болѣе 2000 лошадиныхъ силъ рейнскаго водопада; энергія эта приводитъ въ дѣйствіе динамомашины, которыя вырабатываютъ токъ. Этотъ токъ съ одной стороны расплавляетъ соли, съ другой электролизируетъ. Новѣйшія усовершенствованія этого производства сохраняются въ тайнѣ; принципъ же его заключается въ слѣдующемъ. Въ большой угольный тигель, обшитый снаружи желѣзомъ (черт. 568), вводится двойная соль фтористыхъ алюминія и натрія. Во время процесса къ ней непрерывно добавляется въ опредѣленномъ количествѣ глиноземъ. Самъ тигель является катодомъ, въ качествѣ же анода служитъ цѣлый рядъ угольныхъ, связанныхъ между собою, пластинъ, видимыхъ въ верхней части чертежа. Въ тигель съ боковъ ведутъ два косыхъ канала, наполненные глиной, снизу же имѣется особое отверстіе, закрываемое угольнымъ стержнемъ, черезъ которое можно выливать выдѣлившійся металлъ Въ началѣ процесса положительный электродъ опускаютъ до соприкосновенія съ отрицательнымъ; когда же токъ начинаетъ идти, его приподнимаютъ. При этомъ образуется вольтова дуга, которая расплавляетъ соль алюминія. Затѣмъ анодъ подымаютъ еще выше, дуга прерывается, и тогда начинаетъ происходить электролизъ. Благодаря джоулеву теплу вся масса поддерживается въ расплавленномъ состояніи. При этомъ процессѣ употребляется токъ съ напряженіемъ отъ 5 до 8 вольтъ и силою въ 12.000 амп. Изъ расплавленнаго глинозема алюминій выдѣляется на тиглѣ. Благодаря этому способу полученія, цѣна алюминія упала съ 200 до 3 марокъ за килограммъ.

Черт. 568.



Для полученія алюминія по этому способу въ Нейгаузенѣ имѣются огромныя динамомашины, изъ которыхъ каждая производитъ токъ силою до 7500 амперъ.

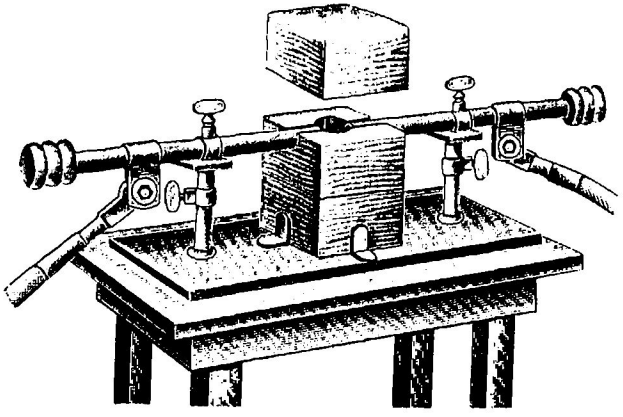
Въ настоящее время металлическій натрій получается въ большихъ количествахъ электрическимъ способомъ, а именно электролизомъ расплавленнаго ѣдкаго натра. При этомъ употребляются небольшіе катоды изъ желѣза, такъ что получается очень большая плотность тока; образующійся вслѣдствіе электролиза натрій постоянно удаляется по мѣрѣ накопленія. Этимъ же способомъ добывается и металлическій калій.

Одно Акціонерное общество въ Бременѣ добываетъ магній тѣмъ же способомъ, который употребляется при добычѣ алюминія, а именно электролизомъ двойной хлористой соли калія и магнія. Спросъ на этотъ металлъ возросъ въ очень сильной степени вслѣдствіе того, что сплавъ, называемый магнилій, въ которомъ содержится магній и алюминій, нашелъ себѣ большое примѣненіе въ техникѣ.

Въ процессѣ добычи алюминія, натрія и магнія пользуются джоулевымъ тепломъ, развиваемомъ въ электролитѣ при прохожденіи черезъ него тока. Это тепло поддерживаетъ соль въ расплавленномъ состояніи, вслѣдствіе чего происходитъ электролизъ.

Въ другихъ случаяхъ, для полученія новыхъ химическихъ продуктовъ при помощи реакціи соединенія или разложенія, также пользуются высокими температурами, получающимися въ вольтовой дугѣ. Этотъ методъ выработанъ былъ главнымъ образомъ французскимъ химикомъ Муассаномъ, который весьма широко изслѣдовалъ всевозможныя примѣненія вольтовой дуги. Онъ построилъ электриче-

Черт. 569.

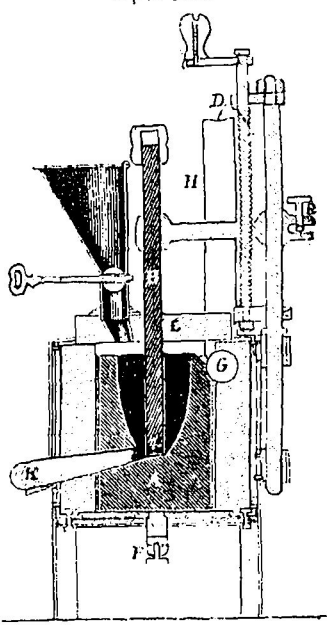


скую плавильную печь, въ которой непосредственно пользуются высокой температурой вольтовой дуги для различныхъ химическихъ и физическихъ процессовъ. Видъ этой печи изображенъ на черт. 569. Печь эта состоитъ изъ 3-хъ плитъ, приготовленныхъ изъ магнезита или шамота; верхняя служитъ крышкой. Во вторую плиту съ боковъ

вводятся два толстые угля, расположенные горизонтально. Внутри этой плиты находится тигель, сдѣланный изъ угля, магнезита или сплавленной магнезіи, въ зависимости отъ температуры, на которую приходится разсчитывать. Къ углямъ токъ идетъ по особымъ кабелямъ. Подобныя печи изготовляются въ Германіи, во Франкфуртѣ-на-Майнѣ на золото- и серебро-плавильномъ заводѣ.

Муассанъ работалъ съ этими печами, пользуясь сначала токомъ въ 110 вольтъ напряженія и силой до 1000 амперъ; во время работы угли накаляются по всей своей длинѣ, и изъ отверстій вырывается пламя, достигающее временами 40—50 сантиметровъ. Токъ въ 1000 амперъ при 110 вольтахъ обладаетъ мощностью въ 110.000 ваттъ; такъ какъ 736 ваттъ равны одной лошадиной силѣ, то, для приведенія въ дѣйствіе такой дуги, необходимы приблизительно 150 лошадиныхъ силъ. При еще болѣе сильныхъ токахъ, напримѣръ въ 2000 амперъ, известь не выдерживаетъ и становится жидкою, какъ вода. Въ такихъ случаяхъ Муассанъ обкладываетъ углубленіе своей печи пластинками изъ магнезіи, наложенными на угольныя пластинки. Подобная печь даетъ, понятно, возможность работать съ весьма ограниченнымъ количествомъ матеріала. Однако теперь та же фирма изготовляетъ печи, съ которыми можно работать непрерывно. Разрѣзъ подобной печи изображенъ на черт. 570. Тигель *A* дѣлается изъ угля и служитъ отрицательнымъ электродомъ; если же онъ сдѣланъ изъ магнезита, то тогда токъ проходитъ черезъ угольный стержень, просунутый сквозь дно тигля. *F* представляетъ собою зажимъ для отрицательнаго кабеля. Положительный уголь *B*, соединенный съ положительнымъ кабелемъ въ *E*, можетъ быть перемѣщаемъ внизъ и вверхъ при помощи винта *D*. Черезъ воронку *C* съ подвижнымъ дномъ можно подсыпать свѣжій матеріалъ, тогда какъ готовый продуктъ сливается черезъ отверстіе *K*. Газы, выдѣляющіеся при процессѣ, удаляются въ *H* черезъ отверстіе *G*.

Черт. 570.



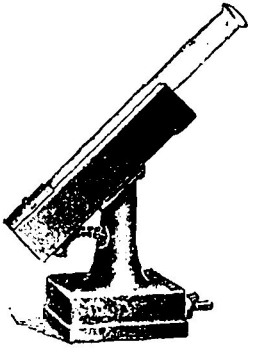
Въ подобныхъ печахъ удается получить въ чистомъ видѣ и въ большомъ количествѣ цѣлый рядъ тѣлъ: хромъ, марганецъ, молибденъ, вольфрамъ, ураиъ, ванадій, цирконій, титанъ; кромѣ того, можно получать и ихъ соединенія. Удалось также приготовить искусственные алмазы, правда, небольшихъ размѣровъ.

Особенную важность какъ въ теоретическомъ, такъ и въ практическомъ отношеніяхъ, представляетъ собой результатъ, вытекающій изъ опытовъ Муассана и заключающійся въ томъ, что большая часть металловъ при такихъ высокихъ температурахъ вступаетъ въ соединеніе съ углеродомъ и образуетъ новыя химическія тѣла. Подобныя соединенія вообще называютъ карбидами; Муассанъ получилъ карбиды литія, кальція, барія, стронція, церія, лантана, итрія, торія, алюминія, марганца, кремнія и бора. Выдающееся практическое значеніе до сихъ поръ получили только два карбида. Во первыхъ, карбидъ кремнія (карборундъ), отличающійся большею, чѣмъ всѣ другія тѣла, твердостью и уступающій въ этомъ отношеніи только алмазу; поэтому онъ очень часто примѣняется для шлифовки. Во-вторыхъ, карбидъ кальція, называемый обыкновенно просто карбидомъ. Приготовленіе послѣдняго ведется слѣдующимъ образомъ. Берется смѣсь извести (CaO) и угля (C) въ такомъ отношеніи, чтобы на каждую молекулу CaO (56 гр.) приходилось 3 молекулы углерода (36 гр.). Все это закладывается въ электрическую печь, въ которой и образуются соединенія кальція съ углеродомъ, карбидъ кальція (CaO_2) и улетучивающаяся изъ печи окись углерода (CO). Получающійся карбидъ имѣетъ видъ темной однородной массы, которую легко можно разбивать на куски. Практическое значеніе карбида кальція заключается въ томъ, что если его бросить въ воду, то изъ него немедленно выдѣляется газъ ацетиленъ и притомъ совершенно чистый при условіи, конечно, что и карбидъ кальція совершенно чистъ. При этомъ углеродъ (C_2) соединяется съ водородомъ воды (H_2), образуя ацетиленъ (C_2H_2), кальцій (Ca) карбида соединяется съ кислородомъ воды (O) и образуетъ известь (CaO). Ацетиленъ, одинъ изъ углеводородовъ, горючъ и при горѣніи даетъ пламя во много разъ большей яркости, чѣмъ обыкновенный свѣтильный газъ. Такъ какъ карбидъ представляетъ собой твердое, легко перевозимое тѣло, и реакція его съ водою въ высшей степени проста, то поэтому теперь началъ распространяться новый способъ освѣщенія, а именно освѣщеніе ацетиленомъ вмѣсто свѣтильнаго газа. Цѣлый рядъ несчастныхъ случаевъ, происходившихъ въ первое время по введеніи этого освѣщенія, повлекъ за собою обстоятельныя изслѣдованія свойствъ ацетилена, и было установлено, что газъ этотъ при давленіяхъ, мало отличающихся отъ атмосфернаго, вполнѣ безопасенъ, при большихъ же давленіяхъ онъ легко можетъ давать опасные взрывы. Практическія примѣненія ацетилена, за послѣдніе годы все болѣе и болѣе расширяющіяся, всецѣло основаны на электрохиміи, такъ какъ газъ этотъ легко и очень выгодно получается изъ карбида кальція. При помощи одной лошадиной силы можно въ теченіе 24 часовъ приготовить 3,5 кило карбида. Карбидъ служитъ не только для добыванія ацетилена и тѣмъ самымъ

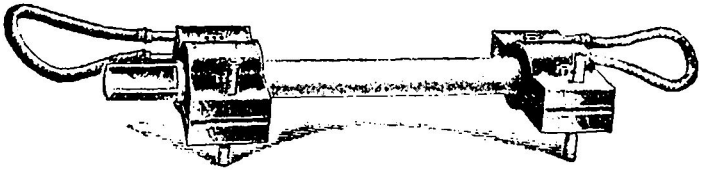
для цѣлей освѣщенія; имъ пользуются также для полученія солей синильной кислоты, которыя представляютъ собой соединенія углерода и служатъ для удобренія;—кромѣ того въ техникѣ его примѣняютъ для техническаго приготовленія сажи. Въ виду этого карбидъ изготовляется въ большомъ количествѣ.

Пользуясь высокой температурой, образующейся въ электрическихъ печахъ, удается получить одно соединеніе углерода и кремнія, обладающее очень важными для практики свойствами. Дѣйствительно, если нагрѣвать при высокой температурѣ (1800° или 1900°) уголь вмѣстѣ съ кремніемъ, то пары кремнія проникаютъ въ уголь и образуется кремнистый уголь; такой уголь изготовляется фабрикой «Прометей» во Франкфуртѣ-на-Майнѣ, которая дала ему названіе Силундумъ. Силундумъ выдерживаетъ высокія температуры до 1600°, и его электрическое сопротивленіе больше, чѣмъ у угля; поэтому онъ очень подходящъ для электрическихъ нагрѣвательныхъ приборовъ, предназначенныхъ для нагрѣванія до очень высокихъ температуръ. Фабрика Прометей изготовляетъ изъ силундума грѣлки въ видѣ плитъ, печи, грѣлки для пробирокъ и трубчатыя. На черт. 571 изображена грѣлка для пробирокъ, а на черт. 572 трубчатая, съ электродами, охлаждаемыми проточной водой.

Черт. 571.



Черт. 572.



Въ послѣдніе годы электрическія печи нашли себѣ большое примѣненіе для полученія различныхъ сплавовъ желѣза и стали. Пріемомъ, подобнымъ тому, который употребляется для полученія алюминія, а именно сплавляя хромъ съ желѣзомъ, можно получить хромовую сталь, употребляющуюся для броневыхъ плитъ. Въ особенности же употребительны электрическія печи для полученія стали изъ чугуна или для полученія стали съ особыми качествами изъ обыкновенной; это примѣненіе оказалось очень выгоднымъ въ экономическомъ отношеніи. При этомъ, для того, чтобы избѣжать соприкосновенія расплавленнаго желѣза съ углемъ, электрическія печи дѣлаются въ видѣ индукціонныхъ печей; это значитъ, что желѣзо или сталь расплавляются или поддерживаются въ расплавленномъ состояніи индукціонными токами, образующимися внутри нихъ. Такія печи можно разсматривать, какъ

трансформаторы, и именно, какъ обыкновенные кольцевые трансформаторы. По первичной обмоткѣ проходятъ сильные перемѣнные токи, вторичная же обмотка состоитъ изъ трубокъ, которыя наполнены жидкимъ желѣзомъ. Электрическія печи Кьеллина и Рехлингъ-Роденгаузера приводятся въ дѣйствіе перемѣнными и трехфазными токами и даютъ возможность, при сравнительно небольшой затратѣ энергіи, получать электросталь, а также прекрасную тигельную сталь.

Добываніемъ чистыхъ металловъ и ихъ сплавовъ далеко, однако, не исчерпываются всѣ случаи использованія электролитическихъ свойствъ тока. Такъ какъ при каждомъ электролитическомъ процессѣ у катода появляются возстановляющія вещества, а у анода—окисляющія, то разнообразными комбинаціями тѣлъ, подвергаемыхъ электролизу, можно получать новыя тѣла, болѣе цѣнныя, чѣмъ первоначальныя. Слѣдуетъ лишь рѣшить вопросъ, дешевле ли произвести окисленіе и возстановленіе при помощи тока, чѣмъ посредствомъ чисто химическихъ окислителей или возстановителей. Теперь уже во многихъ случаяхъ электролитическіе способы оказываются болѣе дешевыми, чѣмъ чисто химическіе, и притомъ они отличаются еще тѣмъ преимуществомъ, что позволяютъ получать продукты въ болѣе чистомъ видѣ, чѣмъ при какихъ бы то ни было другихъ способахъ. Въ настоящее время на многихъ фабрикахъ въ Германіи и въ другихъ странахъ нѣсколько сотъ тысячъ лошадиныхъ силъ примѣнены для полученія такихъ химическихъ продуктовъ электролитическимъ способомъ.

Всѣ эти процессы, насколько они имѣютъ практическое примѣненіе, представляютъ собой тайну изобрѣтателей, да кромѣ того пониманіе ихъ потребовало бы спеціальной подготовки по химіи, а потому мы и не будемъ ихъ касаться подробнѣе.

Здѣсь мы изложимъ только электролитическіе способы бѣленія, употребляющіеся для бѣленія бумаги и разнаго рода тканей. При этомъ способѣ требуется получить жидкость, производящую бѣленіе. Вещества, подвергающіяся бѣленію, обрабатываются этою жидкостью такъ же, какъ напр. при бѣленіи хлорной известью. Для полученія такой жидкости, электролизу подвергается растворъ поваренной соли. Растворъ наливается въ сосуды соотвѣтственной формы, называемые электролизерами; они имѣютъ электроды изъ платины или иридистой платины, черезъ которые и проходитъ токъ. Химическіе процессы, происходящіе въ электролизерахъ при прохожденіи тока, крайне сложны и пока еще не вполнѣ выяснены. На практикѣ единственно важно то, что въ жидкости образуются соединенія хлора и кислорода, а именно хлорноватый ангидридъ (ClO_3) и хлорный ангидридъ (ClO_2), обладающіе очень важными для бѣленія свойствами. Они отдаютъ свой кислородъ растительнымъ волокнамъ окрашеннаго вещества и тѣмъ самымъ обезцвѣчиваютъ ихъ.

Въ такомъ электролизерѣ, содержащемъ 30 килограммовъ поваренной соли, черезъ который проходитъ токъ въ 100 вольтъ и 25 амперъ, въ теченіе часа образуется такое количество бѣлильной жидкости, что оно соотвѣтствуетъ $^1/_2$ килограмма бѣлильнаго хлора. Растворъ соли берется настолько разведеннымъ, чтобы бѣлильная жидкость содержала всего лишь 0,15 до 0,2% дѣятельнаго хлора.

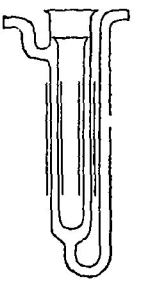
Обезцвѣчивающее дѣйствіе такой жидкости столь сильно, что этотъ процессъ во многихъ мѣстахъ широко употребляется на практикѣ.

Въ будущемъ народится еще много подобныхъ примѣненій электрическаго тока, лишь бы къ этой еще молодой отрасли техники обратились изобрѣтатели, одинаково освѣдомленные какъ въ электричествѣ, такъ и въ химіи.

Въ заключеніе упомянемъ еще объ одномъ совершенно особомъ пріемѣ, примѣняемомъ къ полученію одного химическаго продукта, называемаго озономъ; онъ является весьма полезнымъ для многихъ цѣлей. Какъ извѣстно, озонъ представляетъ собою видоизмѣненіе кислорода, при чемъ, какъ полагаетъ современная химія, видоизмѣненіе это заключается въ томъ, что въ одной молекулѣ озона являются соединенными 3 атома кислорода, тогда какъ въ частицѣ обыкновеннаго кислорода въ соединеніи находятся лишь два такихъ атома. Характерный для озона третій атомъ кислорода оказывается слабо связаннымъ съ остальными двумя и потому легко выдѣляется изъ молекулы; по этой-то причинѣ озонъ и принадлежитъ къ веществамъ, сильно окисляющимъ.

Озонъ образуется при всякомъ электрическомъ разрядѣ—тихомъ или въ видѣ искры, происходящемъ въ воздухѣ или кислородѣ; его образованіе легко можно замѣтить по особенному свойственному ему запаху. Запахъ озона замѣчается всегда при образованіи искръ отъ электрической машины и при работѣ индукціонной катушки. Онъ является особенно сильнымъ при опытахъ Тесла, о которыхъ говорилось на стр. 316 и слѣдующихъ; воздухъ озонируется также и вблизи радія. Сименсъ еще въ 1857 г. построилъ приборъ для полученія озона въ сравнительно большихъ количествахъ, названный имъ озонною трубкою (Ozonröhre). Этотъ приборъ, какъ показываетъ черт. 573, состоитъ изъ двухъ стеклянныхъ трубокъ, помѣщенныхъ одна внутри другой и сверху спаянныхъ вмѣстѣ. Къ внѣшней трубкѣ припаяны два отростка для введенія и выведенія воздуха или кислорода. Трубки эти обложены станіолемъ (внутренняя—изнутри, а внѣшняя—снаружи), такъ что получается конденсаторъ со станіолевыми обкладками и діэлектрикомъ, образуемымъ стеклянными стѣнками и воздушнымъ слоемъ. Если обкладки этого конденсатора

Черт. 573.



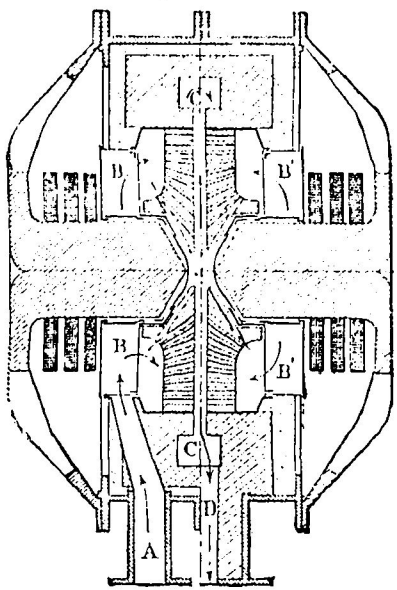
заряжаются быстрыми перемѣнными токами высокаго напряженія, то въ воздушномъ слоѣ образуется озонъ. Замѣчено, что озонъ образуется въ большемъ количествѣ, если проходятъ лишь темные разряды, чѣмъ если дѣйствительно проскакиваютъ искры. Эти озонныя трубки оказались столь хорошо дѣйствующими, что Сименсъ и Гальске и въ настоящее время пользуются для полученія озона подобными трубками. Введено лишь то измѣненіе, что на стеклянныя трубки теперь уже не наклеиваются проводящія обкладки; вмѣсто этого внутренняя трубка наполняется водою, а внѣшняя погружается въ воду, причемъ вода и играетъ роль обладокъ. Въ другихъ случаяхъ, обкладками и діэлектрикомъ служатъ металлическіе стержни, окруженные стекломъ, и металлическія пластинки.

Озонъ примѣняется для стерилизаціи питьевой воды и въ бѣльильномъ дѣлѣ для бѣленія пряжи и сукна. Кромѣ того, озонъ играетъ важную роль въ дѣлѣ полученія различныхъ веществъ въ чистомъ видѣ, а именно крахмалистыхъ веществъ; такимъ образомъ получается посредствомъ озона въ особенно чистомъ видѣ крахмалъ, декстринъ, кристаллическое гумми. Другіе случаи возможнаго примѣненія озона, напримѣръ, для искусственнаго старѣнія дерева, винъ и разныхъ спиртныхъ напитковъ, для уничтоженія филоксеры, или совсѣмъ еще не встрѣчаются на практикѣ, или встрѣчаются въ очень малыхъ размѣрахъ. Озонъ употребляется также въ озонныхъ вентиляторахъ для того, чтобы очищать испорченный воздухъ въ жилыхъ помѣщеніяхъ.

Въ послѣдніе годы электрохимія занялась разрѣшеніемъ задачи чрезвычайной важности, а именно—полученіемъ прямо изъ воздуха растворимыхъ азотистыхъ соединеній. Воздухъ, какъ извѣстно, состоитъ изъ смѣси кислорода и азота. Растворимыя азотистыя соединенія чрезвычайно важны для сельскаго хозяйства, какъ удобреніе; въ природѣ они встрѣчаются только въ Чили и извѣстны подъ названіемъ чилійской селитры. Огромные залежи этой селитры въ Чили начинаютъ истощаться, и потому сельское хозяйство и промышленность нуждаются въ томъ, чтобы найти ей замѣну. Въ воздухѣ озонъ находится въ неограниченномъ количествѣ и потому ничего не стоитъ; вопросъ заключается въ томъ, чтобы получить такія соединеніе азота и кислорода, которыя *можно было бы легко* растворить. Поэтому за исходный продуктъ лучше всего принять полученіе селитры. Для этого пригодна вольтова дуга съ своей высокой температурой. Кислородъ и азотъ при высокой температурѣ вольтовой дуги образуютъ окись азота (NO). Однако, если это соединеніе остается при такой высокой температурѣ, то оно быстро вновь разлагается. Слѣдовательно, необходимо, какъ можно скорѣе, удалить изъ вольтовой дуги получившуюся окись азота, причемъ отчасти она переходитъ въ

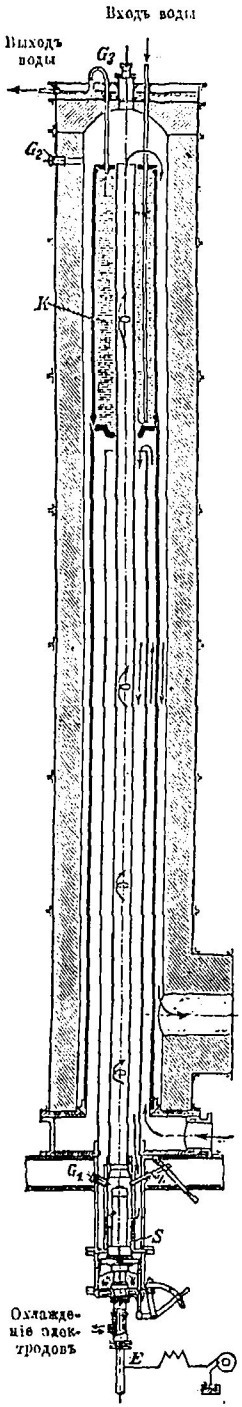
двуокись. Эти соединенія можно уже сравнительно легко превратить въ селитру. Весь этотъ процессъ производится техникой по различнымъ методамъ. Большимъ техническимъ и коммерческимъ успѣхомъ отличается способъ Биркеланда въ Норвегіи. Для полученія продуктовъ по умѣренной цѣнѣ очень важно, чтобы стоимость электрическаго тока была самая незначительная; это всегда имѣетъ мѣсто, когда существуютъ могучія водяныя силы, какъ въ Норвегіи и Италіи, обращенныя на выработку электрической энергіи. Употребляющаяся для описаннаго процесса печь Биркеланда изображена на черт. 574[1]). Вольтова дуга образуется перемѣннымъ токомъ въ 5.000 вольтъ напряженія между двумя, расположенными близко другъ отъ друга, мѣдными электродами (на черт. горизонтальныя заштрихованныя части); сильнымъ магнитомъ, полюса котораго перпендикулярны къ электродамъ, дуга растягивается въ узкій дискъ, діаметромъ отъ 1 до 2 мт. Полюса электромагнита надо себѣ представить перпендикулярными къ плоскости чертежа и находящимися по ту и по другую сторону отъ него. По правилу лѣвой руки вольтова дуга начнетъ распространяться вверхъ и внизъ, вслѣдствіе того, что мы имѣемъ здѣсь вольтову дугу отъ перемѣннаго тока. На чертежѣ вольтова дуга обозначена прерывной штриховкой. Отъ этой солнцеобразной дуги движется воздухъ; одновременно съ тѣмъ, какъ дуга расширяется, онъ выбрасывается изъ нея съ громадной скоростью, достигающей по радіальному направленію 100 мт. въ секунду. Воздухъ вводится въ вольтову дугу съ незначительной скоростью, приблизительно въ 1,5 мт. въ секунду, черезъ отверстіе *A* и распредѣлительные каналы *B*. Преобразуясь отчасти въ азотныя соединенія, онъ выбрасывается изъ нея съ упомянутой выше огромной скоростью и, черезъ собирательный каналъ *C* и отводный *D*, отсасывается наружу. Здѣсь его высокая температура сначала употребляется для нагрѣванія воды, и затѣмъ онъ проходитъ въ камеры и башни для окисленія и превращается извѣстнымъ химическимъ путемъ въ 50-процентную селитру. Однимъ

Черт. 574.



[1]) Чертежъ этотъ заимствованъ изъ электротехническаго журнала Electrot. Zeitschrift 1906 г. съ разрѣшенія издателя Ю. Шпрингера въ Берлинѣ.

Черт. 575.



киловаттъ-часомъ можно получить приблизительно 110 граммовъ селитры, и этого достаточно для того, чтобы при дешевой рабочей силѣ способъ этотъ пріобрѣлъ большое техническое значеніе.

Сознавая громадную важность для сельскаго хозяйства искусственнаго полученія азотистыхъ соединеній, нѣкоторыя германскія большія химическія фабрики, какъ-то: баварская анилиновая фабрика, фабрика красокъ въ Эльберфельдѣ и акціонерное общество анилиноваго производства, сообща основываютъ громадные заводы въ Норвегіи съ цѣлью полученія при помощи вольтовой дуги газообразныхъ азотныхъ соединеній, которыя затѣмъ уже можно перевести въ растворимыя азотныя соединенія. Для этого производства въ Норвегіи они собираются постепенно увеличить используемую двигательную силу до 400,000 лошадиныхъ силъ.

Печь, построенная докторомъ Шёнхерромъ и испробованная для этой цѣли баварской фабрикой анилиноваго производства, выполняетъ задачу быстро удалять изъ вольтовой дуги азотныя соединенія и охлаждать ихъ, но имѣетъ иную, чѣмъ у Биркеланда, конструкцію. Она схематически изображена на черт. 575. Во внутренней желѣзной трубѣ образуется идущая отъ электрода E длинная вольтова дуга. Воздухъ, входящій съ правой стороны, проходитъ сначала вверхъ и внизъ по концентрическимъ трубкамъ въ направленіи, указанномъ стрѣлками; при этомъ онъ нагрѣвается и только тогда уже входитъ въ трубу, въ которой образуется вольтова дуга. Въ этой конструкціи особенно важно то, что воздухъ не проходитъ просто наверхъ вдоль вольтовой дуги, а вертится вихремъ, благодаря особому устройству входного отверстія, вокругъ дуги; при этомъ онъ не позволяетъ вольтовой дугѣ оканчиваться внизу желѣзной трубы, а заставляетъ ее распространяться на высоту 5 или 7 мт. и оканчиваться на верху у охлажденной трубы. Здѣсь употребляется перемѣнный токъ отъ 4000 до

5000 вольтъ. Зажиганіе вольтовой дуги происходитъ при помощи рычага Z, который на время соединяется съ E. Нагрѣтый воздухъ, въ которомъ образовалось уже нѣсколько процентовъ окиси азота, быстро охлаждается холодильникомъ K, внутри котораго течетъ вода, спускается внизъ по внѣшнему кольцу и выходитъ изъ печи. При этомъ охлажденіи образуется, какъ было упомянуто, двуокись азота. Выходя изъ холодильника, воздухъ имѣетъ температуру уже лишь въ 1200°, при выходѣ же изъ выходного канала всего лишь 850°. При такой температурѣ, образовавшіяся азотныя соединенія не претерпѣваютъ уже замѣтнаго разложенія. Превращеніе содержащихъ азотъ газовъ въ селитру, или въ растворимыя азотныя соединенія, происходитъ затѣмъ обычнымъ химическимъ способомъ.

Все вышеизложенное показываетъ, что въ этой, хотя еще молодой, области электрохиміи достигли уже многихъ результатовъ, важныхъ въ коммерческомъ и техническомъ отношеніяхъ. Мысль Вернера Сименса, приведенная въ началѣ этой главы, отчасти уже сбылась, и можно надѣяться, что въ будущемъ всѣ его пророческія слова окажутся справедливыми.

ГЛАВА XII.

Гальванопластика.

Удивительное свойство электрическаго тока при своемъ прохожденіи черезъ жидкіе проводники (электролиты) разлагать ихъ на составныя части, осаждающіяся въ свободномъ состояніи на электродахъ, навело Якоби въ 1837 г. на мысль покрывать предметы металлическимъ слоемъ при помощи электрическаго способа. Этимъ было положено начало искусству гальванопластики—искусству гальваническимъ путемъ осаждать металлы на поверхности различныхъ тѣлъ; начиная съ этого времени, гальванопластика развилась въ особую довольно значительную отрасль промышленности, область которой все расширяется новыми задачами.

Всякій растворъ какой нибудь металлической соли, напр. растворъ мѣднаго купороса, разлагается, какъ мы знаемъ, электрическимъ токомъ (см. стр. 144), при чемъ на отрицательномъ полюсѣ отлагается металлъ, а на положительномъ—остатокъ, содержащій кислоту. Если положительный электродъ сдѣланъ изъ того же металла, какой содержится въ растворенной соли, то на каждый эквивалентъ металла, выдѣлившійся на отрицательномъ электродѣ, растворится по новому эквиваленту съ положительнаго, и жидкость сохранитъ все время свою концентрацію; при этомъ будетъ происходить лишь раствареніе металла на одномъ электродѣ и осажденіе его на другомъ.

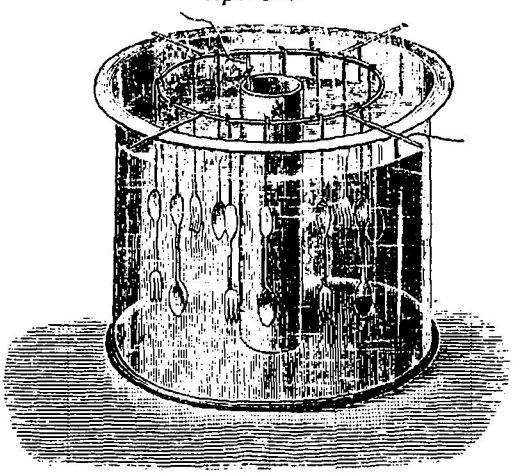
Такимъ образомъ является возможность отрицательный электродъ покрыть слоемъ какого-нибудь металла, т. е., смотря по составу употребляемой соли, покрыть какой-нибудь предметъ слоемъ мѣди, никкеля, золота, олова, платины или стали. Однако не всякая соль даннаго металла одинаково удобна для такого гальванопластическаго осажденія его; практика показала, что для каждаго металла существуетъ особая наиболѣе подходящая соль и нѣкоторая опредѣленная концентрація раствора. Вообще можно сказать, что наилучшій металлическій слой бываетъ тогда, когда онъ получается не какъ прямой результатъ электролиза, а какъ результатъ вторичнаго процесса. Поэтому обыкновенно употребляютъ двойныя соли, изъ

которыхъ желаемый металлъ выдѣляется не прямо токомъ, а вслѣдствіе того, что настоящій катіонъ вытѣсняетъ его изъ раствора чисто химическимъ процессомъ. При этомъ и здѣсь большое вліяніе на качество металлическаго слоя оказываетъ концентрація жидкости, ванны, изъ которой выдѣляется металлъ; подборъ раствора представляетъ спеціальные секреты нѣкоторыхъ заводовъ. Въ дѣлѣ гальванопластики, какъ и при процессахъ электрохимическихъ въ тѣсномъ смыслѣ этого слова, слѣдуетъ пользоваться особою для каждаго случая плотностью тока (стр. 680). Въ случаѣ слишкомъ большой плотности тока металлическій слой оказывается часто грубымъ и хрупкимъ; слишкомъ малая плотность дѣлаетъ его губчатымъ. Слѣдовательно, для правильнаго хода гальванопластическаго процесса, нужно подобрать подходящую силу тока соотвѣтственно съ поверхностью катода.

Гальванопластика разрѣшаетъ двѣ задачи. Одна состоитъ въ томъ, чтобы покрыть какіе-нибудь предметы болѣе или менѣе тонкимъ слоемъ какого-нибудь металла, напр. золота; при чемъ этотъ слой долженъ пристать къ предмету. Эта задача разрѣшается такъ называемою гальваностегіею. Вторая же задача заключается въ томъ, чтобы предметъ, напр. гипсовыя медали, покрыть болѣе толстымъ слоемъ металла и притомъ такъ, чтобы этотъ слой можно было снять и такимъ образомъ получить отпечатокъ первоначальнаго предмета. Это и есть гальванопластика въ собственномъ смыслѣ этого слова. Задачи эти различны по своему содержанію, но разрѣшаются онѣ гальваническимъ путемъ одинаково.

Если какое-нибудь проводящее тѣло, обыкновенно, металлическій предметъ, нужно покрыть гальванопластическимъ слоемъ, который долженъ плотно пристать къ нему, то необходимо прежде всего очистить поверхность металла отъ всякихъ загрязненій или, какъ говорятъ, декапировать его. Для большинства металловъ декапировка производится опусканіемъ предмета въ кислоту, т. е. просто химическимъ путемъ; но для нѣкоторыхъ металловъ приходится прибѣгать къ механическимъ пріемамъ скобленія или чистки щеткою.

Черт. 576.



Затѣмъ покрываемые металлическимъ слоемъ предметы, напр. ложки, ножи, вилки, опускаются вмѣстѣ

въ ванну, напр. серебряную, и соединяются другъ съ другомъ параллельно, напр. привѣшиваются къ металлическому стержню, находящемуся въ соединеніи съ отрицательнымъ полюсомъ источника тока. Подобная ванна изображена на черт. 576. Наверху, посрединѣ высокаго стекляннаго сосуда укрѣплено на четырехъ стержняхъ латунное кольцо. На кольцѣ подвѣшены всѣ предметы, предназначенные къ серебренію; они вмѣстѣ съ латуннымъ кольцомъ соединены съ отрицательнымъ электродомъ батареи. Положительнымъ электродомъ такой ванны служитъ серебряная пластина цилиндрической формы, помѣщенная посрединѣ ванны, чтобы всѣ предметы были посеребрены по возможности равномѣрно.

Предметы, служащіе отрицательнымъ электродомъ, покрываются слоемъ серебра, который ровно облегаетъ всю поверхность этихъ предметовъ и становится тѣмъ толще, чѣмъ дольше проходитъ токъ. Равномѣрность слоя достигается еще тѣмъ, что покрываемые предметы отъ времени до времени поворачиваютъ.

Большія ванны приготовляются въ формѣ ящиковъ; онѣ дѣлаются изъ эмалированнаго чугуна, или изъ обожженной глины, или, въ случаѣ кислыхъ ваннъ, изъ дерева, обложеннаго внутри свинцомъ, или осмоленнаго.

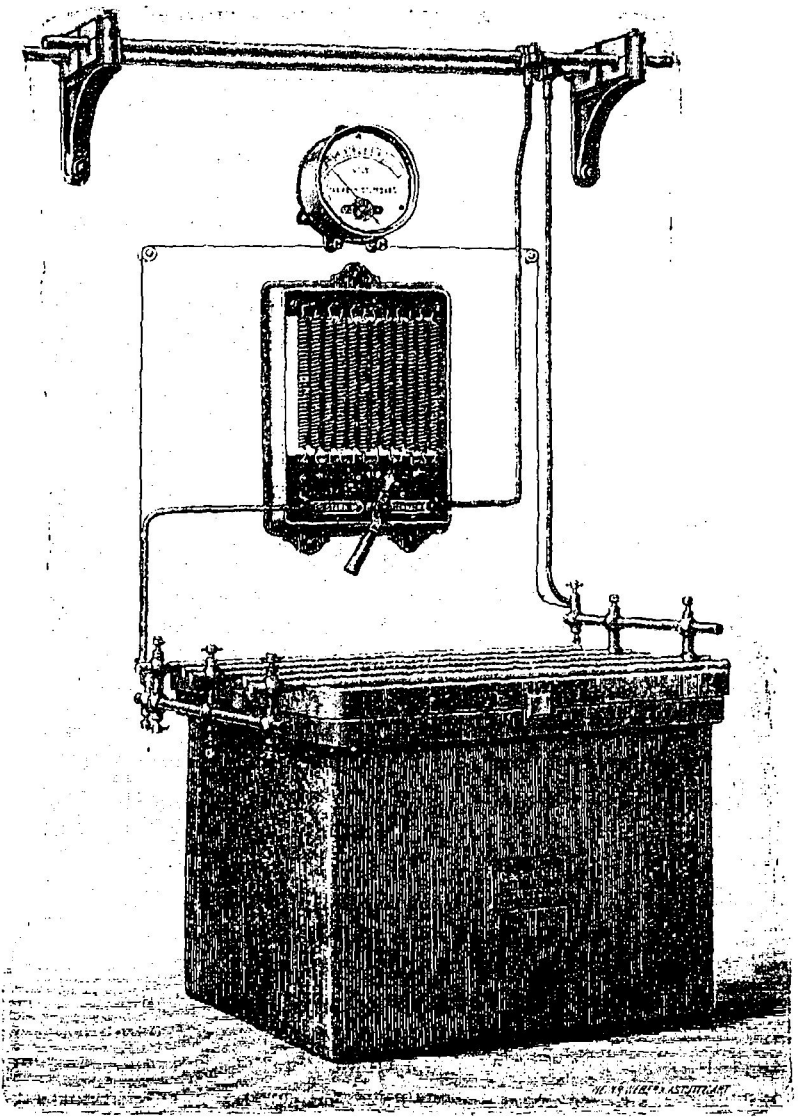
Подобная большая ванна изображена на черт. 577. Она представляетъ собою глиняный сосудъ, на верхнихъ краяхъ котораго уложены пять латунныхъ стержней.

Первый, третій и пятый стержни соединены слѣва между собою и съ положительнымъ полюсомъ батареи, а второй и четвертый, также соединенные (справа) между собою, присоединены къ отрицательному полюсу. На стержни, соединенные съ отрицательнымъ полюсомъ, подвѣшены предметы, которые должны быть покрыты металломъ (напримѣръ, мѣдью), а на другой группѣ стержней подвѣшиваются пластины изъ мѣди, или другого металла, какой надобенъ. Покрываемые предметы находятся между двумя анодными пластинами, и потому они покрываются металломъ со всѣхъ сторонъ равномѣрно. Равномѣрному осажденію помогаютъ и здѣсь поворачиваніемъ предметовъ отъ времени до времени. Далѣе, такъ какъ и въ этомъ дѣлѣ необходимо обращать особенное вниманіе на количественныя измѣренія силы тока и напряженія, чтобы постоянно работать при наивыгоднѣйшихъ условіяхъ, то къ зажимамъ ванны присоединяютъ параллельно вольтметръ и вводятъ регулирующій реостатъ въ главную цѣпь ванны. Наверху чертежа видны два главныхъ провода отъ батареи или динамомашины. Къ нимъ присоединена ванна черезъ регулирующій реостатъ. Вольтметръ даетъ напряженіе у зажимовъ ванны.

Официально извѣстные составы различныхъ ваннъ не всегда тѣ, съ которыми фабрики дѣйствительно работаютъ. Наивыгоднѣйшіе со-

ставы, выработанные постепенно практикою, держатся обыкновенно въ тайнѣ. Однако, мы приведемъ здѣсь нѣкоторые составы ваннъ, съ которыми можно смѣло работать.

Черт. 577.



Для серебренія ванна наполняется растворомъ двойной ціанистой соли серебра и калія; для того, чтобы получить хорошее посеребреніе, надо въ 10 литрахъ воды растворить 120 гр. чистаго ціанистаго кали и прибавить затѣмъ 460 гр. двойной соли ціанисто-сере-

брянаго калія, который также въ ней растворить. Наилучшею плотностью тока при серебреніи является 0,5 амп. на квадратный дециметръ.

Покрываніе мѣдью производится обыкновенно посредствомъ насыщеннаго раствора сѣрнокислой мѣди (мѣднаго купороса) или раствора двойной ціанистой соли калія и мѣди; этотъ послѣдній употребляется при покрываніи мѣдью желѣзныхъ или цинковыхъ предметовъ. Для его приготовленія на 100 литровъ воды берутъ 170 гр. соды, 250 гр. двойного сѣрнокислаго натра, 200 гр. уксуснокислой мѣди (въ кристаллахъ) и 200 гр. ціанистаго кали. Наилучшею плотностью тока оказывается приблизительно 0,4 амп. на кв. децим. Въ ваннѣ же изъ мѣднаго купороса она можетъ быть увеличена даже до 3 амп. на кв. децим.

Для золоченія лучше всего пользоваться двойной ціанистой солью золота и калія. Рекомендуется для золотой ванны слѣдующій составъ: на 10 литр. воды 10 гр. ціанистаго калія, 500 гр. фосфорнокислаго натрія, 15 граммовъ сѣрнокислаго натрія и 15 гр. хлористаго золота. Температура ванны должна быть около 50° и плотность тока въ 0,2 ампера на кв. децим. Особые виды золоченія представляютъ собою такъ называемыя зеленое и красное золоченія, при которыхъ золотой слой состоитъ не изъ чистаго золота, но смѣшаннаго соотвѣтственно съ серебромъ или съ мѣдью. Весьма трудно подобрать составъ ванны, который давалъ бы желаемый оттѣнокъ зеленаго или краснаго золота. Поэтому устраиваютъ такъ, чтобы токъ самъ собою приготовлялъ подходящій растворъ. Въ обыкновенную золотую ванну (бураго цвѣта), въ которую подвѣшены покрываемые металлическіе предметы, служащіе отрицательнымъ электродомъ, погружаютъ въ видѣ положительнаго электрода чистую серебряную пластинку. Эта послѣдняя мало-по-малу растворяется токомъ, вслѣдствіе этого постепенно измѣняется составъ ванны и осадокъ на отрицательномъ электродѣ принимаетъ все болѣе зеленый оттѣнокъ. Какъ только достигается желаемый оттѣнокъ, токъ прерываютъ и подвѣшиваютъ на мѣсто положительнаго электрода пластину изъ зеленаго золота содержащаго серебро, съ которою и производятъ весь процессъ до конца. Подобнымъ же образомъ поступаютъ и при красномъ золоченіи, пользуясь мѣдною пластиною вмѣсто серебряной.

Для никкелированія ванна наполняется растворомъ двойной сѣрнокислой соли никкеля и аммонія, 70 гр. на литръ; кромѣ того, прибавляютъ 25 гр. сѣрнокислаго аммонія и 5 гр. лимонной кислоты. Плотность тока должна быть 0,5—0,7 амп. на квадр. дециметръ. Никкелированіе особенно важно для желѣзныхъ предметовъ, такъ какъ оно предупреждаетъ появленіе ржавчины. Въ настоящее время нерѣдко никкелируютъ и латунные предметы. Для того, чтобы слой никкеля

плотно прилегалъ, безусловно необходима совершенная чистота покрываемой поверхности. При никкелированіи, вслѣдствіе сильной поляризаціи, необходимо гораздо большее напряженіе у ванны, чѣмъ при покрытіи другими металлами, а именно у каждой ванны должно быть напряженіе около 4 вольтъ.

При покрытіи сталью употребляютъ ванну, для которой на литръ воды берутъ 150 гр. желѣзнаго купороса и 125 гр. сѣрнокислаго магнія. Въ жидкость погружается мѣшечекъ, содержащій магнезію (magnesia alba). Плотность тока равна 0,01 ампера на квадр. децим. Для покрытія сталью типографскихъ клише, о которыхъ мы будемъ говорить ниже, берутъ ванну изъ средняго хлористаго желѣза (на 1 литръ воды 100 гр. хлористаго желѣза и 100 гр. хлористаго аммонія).

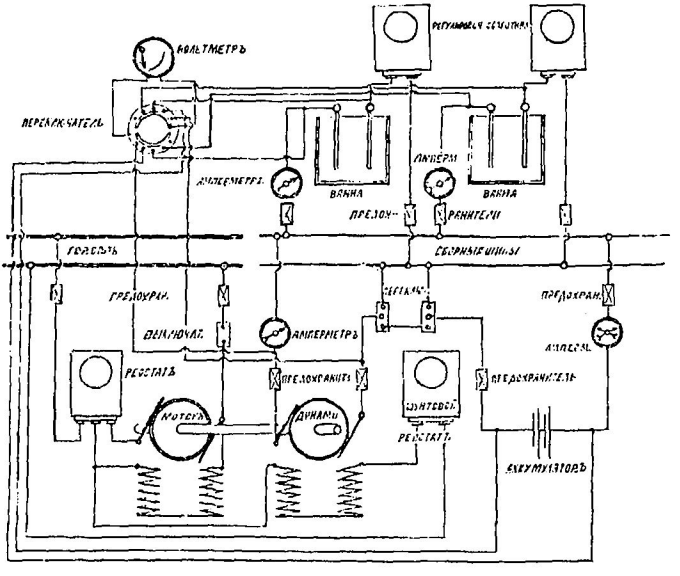
Прежде для гальванопластическихъ работъ пользовались гальваническими элементами, которыхъ требовалось на большой фабрикѣ огромное число; но съ появленіемъ динамомашинъ также и въ этой области электротехники наступилъ переворотъ. Конечно, всякою динамомашиною постояннаго тока можно воспользоваться для гальванопластическихъ работъ. Въ гальванопластическихъ ваннахъ всегда такъ много жидкости, что ихъ сопротивленіе совершенно ничтожно; поэтому, хотя онѣ и требуютъ очень сильнаго тока, но электродвижущая сила не должна быть велика. Вслѣдствіе этого для гальванопластическихъ работъ строятъ машины съ очень малымъ внутреннимъ сопротивленіемъ, а именно динамоэлектрическія машины съ шунтовымъ возбужденіемъ. Для гальванопластики весьма важно, чтобы полюсъ, соединенный съ покрываемыми предметами, всегда оставался отрицательнымъ, чтобы, слѣдовательно, электромагниты динамомашины не могли измѣнить своей полярности во время работы, такъ какъ въ противномъ случаѣ съ никкелируемыхъ, напр., предметовъ слой никкеля сталъ бы сходить. Между тѣмъ такое обращеніе полюсовъ легко можетъ произойти въ машинѣ съ возбужденіемъ въ главной цѣпи, если якорь машины, магниты и ванна включены послѣдовательно; вѣдь при электролизѣ всегда происходитъ поляризація и даже появляется поляризаціонный токъ, имѣющій направленіе противное току машины (см. стр. 162). Если во время дѣйствія скорость машины вдругъ уменьшится, вслѣдствіе, напр., какой-нибудь кратковременной неправильности хода мотора, электродвижущая сила поляризаціи немедленно возьметъ перевѣсъ, черезъ машину пройдетъ токъ обратнаго направленія, и ея электромагниты перемагнитятся. Когда машина снова получитъ нормальную скорость, полюса электромагнитовъ останутся обращенными, такъ какъ динамомашина лишь усиливаетъ магнитизмъ, существующій въ ея желѣзныхъ частяхъ, слѣдовательно токъ отъ нея пойдетъ по направленію противоположному тому, которое было раньше; полюсъ,

бывшій отрицательнымъ, станетъ положительнымъ. Металлическіе слои, осадившіеся на предметахъ, снова растворятся.

Подобная опасность весьма просто предотвращается примѣненіемъ такихъ машинъ, въ которыхъ электромагниты включены въ отвѣтвленіи; это было уже разъяснено на стр. 496, когда мы говорили, что для заряженія аккумуляторовъ по тѣмъ же причинамъ предпочитаются машины съ отвѣтвленіемъ.

Если гальванопластическую установку дѣлаютъ въ мѣстахъ, въ которыхъ имѣются большія центральныя станціи, то приходится считаться со слѣдующей трудностью. Напряженіе тока центральной станціи очень высокое, отъ 100 до 200 вольтъ, тогда какъ для цѣлей гальванопластики достаточно 3—6 вольтъ. Въ этихъ случаяхъ выгоднѣе пустить токъ въ моторъ, а моторомъ уже привести въ движеніе подходящую динамомашину, которая могла бы давать сильный токъ при маломъ напряженіи. Значитъ, въ этомъ случаѣ долженъ быть при-

Черт. 578.



мѣненъ комплектъ (наборъ) машинъ, трансформирующихъ прямой токъ съ высокаго напряженія на низкое (см. стр. 516). Обыкновенно при этомъ параллельно машинѣ устанавливаютъ батарею аккумуляторовъ, которая позволила бы порою пользоваться токомъ, не приводя въ движеніе мотора. Черт. 578 изображаетъ схему подобной часто употребляющейся установки, гдѣ двѣ параллельно соединенныя гальванопластическія ванны получаютъ токъ не прямо отъ городской сѣти. Схема эта кажется на первый взглядъ сложной, но понять ее не трудно. Токъ отъ городской станціи идетъ по двумъ проводамъ, обозначен-

нымъ слѣва (гор. сѣть). Отъ одного изъ проводовъ токъ идетъ въ моторъ черезъ предохранитель и пусковой реостатъ. Моторъ выбранъ шунтовой. Правая его щетка присоединена къ второму проводу сѣти черезъ выключатель и предохранитель. Моторъ начинаетъ вращаться и ведетъ шунтовую динамо, которая насаживается или прямо на ось мотора, или присоединяется къ нему ременной передачей. Шунтъ машины (магниты) питается прямо отъ городской сѣти черезъ регулирующій реостатъ. Отъ щетокъ машины, токъ черезъ предохранители и амперметръ идетъ на сборныя шины (справа). Особый переключатель позволяетъ направить токъ сначала въ аккумуляторы, а потомъ на шины; на шины также можно пустить токъ прямо отъ аккумуляторовъ. Къ сборнымъ шинамъ, имѣющимъ, какъ сказано, небольшое напряженіе, приключены параллельно обѣ ванны, при чемъ въ каждой токъ можетъ быть регулируемъ при помощи особаго реостата. Черезъ особые провода, которые ведутъ къ переключателю и къ вольтметру (слѣва), пользуясь переключателемъ, можно по желанію измѣрять напряженіе у динамомашины, аккумуляторовъ и у любой изъ ваннъ.

Пользуясь современными сильными токами, можно быстро покрыть предметы сколь угодно толстымъ слоемъ какого-нибудь металла. При извѣстномъ стараніи такой слой можетъ быть сдѣланъ настолько равномѣрнымъ, что передастъ съ точностью всѣ изгибы контура. Было уже замѣчено, что, если требуется, какъ напримѣръ, при золоченіи, серебреніи, никкелировкѣ, чтобы слой крѣпко пристадъ къ предметамъ, необходимо, чтобы ихъ поверхность была тщательно очищена, необходимо декапированіе. Малѣйшіе слѣды жира, оставшіеся на поверхности покрываемаго предмета, не позволяютъ гальванически отложенному слою держаться крѣпко; онъ легко сходитъ. Это наблюдается при никкелированіи. Хорошо приставшій слой можно получить лишь на абсолютно чистой поверхности. Предметы, которые желаютъ покрыть металломъ гальваническимъ путемъ, должны представлять собой тѣло проводящее, такъ какъ они служатъ въ жидкости отрицательнымъ электродомъ. Поэтому самымъ простымъ является гальваническое покрытіе металловъ. Но можно покрывать гальванопластическимъ способомъ и непроводники, если ихъ поверхность сдѣлать проводящею или, какъ говорятъ техники, металлизировать. Простѣйшимъ и наиболѣе употребительнымъ пріемомъ для этого является протираніе предмета весьма тонкою графитовой пылью. Графитъ проводитъ электричество; измельченный въ тонкую пыль, онъ легко пристаетъ къ поверхности, въ особенности, если она не совсѣмъ ровная и гладкая. Такимъ образомъ, простымъ натираніемъ графитовою пылью можно сдѣлать поверхность гипсовыхъ медалей или фигуръ, а также деревянныхъ, алебастровыхъ и мраморныхъ вещей, проводящими. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ графитъ не пристаетъ, какъ, напр., въ случаѣ стекла, фар-

фора, слоновой кости и т. под.; тогда нужно предметъ покрыть предварительно тонкимъ слоемъ лака, и когда этотъ послѣдній почти что высохнетъ, натереть графитовою пылью. Если нужно, чтобы гальванопластическій слой впослѣдствіи могъ быть легко удаленъ, то щетку, посредствомъ которой натираютъ графитомъ, слегка пропитываютъ саломъ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, а именно, когда имѣютъ дѣло съ нѣжными предметами, цвѣтами, плодами и т. д., металлизированіе графитомъ непримѣнимо. Такіе предметы покрываются весьма тонкимъ проводящимъ слоемъ чисто химическимъ путемъ. Для этого нужно лишь смочить предметъ растворомъ азотнокислаго серебра, а затѣмъ возстановить металлическое серебро, которое отлагается на предметѣ тонкимъ слоемъ. Азотнокислое серебро легко растворяется въ водѣ, но весьма мало въ тепломъ алкоголѣ; такимъ растворомъ (напр. въ алкоголѣ) смачиваютъ предметъ (цвѣты и плоды); затѣмъ подвергаютъ его дѣйствію солнечнаго свѣта, при чемъ серебро выдѣляется на поверхности тѣла изъ раствора въ видѣ весьма тонкаго чернаго порошка и дѣлаетъ эту поверхность достаточно проводящею, чтобы можно было приступить къ гальванопластическому покрытію.

Такимъ образомъ возможно покрыть металлическимъ слоемъ какое угодно тѣло. Если этотъ слой хотятъ впослѣдствіи легко снять, т. е. получить отпечатокъ предмета, то надо слѣдить за тѣмъ, чтобы слой этотъ съ самаго начала не пристадъ очень плотно. Для этого необходимо, прежде чѣмъ опустить предметъ въ гальванопластическую ванну, покрыть его поверхность слоемъ жира. Чаще всего и удобнѣе всего отпечатки эти дѣлаютъ изъ мѣди. Проводящій или металлизированный предметъ покрывается слегка жиромъ и опускается въ видѣ отрицательнаго электрода въ растворъ сѣрнокислой мѣди, и когда слой достигаетъ извѣстной толщины, его снять совсѣмъ легко. Такимъ образомъ приготовляются мѣдные отпечатки съ произведеній искусства, гипсовыхъ фигуръ, медалей, монетъ. Можно получить мѣдные отпечатки даже съ фотографіи. Для этого дагерротипъ обливается весьма слабымъ растворомъ ціанистаго калія, промывается и затѣмъ подвѣшивается въ ванну. Если пропускать слабый токъ въ теченіе 5—8 часовъ, то на пластинкѣ отложится слой мѣди, который затѣмъ легко снимается ножикомъ; онъ передаетъ фотографію съ тончайшими деталями.

Гальванопластическое формованіе употребляется въ настоящее время почти исключительно для воспроизведенія гравировки на стали и рѣзьбы на деревѣ. Съ деревянной рѣзьбы нельзя сдѣлать очень много отпечатковъ, не испортивъ ея. Поэтому съ такой рѣзьбы, металлизированной графитомъ, дѣлаютъ сколько угодно гальваническихъ слѣпковъ, такъ называемыхъ клише или гальвано, съ каждаго изъ ко-

торыхъ производятъ столько отпечатковъ, сколько онъ можетъ выдержать. При этомъ употребляется токъ плотностью въ 1 амп. на кв. децим. Пріемъ этотъ примѣняется нерѣдко при печатаніи съ набора; со сверстаннаго набора дѣлаютъ гальваническое клише, которымъ уже и пользуются, пока оно даетъ рѣзкіе отпечатки. Чтобы можно было воспроизвести въ любомъ числѣ экземпляровъ мѣдныя клише, которыя послѣ многихъ оттисковъ становятся совсѣмъ негодными, дѣлаютъ съ нихъ гальванопластическіе слѣпки, называемые матрицами (въ которыхъ рисунокъ выпуклый); съ этихъ послѣднихъ можно уже приготовить любое число клише. Часто дѣлаютъ оригинальное клише болѣе прочнымъ, покрывая его гальванопластически желѣзомъ или еще лучше никкелемъ. При покрываніи сталью употребляются ванны съ хлористымъ желѣзомъ, при никкелированіи же ванны съ сѣрнокислымъ никкелемъ. Клише, покрытое желѣзомъ или никкелемъ, переноситъ огромное число оттисковъ; съ клише, покрытаго сталью, можно получить до 15.000 прекрасныхъ отпечатковъ, а съ никкелированныхъ даже 40.000 отпечатковъ.

Въ то время, какъ на отрицательномъ электродѣ осаждается изъ раствора металлъ, съ положительнаго онъ растворяется. Техника пользуется и этимъ растворѐніемъ съ положительнаго электрода, а именно такимъ путемъ производится гравировка на металлѣ. Дѣйствительно, если нѣкоторыя части положительнаго электрода покрыть изолирующимъ веществомъ, напр., лакомъ или воскомъ, то съ этихъ частей при прохожденіи тока металлъ не будетъ растворяться. Съ остальныхъ же, непокрытыхъ его частей металлъ будетъ растворяться, и онѣ будутъ углубляться, тогда какъ покрытыя части сохранятъ свою толщину. Можно, напримѣръ, всю поверхность положительнаго электрода покрыть воскомъ и выцарапать на ней какой-нибудь рисунокъ такъ, чтобы въ этихъ мѣстахъ металлъ былъ свободенъ; тогда при прохожденіи тока этотъ рисунокъ углубится въ металлѣ. Можно также весь рисунокъ покрыть воскомъ, а остальную поверхность электрода оставить свободной; тогда по прохожденіи тока рисунокъ станетъ выпуклымъ. Углубленныя части, подвергнувъ ихъ декапированію, можно затѣмъ заполнить гальваническимъ путемъ какимъ-нибудь другимъ металломъ, напр., золотомъ, серебромъ, мѣдью и т. под.; такимъ образомъ получается металлическая инкрустація. Этимъ способомъ приготовляются нерѣдко художественные предметы, а также подражанія антикварнымъ рѣдкостямъ, въ чемъ электричество также нашло уже себѣ примѣненіе.

ГЛАВА XIII.

Телеграфія.

Два обстоятельства давно уже заставили считать электричество удобнымъ для передачи извѣстій на далекія разстоянія. Первое — это огромная скорость, съ какою электрическій токъ распространяется по проводнику; эта скорость равна скорости свѣта, и, слѣдовательно, тѣ разстоянія, которыя мы имѣемъ на землѣ, пробѣгаются электричествомъ почти мгновенно. Къ этому обстоятельству прибавляется еще другое, а именно, что электричество не сходитъ съ проводника, его путь можетъ быть заранѣе точно опредѣляемъ. Электричество проходитъ по проводнику, и такъ какъ воздухъ прекрасный изоляторъ, то возможно пустить токъ на любое разстояніе и въ любомъ направленіи по проволокѣ, протянутой въ воздухѣ. Это представляетъ собою большое преимущество электрическаго тока въ сравненіи со свѣтомъ, который относительно скорости распространенія можетъ соперничать съ электричествомъ. Свѣтъ распространяется отъ источника во всѣ стороны; ему не можетъ быть напередъ предписанъ опредѣленный путь. Электричество оказываетъ столь различныя дѣйствія, можетъ быть столь различнымъ образомъ преобразовано, что легко удается изъ даннаго пункта въ отдаленныхъ мѣстахъ произвести посредствомъ электричества извѣстныя явленія, которыя и могутъ служить условными знаками.

Сначала, однако, всѣ старанія выполнить телеграфическую передачу извѣстій оканчивались неудачей; причиной этого была непрактичная мысль протянуть особую проволоку для каждой буквы, которую хотѣли телеграфировать. Наполеонъ I, когда ему представили проектъ подобнаго телеграфа, назвалъ его въ шутку «idée germanique». Лишь послѣ того, какъ было понято, что всѣ буквы можно легко изображать при помощи комбинаціи двухъ значковъ, телеграфія могла отвѣчать въ основныхъ своихъ чертахъ практическимъ требованіямъ.

Когда развивалось телеграфное дѣло, были испробованы въ примѣненіи къ нему различныя дѣйствія электрическаго тока. Но всѣ эти различныя системы въ сущности сводились къ приборамъ, основан-

нымъ на электромагнитномъ дѣйствіи, притяженіи электромагнитомъ своего якоря. Съ одной стороны, это дѣйствіе было примѣнено къ пишущимъ аппаратамъ, которые передаютъ при телеграфированіи не исчезающіе знаки, но остающіеся навсегда; при этихъ аппаратахъ однако необходима особая азбука, которую нужно изучить и къ которой нужно привыкнуть; поэтому для того, чтобы умѣть передать и читать депеши, необходимо пройти особую школу. Съ другой стороны, то же дѣйствіе было использовано въ печатающемъ аппаратѣ, который передаетъ слова депеши прямо обыкновеннымъ печатнымъ шрифтомъ; его знаки, слѣдовательно, не только остающіеся, но и легко разбираемые.

Эти два рода телеграфныхъ аппаратовъ обыкновенно употребляются во всѣхъ культурныхъ странахъ для цѣлей телеграфіи. Помимо этого для особыхъ цѣлей — именно, съ одной стороны, въ кабельной телеграфіи, съ другой — въ такъ называемой быстродѣйствующей пользуются еще и другими свойствами электрическаго тока.

При всякой телеграфной установкѣ, соединяющей двѣ станціи, на каждой изъ станцій должны быть: во-первыхъ, аппаратъ, посылающій депеши, подающій знаки; затѣмъ аппаратъ, принимающій депеши, которыя приходятъ съ другой станціи. Наконецъ, необходима проволока, протянутая между обѣими станціями, представляющая линію соотвѣтственнымъ образомъ устроенную. Кромѣ того, на каждой станціи необходимы еще приборы, дающіе знать о томъ, что имѣетъ быть дана депеша, электрическіе звонки или какіе-нибудь другіе сигнальные приборы, гальванометръ, показывающій, что токъ въ линіи имѣетъ должную силу, и, наконецъ, громоотводное приспособленіе, охраняющее приборы отъ поврежденія грозовымъ разрядомъ.

Послѣ многихъ, болѣе или менѣе непрактичныхъ проектовъ два нѣмецкихъ профессора Гауссъ и Веберъ въ Геттингенѣ (въ 1833 г.) устроили между собою телеграфное сообщеніе. Это представляетъ собою одно изъ многихъ доказательствъ того, что и профессора, хотя ихъ часто осмѣиваютъ, какъ непрактичныхъ людей, могутъ изобрѣсти совершенно практическій пріемъ. Они соединили магнитную обсерваторію съ физическимъ кабинетомъ двумя проволоками, имѣвшими объ вмѣстѣ длину около 3.000 метр., и сообщались другъ съ другомъ электромагнитнымъ способомъ, причемъ одинъ изъ нихъ вынималъ или вкладывалъ магнитный стержень въ катушку, включенную въ линію. Вслѣдствіе этого каждый разъ возникали краткіе индукціонные токи то по одному, то по другому направленію, и вызывали на пріемной станціи отклоненія магнита, подвѣшеннаго внутри катушки, происходящія, смотря по направленію тока, въ ту или другую сторону. Соотвѣтственно комбинируя отклоненія вправо и влѣво, они могли установить любое число знаковъ. Увлеченный примѣромъ Гаусса, Штейн-

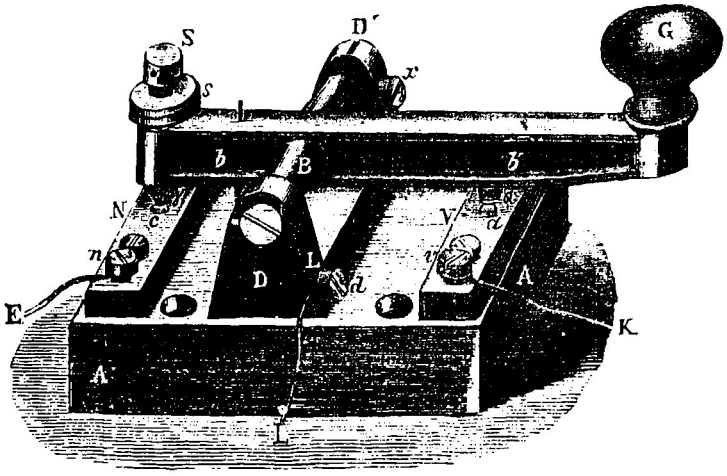
гейль въ Мюнхенѣ усовершенствовалъ этотъ электромагнитный телеграфъ со стрѣлкой, значительно упростивъ то, что нужно было дѣлать при подачѣ знаковъ. Во время своихъ опытовъ на линіи между Нюрнбергомъ и Фюртомъ Штейнгейль сдѣлалъ случайное наблюденіе, что вовсе нѣтъ необходимости проводить между двумя станціями двѣ проволоки, одну для тока въ одну сторону, другую для возвращающагося тока; что обратнымъ проводомъ можетъ служить сама земля. Для такого пользованія землею нужно лишь на каждой станціи закончить проводъ металлическою пластинкою и закопать эту послѣднюю въ землю; тогда токъ и потечетъ между станціями черезъ землю, которая, вѣдь, тоже проводитъ электричество. Нуженъ, слѣдовательно, лишь одинъ проводъ между станціями. Представленіе Штейнгейля о проводимости земли, будто бы дѣйствительно проводящей токъ, конечно, невѣрно. Земля представляетъ собою скорѣе всего резервуаръ, въ который стекаетъ все электричество. Но фактъ, открытый Штейнгейлемъ, отъ этого не измѣняется, и ему телеграфія обязана тѣмъ, что столь скоро стала вообще употребительнымъ средствомъ общенія, такъ какъ ненужность цѣлой половины проволочной линіи, конечно, значительно понизила стоимость установки.

Изъ всѣхъ многочисленныхъ системъ телеграфныхъ аппаратовъ въ настоящее время употребляются почти исключительно пишущій аппаратъ Морзе и печатающій Юза; этими-то приборами мы преимущественно и займемся.

Въ системѣ Морзе знаки подаются болѣе короткимъ или болѣе продолжительнымъ замыканіемъ тока, протекающаго между станціями, соединенными линіею. Этотъ токъ возбуждаетъ электромагнитъ, помѣщенный на пріемной станціи, который и притягиваетъ свой якорь. Къ якорю прикрѣпленъ штифтъ, выдавливающій или отпечатывающій знаки на бумажной лентѣ, двигающейся передъ нимъ. Такимъ образомъ на станціи отправленія необходима лишь гальваническая батарея, токъ отъ которой могъ бы быть посылаемъ на станцію назначенія, въ обмотки ея электромагнитовъ, и приборъ, позволяющій по желанію замыкать или размыкать цѣпь этой батареи. Подобный приборъ устраивается, конечно, очень просто. Онъ называется ключемъ Морзе; черт. 579 даетъ его изображеніе. Металлическій рычагъ bb' можетъ вращаться вокругъ оси B; посредствомъ кнопки G его можно прижать книзу или отпустить. Если онъ отпущенъ, какъ изображено на чертежѣ, то своимъ кончикомъ γ онъ нажимаетъ на металлическій выступъ c, укрѣпленный на металлической полоскѣ N; другой его конецъ α изолированъ въ воздухѣ. Когда же ключъ прижатъ книзу — то штифтъ α нажимаетъ на выступъ a, тоже укрѣпленный на металлической полоскѣ V, γ же не соприкасается съ c. Конецъ проволоки L, протянутой между обѣими станціями, зажимается на оси при d, тогда

какъ передняя полоса V соединяется въ r съ однимъ изъ полюсовъ батареи, другой полюсъ которой соединенъ съ землей. (Задняя пластинка N соединяется при n черезъ аппаратъ, установленный на той же станціи, съ землею E; объ этомъ мы будемъ говорить впослѣдствіи).

Черт. 579.

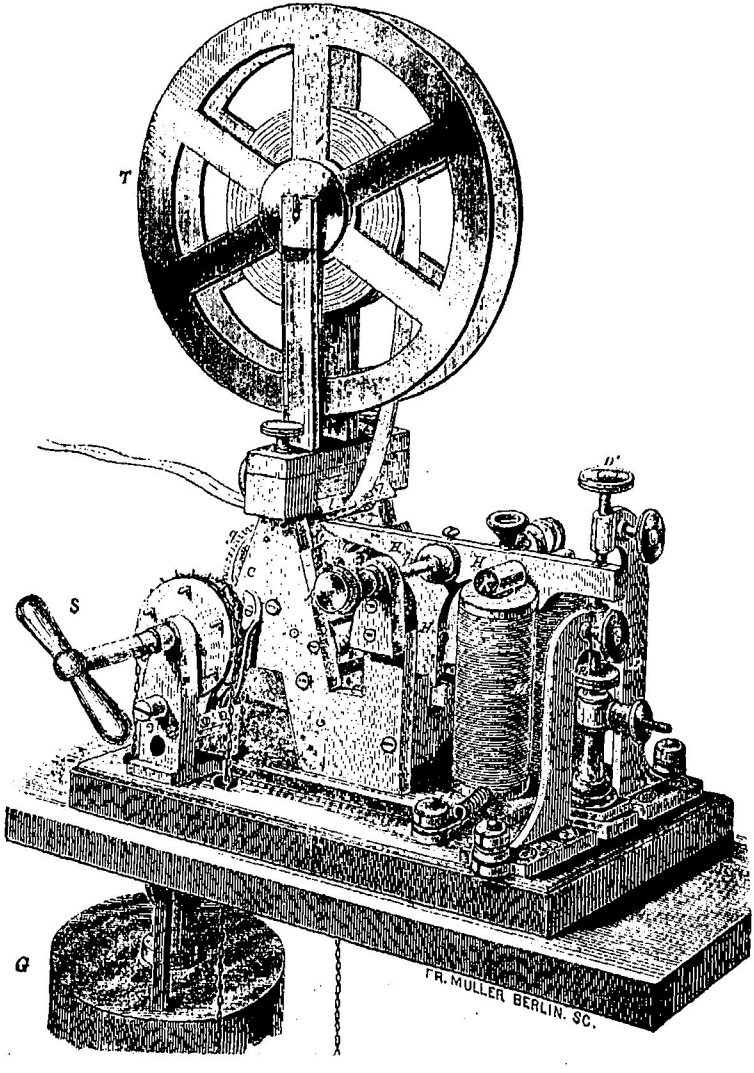


Если на станціи отправленія ключъ находится въ изображенномъ положеніи, то никакого тока не проходитъ, такъ какъ цѣпь разомкнута въ z. Если же нажать ключъ книзу, то токъ батареи съ полюса K потечетъ черезъ v, a, z, b', B, d, въ линію L, по которой и достигнетъ второй станціи. Здѣсь находится второй совершенно такой же ключъ, такъ какъ обѣ станціи снабжены одинаковыми приборами, и токъ вступаетъ въ d этого ключа, который при этомъ не нажатъ, но находится въ положеніи, изображенномъ на чертежѣ. Вслѣдствіе этого отъ d токъ черезъ B, b, γ, c, n направляется къ пріемному аппарату и отъ него—въ землю.

Такимъ образомъ является возможность простымъ нажатіемъ и отпусканіемъ ключа размыкать или посылать токъ съ одной станціи на другую, и этотъ токъ можетъ на пріемной станціи производить желаемыя электромагнитныя дѣйствія. Если эти дѣйствія должны заключаться въ томъ, чтобы токомъ возбуждался электромагнитъ, какъ это имѣетъ мѣсто въ системѣ Морзе, то нужно лишь въ проводъ, идущій на станцію назначенія отъ n въ землю, включить обмотки этого электромагнита. Дѣйствительно, если ключъ G, изображенный на черт. 579, нажать на первой станціи, т. е. отправить депешу съ этой станціи, то токъ направится по проводу L къ ключу второй станціи и тамъ уже черезъ d, B, b, γ, c, n и по обмоткѣ электромагнита уйдетъ въ землю. Такимъ образомъ, благодаря этому соединенію, съ одной станціи возбуждается электромагнитъ на другой,

тогда какъ электромагнитъ первой, включенный тоже между n и землею, оказывается лишеннымъ тока именно потому, что ключъ этой станціи нажатъ. Подобнымъ же образомъ можно, нажимая на ключъ второй станціи, возбудить электромагнитъ первой, не пропуская тока черезъ электромагнитъ этой второй станціи.

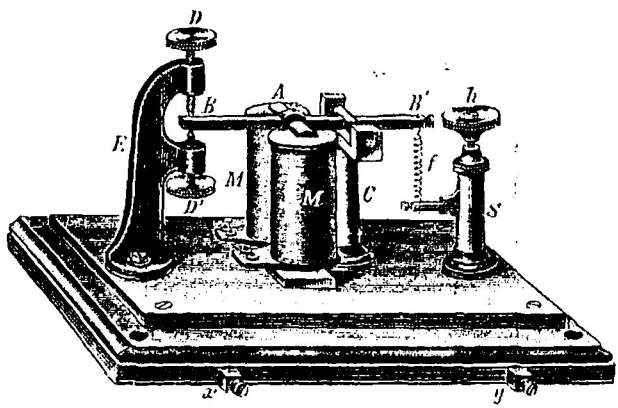
Черт. 580.



На пріемной станціи эти отдѣльные токи, возбуждающіе электромагнитъ, должны подавать знаки. Для этого и служитъ аппаратъ Морзе. На черт. 580 изображенъ аппаратъ Морзе нѣсколько устарѣвшей конструкціи, но зато легко поддающейся объясненію. Токъ идетъ по обмоткѣ электромагнита MM. Надъ полюсами этого послѣд-

него находится якорь K съ пишущимъ рычагомъ HH, снабженнымъ штифтикомъ на концѣ L. При каждомъ опусканіи якоря этотъ штифтикъ поднимается и, нажимая на бумажную ленту, проходящую передъ нимъ, дѣлаетъ на ней знакъ. Если токъ продолжается очень короткое время, магнитъ возбуждается на мгновеніе, и якорь притягивается лишь на весьма короткій промежутокъ времени; въ этомъ случаѣ штифтъ выдавливаетъ на бумажной лентѣ одну точку. Если токъ продолжается болѣе долго, то предъ приподнятымъ штифтомъ успѣваетъ пройти болѣе длинный отрѣзокъ ленты, и на ней появляется черточка. Изъ этихъ точекъ и черточекъ и составляется вся азбука Морзе. Чтобы якорь не могъ быть прижатъ къ электромагниту до соприкасанія, имѣются еще части D и D', ограничивающія движеніе рычага. Таковы простыя приспособленія, позволяющія получить знаки на пишущемъ аппаратѣ Морзе. Бумажная лента навертывается на особую катушку T, затѣмъ пропускается между латунными стерженьками $l\ l$ и между двумя валиками, установленными одинъ надъ другимъ. Верхній валикъ приводится въ равномѣрное вращеніе часовымъ механизмомъ, а за нимъ увлекаются треніемъ лента и нижній валикъ. Двигателемъ служитъ грузъ G, который виситъ на цѣпи, перекинутой черезъ блокъ, и приводитъ въ движеніе верхній валикъ черезъ посредство нѣсколькихъ зубчатыхъ колесъ. Заводной ключъ S служитъ для того, чтобы поднимать грузъ, когда онъ слишкомъ опустится. Аппаратъ Морзе въ высшей степени простъ по своей идеѣ и своему дѣйствію; въ своей первоначальной формѣ онъ имѣетъ видъ сложнаго прибора лишь благодаря присутствію часового механизма.

Черт. 581.



Если на обѣихъ станціяхъ имѣются ключъ, батарея, пишущій аппаратъ, то этого и достаточно, чтобы онѣ могли сообщаться телеграфически, если только на обѣихъ извѣстна морзова азбука. Но вскорѣ обнаружилось слѣдующее затрудненіе. Электромагниты пишу-

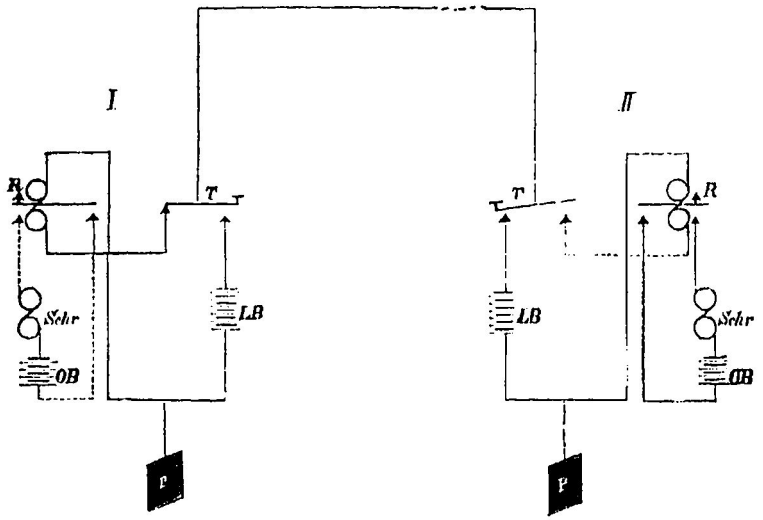
щаго прибора требуютъ довольно сильный токъ, чтобы быть въ состояніи притянуть якорь съ тою силою, какая необходима для явственнаго начертанія пишущимъ рычагомъ знаковъ на бумажной лентѣ. Но если разстояніе между станціями значительно, сопротивленіе линіи оказывается настолько большимъ, что является необходимою огромная батарея для достаточнаго возбужденія электромагнита пріемной станціи.

Уитстонъ первый предложилъ способъ устранить это затрудненіе. Токъ, поступающій съ линіи, не назначается непосредственно для возбужденія электромагнита аппарата Морзе, но долженъ лишь возбуждать особый электромагнитъ, находящійся тоже на пріемной станціи, якорь котораго долженъ исполнить весьма малое движеніе и этимъ уже замкнуть другую цѣпь; токъ этой-то послѣдней и приведетъ аппаратъ Морзе въ дѣйствіе. Такой приборъ называется *релэ*; онъ изображенъ на черт. 581. Онъ состоитъ изъ электромагнита M, имѣющаго обмотку въ видѣ огромнаго числа отъ 7000 до 10000 оборотовъ тонкой проволоки; этотъ электромагнитъ возбуждается токомъ (приходящимъ на станцію отправленія), даже если этотъ токъ очень слабъ, и слегка притягиваетъ якорь A. Якорь A прикрѣпленъ къ длинному рычагу BB', ось котораго закрѣплена въ стойкѣ C. Этому послѣднему нужно лишь весьма малое движеніе, чтобы нажать концомъ B на острый кончикъ винта D', который дѣлается токопроводящимъ, тогда какъ верхнее остріе D изолировано слоновой костью, и тѣмъ замкнуть особую цѣпь. На пріемной станціи къ зажиму x подводится токъ особой батареи; далѣе токъ проходитъ по колонкѣ E, черезъ остріе D', если B прикасается къ D', затѣмъ черезъ BB', колонку S къ зажиму y и отсюда къ аппарату Морзе и снова въ батарею. Такимъ образомъ токъ съ отдаленной станціи вовсе не долженъ приводить въ дѣйствіе аппаратъ Морзе, но лишь производитъ контактъ, замыкающій цѣпь другой батареи, дающей токъ, достаточный для возбужденія магнитовъ Морзе. Если токъ въ линіи прекратится, то рычагъ BB' пружиной f отводится отъ D' и прижимается къ изолированному контакту D. Напряженіе пружины f можетъ быть регулируемо винтомъ h; тѣмъ самымъ регулируется и промежутокъ между якоремъ A и полюсомъ электромагнита. Употребленіе релэ устраняетъ существенное затрудненіе при передачѣ депешъ на большія разстоянія. Достаточенъ даже весьма слабый токъ, чтобы сообщить якорю релэ малое перемѣщеніе, а уже такого перемѣщенія достаточно, чтобы замкнуть цѣпь батареи, приводящей аппаратъ Морзе въ дѣйствіе.

Примѣненіе релэ требуетъ, чтобы на каждой станціи было по двѣ батареи, одна—дающая токъ на другую станцію, т. наз. *линейная батарея*, а другая для аппарата Морзе, *мѣстная батарея*. Какъ производится соединеніе всѣхъ приборовъ на обѣихъ станціяхъ, указываетъ черт. 582. LB обозначаетъ на этомъ чертежѣ линейную ба-

тарею, *OB*—мѣстную, Schr—аппаратъ Морзе, *R*—релэ, *T* ключъ и *P*—земную пластинку. Если на станціи II нажимаютъ на ключъ, т. е. съ этой станціи отправляютъ депешу, то токъ направляется отъ линейной батареи II, черезъ ключъ II, по линіи *L*, въ ключъ *T*. Съ этого послѣдняго онъ идетъ въ релэ *R*, къ земной пластинкѣ *P* и возвращается черезъ землю на станцію отправленія. Возбужденный магнитъ релэ притягиваетъ якорь, замыкаетъ этимъ цѣпь мѣстной батареи, и пишущій аппаратъ приходитъ въ дѣйствіе.

Черт. 582.

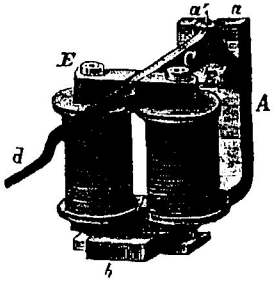


Релэ представляетъ собою весьма чувствительный телеграфный пріемникъ; онъ долженъ приходить въ дѣйствіе даже отъ очень слабыхъ токовъ, идущихъ съ большого разстоянія. Необходимо, чтобы въ моментъ прекращенія тока на линіи якорь релэ тотчасъ бы освобождался; иначе, знаки на аппаратѣ Морзе не выйдутъ точными. Въ этомъ состоитъ большой недостатокъ описаннаго релэ; его якорь долженъ быть быстро приводимъ въ положеніе равновѣсія пружиною *F*, какъ только прекратится токъ, и если телеграфированіе производится быстро, эта пружина должна дѣйствовать очень точно, что трудно достижимо на практикѣ. Къ этому присоединяется еще то, что въ релэ приходятъ токи разной силы, смотря по тому, съ какой станціи посылается депеша, болѣе далекой или болѣе близкой, между тѣмъ какъ пружина имѣетъ всегда одно и то же напряженіе и оказываетъ, слѣдовательно, всегда одно и то же противодѣйствіе.

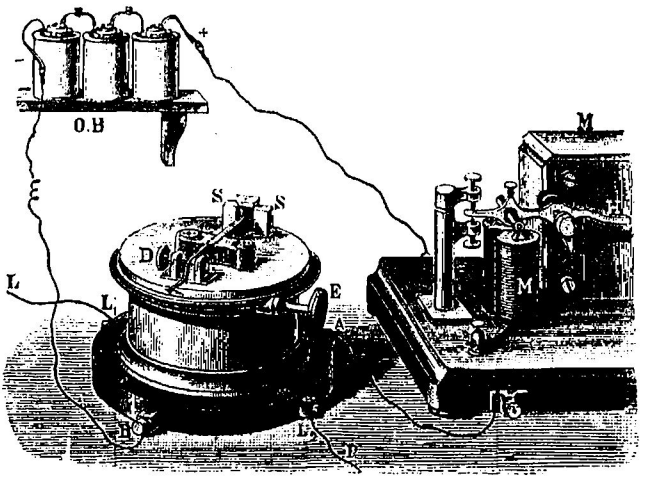
Многіе конструкторы предлагали различныя средства для устраненія этого недостатка. Радикальнымъ средствомъ является, конечно, совершенное уничтоженіе пружины. Такъ и сдѣлали Сименсъ и Гальске; въ приборахъ этой фирмы токъ линіи не возбуждаетъ магнита,

но лишь усиливаетъ или ослабляетъ уже существующіе магнитные полюса. Релэ, построенное на этомъ принципѣ, называютъ поляризованнымъ релэ. Черт. 583 изображаетъ подобное релэ. Постоянный стальной магнитъ Ab согнутъ подъ прямымъ угломъ; при aa' находится южный его полюсъ, при b—сѣверный. На сѣверномъ полюсѣ насажено два сердечника изъ мягкаго желѣза, которые тоже, слѣдовательно, становятся сѣверными полюсами; они обмотаны проволокою. На южномъ полюсѣ aa' стального магнита сдѣлана вырѣзка, въ которую входитъ длинный рычагъ Cd изъ мягкаго желѣза, вращающійся вокругъ вертикальной оси. Этотъ рычагъ представляетъ собою тоже южный полюсъ, какъ и тотъ конецъ магнита, продолженіемъ котораго онъ служитъ. Рычагъ находится въ равновѣсіи подъ дѣйствіемъ обоихъ сѣверныхъ полюсовъ, пока по обмоткамъ сердечниковъ не проходитъ никакого тока. Но представимъ себѣ, что токъ съ линіи, достигнувъ станціи назначенія, проходитъ по обмоткѣ нѣкоторой катушки, имѣющей вторичную обмотку, соединенную съ катушками релэ. Тогда въ моментъ появленія тока въ линіи, во вторичной спирали будетъ индуктироваться токъ, который притомъ будетъ такъ направленъ по катушкамъ релэ, что одинъ изъ сердечниковъ, напримѣръ E, станетъ болѣе сильнымъ сѣвернымъ полюсомъ, другой E' болѣе слабымъ или даже перемѣнитъ свой магни-

Черт. 583.



Черт. 584.



тизмъ. Вслѣдствіе этого рычагъ Cd притянется къ E, и его продолженіе d замкнетъ станціонную батарею. Въ моментъ прекращенія

линейнаго тока въ спирали индуктируется токъ противоположнаго направленія; онъ усилитъ полюсъ E', ослабивъ E. Вслѣдствіе этого рычагъ притянется тотчасъ же къ E', и станціонная цѣпь окажется разомкнутой. Такимъ образомъ дѣйствіе релэ происходитъ безъ всякой пружины, и рычагъ Cd, внѣшній конецъ котораго дѣлается изъ нейзильбера, а не изъ желѣза, вполнѣ точно и надежно слѣдитъ за замыканіями и размыканіями тока. Черт. 584 изображаетъ способъ соединенія поляризованнаго релэ, имѣющаго удобную форму круглой коробки, съ пишущимъ аппаратомъ M и мѣстной батареей OB. Какъ только линейный токъ, входящій въ станцію по L_1 и уходящій въ землю по L_2, заставитъ рычагъ релэ придти въ соприкосновеніе съ D, мѣстная батарея OB замыкается, и ея токъ, вступающій въ релэ по B, направится въ аппаратъ по A.

Комбинируя принципъ поляризованнаго релэ съ обычнымъ пружиннымъ, можно сконструировать очень удобный и легко регулируемый аппаратъ. Таково, напримѣръ, релэ, принятое почти повсюду на германскомъ правительственномъ телеграфѣ.

Итакъ, помощью релэ оказалась возможною надежная передача депешъ и на большія разстоянія. При еще большихъ разстояніяхъ, когда даже чувствительныя релэ отказываются реагировать на слишкомъ уже слабый токъ, включеніемъ на промежуточной станціи такого релэ можно опять получить вполнѣ удовлетворительныя условія для телеграфированія. Линейный токъ, приходящій на такую промежуточную станцію, приводитъ въ движеніе рычагъ релэ и этотъ послѣдній замыкаетъ цѣпь новой батареи, которая уже даетъ токъ для второй части рабочей линіи. Помощью одной или нѣсколькихъ такихъ трансляціонныхъ станцій можно автоматически, безъ того, чтобы служащій содѣйствовалъ или принималъ депешу, передавать депешу на какое угодно разстояніе, напримѣръ, черезъ весь материкъ.

Буквы морзова алфавита извѣстнымъ образомъ составлены изъ двухъ элементарныхъ значковъ, точки и черточки (см. стр. 716).

Кромѣ этихъ знаковъ выработано еще много другихъ международныхъ служебныхъ знаковъ.

При описанномъ устройствѣ телеграфа Морзе линейная батарея замыкается ключемъ, когда производится подача сигнала; въ остальное время она разомкнута, и по ней не идетъ никакого тока. Такое устройство называютъ телеграфированіемъ съ рабочимъ токомъ. Однако, нерѣдко пропускаютъ все время токъ по цѣпи, и тогда телеграфированіе состоитъ въ томъ, что этотъ токъ прерываютъ опредѣленнымъ образомъ на большій или меньшій промежутокъ времени. Это называется телеграфированіемъ съ постояннымъ токомъ. Каждый изъ этихъ методовъ имѣетъ свои преимущества, и потому оба они примѣняются одинаково часто.

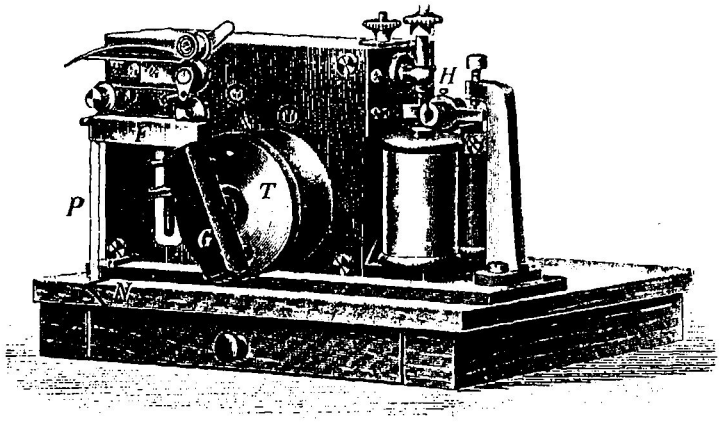
Русский алфавитъ.	Международ. алфавитъ.	Знаки Морзе.
А	A	· —
Б	B	— · · ·
В	W	· — —
Г	G	— — ·
Д	D	— · ·
Е, Э	E	·
Ж	V	· · · —
З	Z	— — · ·
И, І	I	· ·
Й	J	· — — —
К	K	— · —
Л	L	· — · ·
М	M	— —
Н	N	— ·
О	O	— — —
П	P	· — — ·
Р	R	· — ·
С	S	· · ·
Т	T	—
У	U	· · —
Ф	F	· · — ·
Х	H	· · · ·
Ц	C	— · — ·
Ч	Ö, ö	— — — ·
Ш	Ch	— — — —
Щ	Q	— — · —
Ъ, Ь	X	— · · —
Ы	Y	— · — —
Ю	Ue, ü	· · — —
Я	Ae ä	· — · —
Ѣ	É È	· · — · ·
	Å, å	· — — · —

Знаки для цифръ.	
1	· — — — —
2	· · — — —
3	· · · — —
4	· · · · —
5	· · · · ·
6	— · · · ·
7	— — · · ·
8	— — — · ·
9	— — — — ·
0	— — — — —

Пишущій аппаратъ Морзе изображаетъ буквы черточками и точками, какъ мы говорили выше, выдавливаемыми штифтомъ на бумажной лентѣ. Но скоро же оказалось, что знаки, такимъ образомъ полученные, недостаточно ясны, и потому стали искать способа печатать знаки красками. Приборъ, изобрѣтенный съ этой цѣлью, называется черно-печатающимъ, тогда какъ приборъ, описанный выше, носитъ названіе рельефнаго. Для полученія цвѣтныхъ знаковъ дѣлаютъ такъ, чтобы якорь магнита Морзе прижималъ къ бумажной лентѣ на долгій или короткій промежутокъ времени особое колесико, на которомъ находится краска. Такимъ образомъ, знаки азбуки Морзе выходятъ красками.

Въ настоящее время, послѣ многихъ преобразованій, на нѣмецкомъ правительственномъ телеграфѣ введенъ тотъ типъ аппарата Морзе, пишущаго красками, какой изображенъ на черт. 585. Въ правой части

Черт. 585.

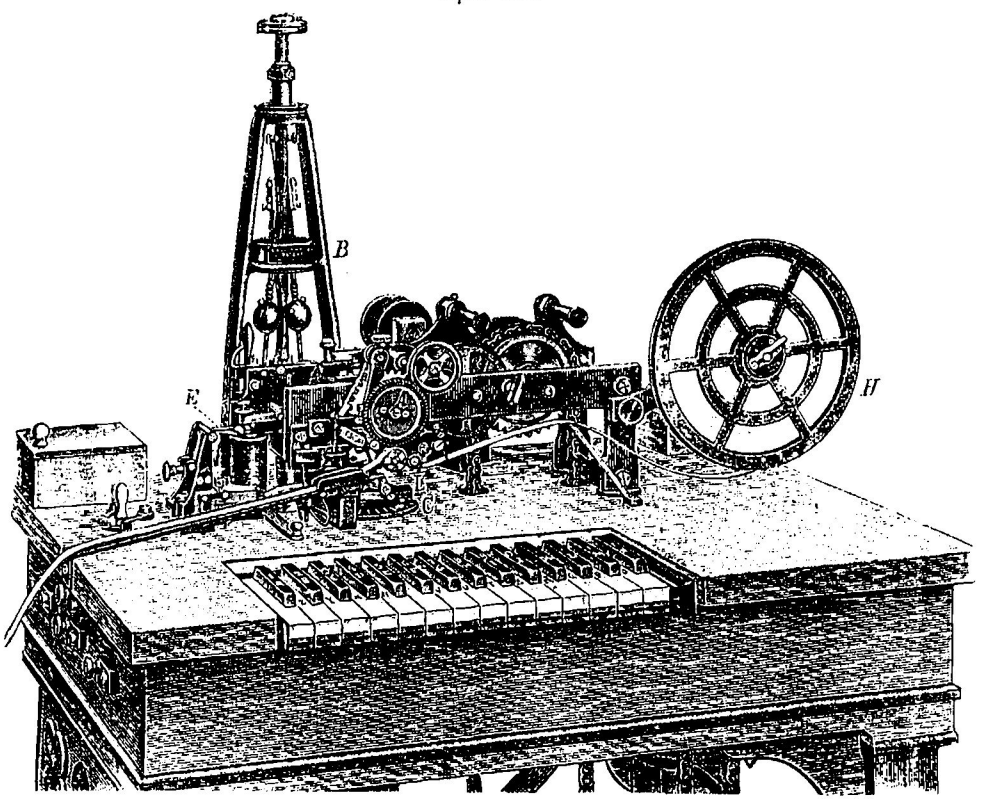


чертежа виденъ электромагнитъ съ его якоремъ *H*; этотъ послѣдній поднимается и опускается между придаточными частями, которыя могутъ быть различнымъ образомъ установлены. Продолженіе якоря находится въ ящикѣ и захватываетъ вилочкой ось красочнаго колесика. Краска находится въ коробкѣ *F*, въ которую и погружается колесико. Это колесико поднимается пишущимъ рычагомъ, когда якорь притягивается, и вслѣдствіе этого пишетъ на бумажной лентѣ, пока по аппарату проходитъ токъ. Такимъ образомъ оно пишетъ на бумагѣ точки и черточки. Катушка бумаги находится въ ящикѣ, служащемъ основаніемъ аппарату, и лента *P* сматывается съ катушки при *N*, какъ показано на чертежѣ. Двигателемъ въ часовомъ механизмѣ служитъ пружина, заключенная въ коробкѣ *T* и заводимая ключемъ *G*. Сердечникъ электромагнита этого прибора сдѣланъ изъ полыхъ

желѣзныхъ трубокъ вмѣсто массивнаго желѣзнаго стержня; этимъ достигается то, что магнитизмъ быстро пропадаетъ и быстро появляется вновь.

Сименсъ и Гальске примѣнили и къ аппаратамъ Морзе тотъ же принципъ, какой положенъ въ основу ихъ поляризованнаго релэ. У электромагнитовъ Морзе такъ же, какъ и у релэ, является неудобствомъ то, что пружина не всегда оттягиваетъ якорь достаточно быстро по прекращеніи тока; вслѣдствіе этого знаки не всегда бы-

Черт. 580.



ваютъ рѣзкими; во избѣжаніе этого неудобства названная фирма примѣнила постоянные магниты и къ аппарату Морзе. Такіе пишущіе приборы называются поляризованными аппаратами Морзе.

Въ аппаратахъ Морзе первоначальной конструкціи часовой механизмъ, протягивающій бумажную ленту, долженъ былъ быть отпускаемъ телеграфистомъ, когда приходила депеша, и задерживаемъ по окончаніи телеграфированія. Для этого въ подходящемъ мѣстѣ устраивался стопоръ, захватывавшій одно изъ колесъ и тѣмъ останавливавшій движеніе ленты; телеграфистъ долженъ былъ отвернуть этотъ стопоръ, чтобы привести аппаратъ въ дѣйствіе. Но скоро практика

показала, что часто бываетъ необходимымъ, чтобы аппаратъ приходилъ въ дѣйствіе автоматически, чтобы депеша была записана даже въ отсутствіи телеграфиста. Проще всего заставить самъ пишущій рычагъ освобождать механизмъ. Этого легко достигнуть, такъ какъ рычагъ довольно сильно притягивается электромагнитомъ и можетъ съ легкостью сдвинуть задерживающую пружину.

Аппаратъ Морзе послѣ всѣхъ своихъ улучшеній, устроенный для наиболѣе точнаго дѣйствія, все же остается весьма простымъ приборомъ. Ему присущъ однако одинъ недостатокъ: онъ требуетъ особой азбуки. Вслѣдствіе этого является необходимымъ, во-первыхъ, спеціальное обученіе какъ для отправителя, такъ и для получателя телеграммъ, и во-вторыхъ, переводъ полученныхъ знаковъ на обыкновенный шрифтъ. Кромѣ того, каждая буква состоитъ изъ нѣсколькихъ знаковъ, каждый изъ которыхъ долженъ быть передаваемъ отдѣльно; это приводитъ къ большой тратѣ времени, которое особенно драгоцѣнно при телеграфированіи, долженствующемъ быть средствомъ быстраго сообщенія; это приводитъ еще и къ частымъ ошибкамъ, такъ какъ отдѣльныя нажиманія по ключу такъ быстро проходятъ одно за другимъ, что не могутъ подлежать непосредственному контролю.

Опытный телеграфистъ можетъ передать на аппаратѣ Морзе отъ 60 до 70 буквъ въ минуту.

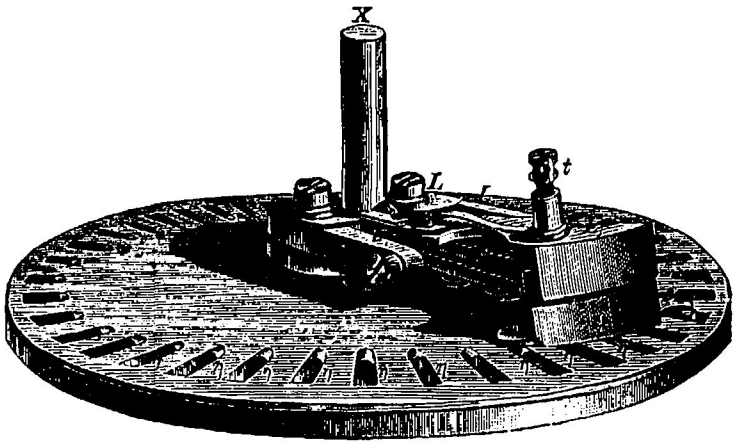
Во многихъ случаяхъ такая скорость достаточна, но для телеграфныхъ сношеній между большими городами, гдѣ обмѣнъ депешами очень великъ, телеграфированіе должно быть быстрѣе, проще и—что самое главное—телеграмма должна быть получаема на станціи назначенія прямо печатнымъ шрифтомъ. Необходимы аппараты, которые бы это выполняли.

Изъ такихъ приборовъ наибольшее распространеніе на практикѣ получилъ печатающій аппаратъ Юза: несмотря на его весьма сложную внѣшность, работать на немъ можно легко и съ увѣренностью; скорость передачи знаковъ аппаратомъ Юза въ 2 раза больше, чѣмъ скорость, допускаемая аппаратомъ Морзе; скорость же изготовленія депеши въ 5 разъ больше. Юзъ получилъ патентъ на свое изобрѣтеніе въ 1855 году, и его аппаратъ впервые дѣйствовалъ на линіи Парижъ-Лондонъ въ 1866 г.

Юзъ въ своемъ аппаратѣ пользуется также электромагнитнымъ дѣйствіемъ тока. Токъ, приходящій на станцію назначенія, возбуждаетъ электромагнитъ; этотъ послѣдній притягиваетъ свой якорь, прижимая имъ развертывающуюся бумажную ленту къ колесу, на окружности котораго находятся буквы, цифры и знаки препинанія. Въ каждомъ его аппаратѣ находится такое колесо, называемое типовымъ колесомъ. Оно приводится въ быстрое непрестанное вращеніе колеснымъ механизмомъ, при чемъ типовыя колеса пріемной станціи и

станціи отправленія должны вращаться съ одною и тою же скоростью и находиться постоянно въ одинаковыхъ положеніяхъ: долженъ быть полный синхронизмъ ихъ движеній. Этотъ синхронизмъ достигается посредствомъ особаго прибора, регулятора, описывать который мы однако не будемъ. Теперь остается лишь въ тотъ моментъ, когда телеграфируемая буква находится въ низшей точкѣ колеса (на обѣихъ станціяхъ), приподнять на станціи назначенія бумажную ленту, чтобы эта буква отпечаталась на бумагѣ. Это-то дѣйствіе и производится помощью электромагнита. Въ виду этой цѣли при аппаратѣ Юза, изображеніе котораго въ томъ видѣ, какой въ настоящее время придаетъ ему фирма Сименсъ и Гальске, дано на черт. 586, устроена клавіатура; на отдѣльныхъ ея клавишахъ укрѣплены буквы, цифры и знаки; нажиманіемъ на какой-нибудь изъ ключей (клавишей) этой

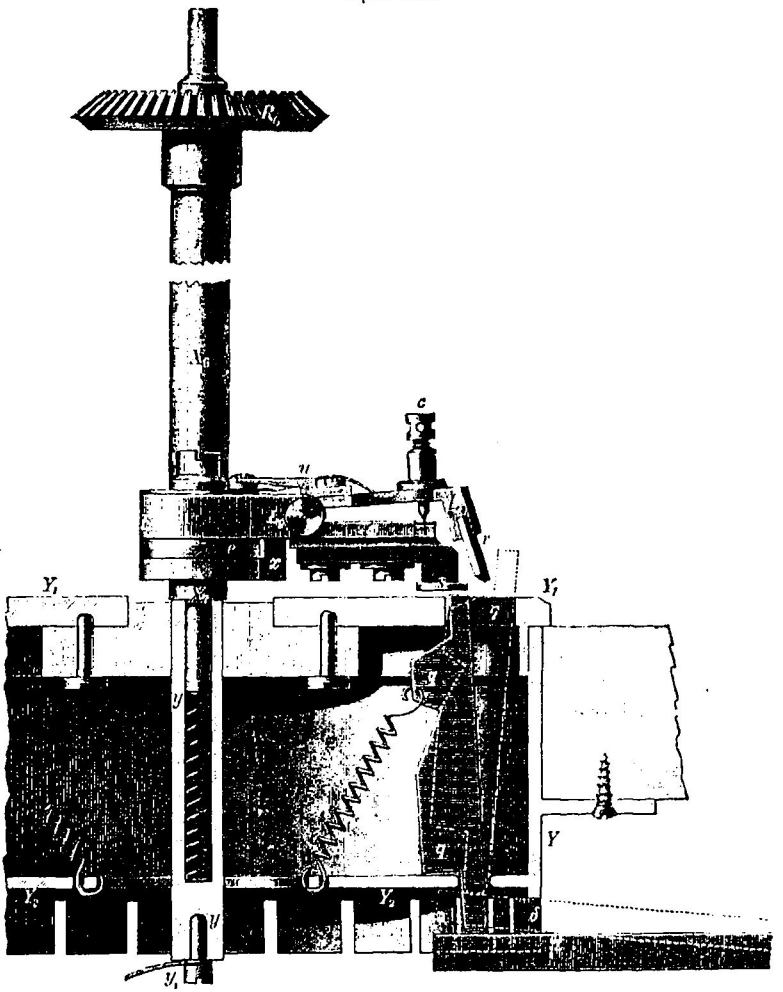
Черт. 587.



клавіатуры посылается токъ на станцію назначенія. При этомъ устройство аппарата позволяетъ току направиться на эту станцію лишь въ тотъ моментъ (или незадолго до того момента), когда желаемая буква типового колеса достигаетъ нижней его точки. Такимъ образомъ печатающій телеграфъ состоитъ изъ колеснаго механизма, приводящаго въ дѣйствіе типовое колесо и разные побочные приборы, электромагнита и клавіатуры съ приспособленіемъ для замыканія тока. На черт. 586 A — типовое колесо, E — электромагнитъ, якорь котораго нажимаетъ небольшой валикъ съ идущей по немъ бумажной лентой въ должный моментъ къ типовому колесу. Клавіатура соединена съ коробкой съ болтиками C, надъ которой вращается телѣжка (контактъ) L. Этотъ послѣдній приборъ и служитъ къ тому, чтобы токъ былъ посланъ въ пріемный аппаратъ какъ разъ въ то время, когда печатаемая буква находится въ самой

нижней точкѣ типоваго колеса, т. е. надъ печатающимъ валикомъ. Такимъ образомъ этотъ дискъ съ телѣжкой представляютъ собою важнѣйшія части прибора. Черт. 587 изображаетъ отдѣльно коробку съ ея отверстіями r_1 и телѣжкой L. Надъ отверстіями находятся штифтики, которые соединены съ клавишами клавіатуры и приподнимаются при нажиманіи на клавиши, причемъ они нѣсколько выступаютъ изъ ды-

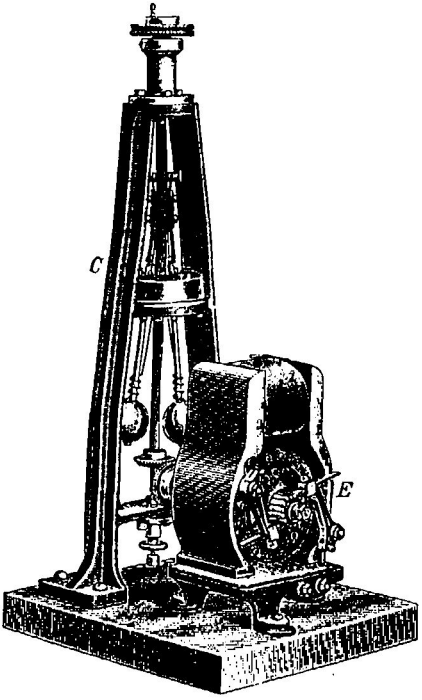
Черт. 588.



рокъ. Телѣжка L непрерывно вращается надъ дискомъ съ тою же скоростью, съ какою вращается типовое колесо; при этомъ она находится всегда именно надъ тѣмъ вырѣзомъ, который соотвѣтствуетъ буквѣ, занимающей низшее положеніе на типовомъ колесѣ (какъ на той, такъ и на другой станціи вслѣдствіе синхроннаго вращенія). Какъ только телѣжка подходитъ къ приподнятому штифту, этотъ

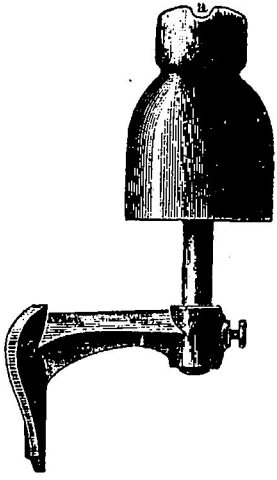
штифтъ производитъ раздѣленіе отдѣльныхъ 69 частей, что показано на черт. 588. Если приподнятъ штифтъ q, соотвѣтствующій клавишѣ 9, то онъ находится въ положеніи, изображенномъ пунктирными линіями; вслѣдствіе этого часть r телѣжки, верхняя губа, подойдя къ этому штифту, приподнимается, остріе t отходитъ отъ x, и токъ съ q (который соединенъ съ батареей) направляется черезъ t, X, ось телѣжки, въ линію и къ пріемному аппарату. Такъ какъ движеніе телѣжки синхронно съ вращеніемъ типоваго колеса, то какъ разъ въ тотъ моментъ, когда соотвѣтствующая буква находится въ низшей точкѣ колеса, посылается въ линію токъ, бумажная лента пріемной станціи, сматывающаяся съ H приподнимается и буква отпечатывается.

Черт. 589.



Таково въ общихъ чертахъ устройство телеграфа Юза. Онъ представляетъ одинъ изъ замѣчательнѣйшихъ образчиковъ механическаго искусства, на ряду съ которымъ можно поставить лишь швейную машину. Всѣ его отдѣльныя части, а ихъ многое множество, съ величайшею точностью отвѣчаютъ движеніямъ одна другой, и притомъ такъ устроены, что легко разбираются для починки.

Черт. 590.



Скорость вращенія типоваго колеса должна быть значительна. Обыкновенно оно дѣлаетъ 100—120 оборотовъ въ минуту. Первоначально аппаратъ Юза приводился въ движеніе исключительно падающимъ грузомъ, какъ это видно на черт. 586 подъ изображеніемъ

стола. Въ настоящее время для этой цѣли часто примѣняется небольшой электромоторъ, валъ котораго помощью конической зубчатой передачи соединяется съ валомъ маховика аппарата. Изображенный на черт. 586 аппаратъ можетъ работать какъ отъ мотора, такъ и помощью падающаго груза. Для регулированія скорости Юзъ у своего аппарата примѣнилъ горизонтальный маятникъ. Теперь чаще употребляютъ вертикальный центробѣжный регуляторъ въ томъ видѣ, какъ онъ изображенъ на черт. 586 у *B*.

На черт. 589 изображенъ электромоторъ, соединенный съ такимъ регуляторомъ. Основною частью послѣдняго служатъ два стержня съ грузами на концѣ. При увеличеніи скорости вращенія стержни эти раздвигаются центробѣжной силой и затормаживаютъ помощью особаго кольца валъ аппарата. Скорость, а вмѣстѣ съ тѣмъ и центробѣжная сила опять уменьшаются и тормазъ освобождается. Такимъ образомъ можно держать скорость приблизительно постоянной. Передвиженіемъ груза на стержняхъ можно устанавливать желаемую скорость, конечно, въ извѣстныхъ предѣлахъ. Передъ каждою подачею депешъ телеграфисты прежде всего убѣждаются, синхронно ли вращаются оба типовыхъ колеса; для этого нѣсколько разъ нажимаютъ на одну и ту же клавишу и смотрятъ, отпечатывается ли все одна и та же буква. Если этого не оказывается, то служащій на пріемной станціи регулируетъ скорость своего аппарата, пока не получится соотвѣтствія между аппаратами.

Въ настоящее время „Морзе“ и „Юзъ“ являются единственными аппаратами обычной телеграфной техники.

Одною изъ задачъ практической телеграфіи является соединеніе многихъ станцій между собою. Между двумя станціями, желающими сообщаться телеграфически, находится обыкновенно еще цѣлый рядъ промежуточныхъ станцій. Кромѣ того, требуется переключать токъ съ главной станціи на различныя линіи. Всѣ относящіяся до этихъ вопросовъ устройства и правила—такъ называемое ученіе о коммутаціи, выходитъ за предѣлы нашего сочиненія; объ этомъ трактуютъ спеціальные учебники по телеграфіи.

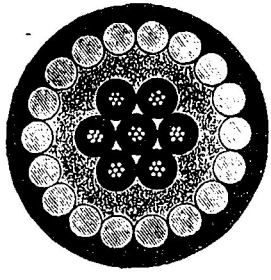
Соединеніе двухъ станцій, находящихся на поверхности земли, производится или помощью воздушныхъ проводовъ, или помощью подземныхъ. Для надземной проводки пользуются въ настоящее время желѣзной проволокой и проволокой изъ кремневой бронзы діаметромъ въ 4 мм., на большихъ же линіяхъ — діаметромъ до 5 мм. Проволока должна, конечно, хорошо проводить и быть изолированною; поэтому отдѣльные концы проволоки должны быть тщательно связаны; это достигается плотнымъ закручиваніемъ и спайкою концовъ. Для полученія надежной изоляціи при подвѣшиваніи проволоки употребляютъ обыкновенно деревянные столбы, а проволоки закрѣпляютъ

на фарфоровыхъ изоляторахъ въ формѣ колокола. Подобный изоляторъ изображенъ на черт. 590.

Болѣе затрудненій представляетъ подземная линія между двумя станціями; однако, напр. въ Германіи изъ стратегическихъ соображеній всѣ главные города соединены подземною проводкою наряду съ воздушною. Въ этомъ случаѣ проволока укладывается иногда въ мокрую землю или на дно рѣки, и для полученія достаточной изолировки, а также для защиты самой проволоки отъ разрушенія сыростью, она должна быть покрыта изолирующимъ и крѣпкимъ веществомъ; въ виду этого пользуются кабелемъ. Правильное телеграфное сообщеніе было очень затруднительно до тѣхъ поръ, пока не были выработаны типы кабелей крѣпкихъ и съ достаточною изоляціей.

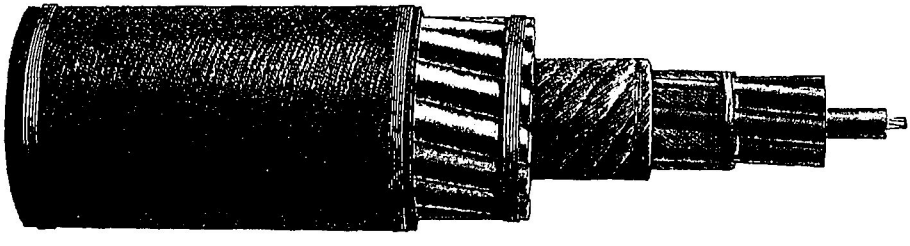
Для кабелей употребляются исключительно мѣдныя проволоки, и вмѣсто одной толстой проволоки берутъ нѣсколько тонкихъ, включенныхъ параллельно. На черт. 591 данъ разрѣзъ кабеля, примѣняемаго въ Германіи для подземной телеграфной линіи. Это семижильный кабель; каждая жила составлена изъ 7 скрученныхъ вмѣстѣ проволочекъ и покрывается слоемъ гуттаперчи, что составляетъ задачу особой отрасли фабричнаго производства. Эти жилы обвиваются другъ около друга, причемъ обыкновенно шесть жилъ навиваютъ на седьмую. Эту часть кабеля называютъ сердцевиною. Вокругъ нея наматываютъ двойнымъ слоемъ осмоленную пеньковую матерію, которую покрываютъ слоемъ оцинкованной желѣзной проволоки. Наконецъ, снаружи кабель покрываютъ асфальтомъ и еще разъ оплетаютъ пеньковой матеріей. На черт. 592 приведенъ внѣшній видъ такого кабеля.

Черт. 591.



Первыя телеграфныя линіи были устроены въ Германіи въ 1830 г.; съ 1843 года телеграфы стали быстро рас-

Черт. 592



пространяться, такъ что въ нѣсколько десятилѣтій всѣ страны покрылись телеграфными сѣтями. Мысль о подводныхъ линіяхъ возникла у Витстона уже около 43-года; первыя подводныя линіи небольшой

длины были уложены въ 1852 году между Англіей и Ирландіей. Съ кабелями большей длины, напр. чрезъ Средиземное море, возникали необыкновенныя трудности; кабель, прокладываемый на днѣ глубокаго моря, чрезвычайно легко разрывается. Пришлось строить особыя суда, чтобы можно было производить надежныя соединенія между кабелями. Но предстояла громадная задача прокладки кабеля чрезъ Атлантическій океанъ, между Европой и Америкой. Выполненіе этой задачи потребовало огромныхъ работъ и затратъ и удалось лишь послѣ многихъ неудачныхъ попытокъ.

Первыя попытки относятся къ 1857 г.; 6 августа была начата укладка кабеля изъ Ирландіи въ Америку. Но уже 11 августа онъ оборвался въ 70 нѣмецкихъ миляхъ отъ берега. Въ 1858 г. работа была возобновлена, причемъ было обращено вниманіе на то, чему научилъ первый опытъ, но и въ этомъ году первый кабель разорвался, второй же послѣ короткаго существованія былъ разрушенъ. Послѣ этого лишь въ 1864 г. былъ изготовленъ кабель, длиною въ 600 нѣм. миль; онъ былъ благополучно уложенъ съ корабля «Гритъ-Истернъ», но скоро опять разорвался, среди океана (1865 г.) въ 250 миляхъ отъ ирландскаго берега. Наконецъ, въ слѣдующемъ 1866 году былъ уложенъ кабель, который существуетъ и до настоящаго времени, несмотря на многочисленныя поврежденія. Въ то же самое время кабель 1865 года былъ поднятъ со дна «Гритъ-Истерномъ», исправленъ и снова опущенъ; такимъ образомъ были устроены двѣ телеграфныя линіи между Европой и Америкой. Въ настоящее время Америку съ Европой соединяетъ 18 кабелей. Послѣ этого за короткій промежутокъ времени почти всѣ части цивилизованнаго міра были соединены телеграфомъ.

При телеграфіи по кабелю съ самаго же начала натолкнулись на неожиданное затрудненіе, кромѣ трудностей при укладкѣ кабеля. А именно оказалось, что всякій кабель, состоящій изъ внутреннихъ мѣдныхъ проволокъ, окруженныхъ внѣшними желѣзными съ изолирующимъ слоемъ между ними, дѣйствуетъ, какъ конденсаторъ. На проволокѣ такого кабеля, если ее соединить съ полюсомъ батареи, собирается огромное количество электричества, такъ какъ его емкость (вслѣдствіе близкаго присутствія второй обкладки, см. стр. 28) весьма велика. Вслѣдствіе этого приходится считаться съ явленіями заряженія кабеля. Дѣйствительно, извѣстное количество электричества должно быть сначала израсходовано на зарядку поверхности кабеля; благодаря этому сила тока, необходимая для дѣйствія пріемнаго аппарата, устанавливается въ кабелѣ лишь постепенно. Получается, такимъ образомъ, значительное запаздываніе тока. Отсюда слѣдуетъ, что телеграфированіе по кабелю, помимо другихъ неудобствъ, совершается медленнѣе, чѣмъ по воздушной проводкѣ. Кромѣ того, сюда приба-

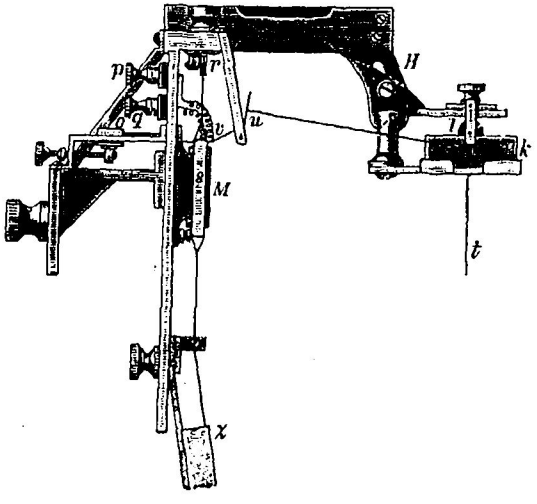
вляются еще другія неудобства; если при телеграфированіи кабель заряженъ замыканіемъ на батарею одной изъ станцій и затѣмъ разобщенъ отъ батареи и соединенъ съ землей, то часть зарядившаго его количества электричества пойдетъ теперь обратно, въ землю, черезъ аппараты. Произойдутъ такъ называемые токи разряда. Такимъ образомъ, послѣ каждаго телеграфирующаго тока протечетъ токъ обратнаго направленія, который приведетъ аппараты въ нежелательное и вредное дѣйствіе. Примѣняются различныя мѣры для уничтоженія этого тока разряда. Токи разряда становятся безвредными, если примѣняютъ поляризованное релэ и поляризованный печатающій аппаратъ, такъ какъ эти приборы приходятъ въ требуемое отъ нихъ дѣйствіе лишь тогда, если черезъ нихъ проходитъ токъ нѣкотораго опредѣленнаго направленія. Въ подводной телеграфіи, гдѣ пользуются аппаратами гораздо болѣе чувствительными, чѣмъ обыкновенный печатающій аппаратъ, устраиваютъ такъ, что въ моментъ размыканія цѣпи черезъ кабель посылается токъ обратнаго направленія изъ особой батареи; этотъ токъ и уничтожаетъ токъ разряда. Въ случаѣ большой кабельной линіи въ настоящее время прибѣгаютъ почти исключительно къ конденсаторамъ, позволяющимъ достигнуть той же цѣли.

На трансатлантическихъ линіяхъ току приходится проходить столь длинный путь, что лишь весьма слабые токи достигаютъ конечной станціи. Чтобы эти токи могли подать знаки, вернулись снова къ стрѣлочнымъ аппаратамъ, примѣненнымъ впервые Гауссомъ и Веберомъ, однако все же совершенно переработаннымъ. Токъ посылался по оборотамъ очень чувствительнаго мультипликатора; отклоненія магнита наблюдались въ зрительную трубу.

Лорду Келвину (Вильяму Томсону) удалось сконструировать пріемный аппаратъ, основанный приблизительно на томъ же принципѣ и дающій возможность передавать по кабелю остающіеся знаки; этотъ приборъ называется сифонрекордеромъ. Томсонъ примѣнилъ въ немъ кунструкцію, которая лѣтъ 30 спустя была примѣнена въ гальванометрѣ Депрэ (см. стр. 210). Главныя части сифонрекордера состоятъ въ слѣдующемъ: катушка s такъ же, какъ и въ гальванометрѣ Депрэ, помѣщена между полюсами сильнаго электромагнита M (черт. 593). Черезъ зажимы p и q въ катушку входитъ изъ кабеля токъ, подъ вліяніемъ котораго катушка, подвѣшенная на тонкихъ нитяхъ, поворачивается. Съ нею помощью натянутой нити v, u, t соединенъ небольшой стеклянный сифонъ, который опускается въ сосудъ съ красящей жидкостью; сифону этому помощью особаго молоточка Нефа сообщаютъ непрерывное вибраціонное движеніе, такъ что съ него постоянно по маленькимъ каплямъ стекаетъ краска. Передъ сифономъ обычнымъ образомъ проводится бумажная лента, на которую и

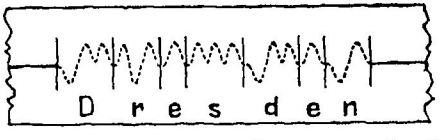
капаетъ краска. Движеніе катушки, называемой рекордной катушкой, направлено то въ одну, то въ другую сторону, такъ какъ телеграфируютъ токомъ перемѣннаго направленія; поэтому на лентѣ получается волнистая линія. Такъ какъ каждая буква характеризуется опредѣленнымъ движеніемъ, то такимъ образомъ можно получить полный телеграфный шрифтъ, такъ называемый рекордный (волнообразный) шрифтъ. На черт. 594 данъ образчикъ этого шрифта. Изобрѣтеніемъ сифонрекордера скорость телеграфированія по кабелю была значительно увеличена.

Черт. 593.



Большіе капиталы, которые тратятся на сооруженіе кабельнаго телеграфа, требуютъ наибольшаго его использованія, чтобы эксплоатація установки давала возможность погашенія первоначальныхъ затратъ; при этомъ стоимость телеграммы не можетъ быть какъ угодно повышаема, такъ какъ это повело бы не къ увеличенію, но къ уменшенію оборотовъ. То же самое относится и къ телеграфу съ воздушной проводкой, такъ какъ установочная стоимость его также очень велика.

Черт. 594.



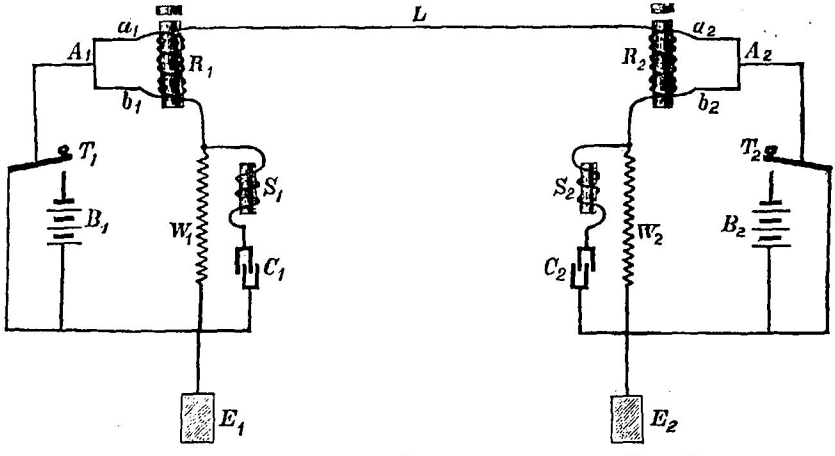
Съ точки зрѣнія возможно полнаго использованія телеграфной линіи большое практическое значеніе имѣло разрѣшеніе вопроса о возможности одновременнаго телеграфированія съ обоихъ концовъ одной и той же линіи. Это—такъ называемое встрѣчное телеграфированіе. Разумѣется, можно пустить токи по проводнику одновременно съ одной и съ другой стороны, при этомъ они не проходятъ одинъ «сквозь» другой, какъ напримѣръ круги на водѣ, но складываются либо вычитаются одинъ изъ другого. Задача, которую предстояло рѣшить, сводилась слѣдовательно къ тому, чтобы токъ, отправленный съ одной станціи, не привелъ бы въ дѣйствіе собственнаго аппарата Морзе (или релэ), но лишь аппаратъ второй станціи и наоборотъ, отправленный одновременно встрѣчный токъ со второй

станціи не приводилъ бы въ дѣйствія ея релэ, но лишъ релэ первой станціи

Задача эта проще, чѣмъ могло бы показаться съ перваго взгляда; она разрѣшается особымъ включеніемъ аппаратовъ. При этомъ выработаны двѣ различныхъ схемы включенія.

Наиболѣе понятенъ дифференціальный методъ (черт. 594). Здѣсь токъ станціи отправленія I развѣтвляется такимъ образомъ, что обѣ его части проходятъ по двумъ отдѣльнымъ обмоткамъ релэ R, которыя включены такимъ образомъ, что возбуждаютъ противоположныя магнитныя поля, уничтожающія другъ друга (дифференціальное включеніе). Одна изъ обмотокъ соединена далѣе съ проводомъ L, ведущимъ ко второй (II) станціи, и съ тамошними аппаратами. Вторая обмотка, чтобы по ней проходилъ токъ той же силы, соединена съ проводомъ того же сопротивленія, какое имѣетъ цѣпь первой обмотки.

Черт. 595.

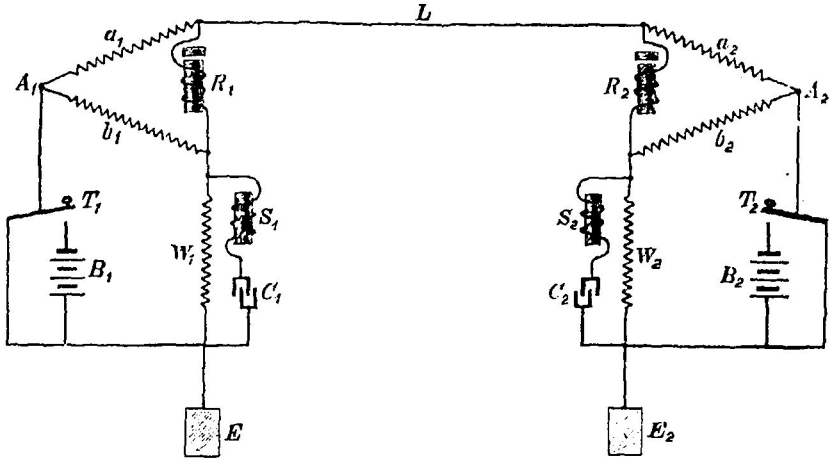


Проводъ этотъ—такъ называемый искусственный кабель—устраивается какъ на станціи отправленія, такъ и на пріемной станціи. Этотъ искусственный кабель каждой станціи электрически долженъ быть равносиленъ кабелю L вмѣстѣ съ пріемнымъ аппаратомъ другой станціи. Во-первыхъ, должно быть одинаково сопротивленіе. Во-вторыхъ, должна быть одинакова и самоиндукція, такъ какъ рабочій токъ не постоянный, но кратковременный; наконецъ, должна быть одинакова и емкость. Въ виду этого искусственный кабель составляется изъ безиндукціоннаго сопротивленія W_1 (W_2), параллельно включенной катушки самоиндукціи S_1 (S_2) и, наконецъ, конденсатора C_1 (C_2), также включеннаго параллельно, съ емкостью равною емкости дѣйствительнаго кабеля. При замыканіи ключемъ T_1 цѣпи батареи B_1 первой станціи какъ по вѣтви a_1, такъ и по b_1 пойдетъ токъ одинаковой силы и релэ этой станціи, благодаря дифференціальному дѣйствію

обмотокъ, работать не будетъ. На пріемной же станціи II токъ пройдетъ лишь черезъ одну обмотку релэ въ землю, слѣдовательно аппаратъ R_2 будетъ работать. То же самое произойдетъ, если отправляютъ телеграмму со второй станціи: релэ R_2 не дѣйствуетъ, зато работаетъ релэ R_1 первой станціи. Такимъ образомъ задача встрѣчнаго телеграфированія оказывается разрѣшенною.

Второй способъ — такъ называемый способъ моста — является примѣненіемъ идеи моста Витстона. Эта схема, какъ извѣстно, заключается въ томъ (см. стр. 81), что въ то время, какъ по всѣмъ вѣтвямъ проходитъ токъ, въ мостѣ тока не будетъ, если только соблюдено извѣстное соотношеніе между сопротивленіями отдѣльныхъ вѣтвей. На каждой станціи телеграфный аппаратъ R_1 (соотв. R_2 черт. 596) включается въ мостъ витстоновой схемы. Отъ батареи B_1

Черт. 596.



первой станціи токъ идетъ черезъ ключъ T_1 къ витстонову мосту первой станціи и здѣсь развѣтвляется и идетъ съ одной стороны черезъ сопротивленія a_1, b_1, съ другой стороны въ рабочій проводъ L и въ искусственный кабель, состоящій изъ реостата W_1, самоиндукціи S_1 и емкости C_1; кабель этотъ соединенъ съ землей. Такъ какъ рабочій проводъ L также соединенъ съ землей, то собственный аппаратъ R_1 остается въ покоѣ, если соотношеніе сопротивленія, самоиндукціи и емкости провода L и искусственнаго кабеля равны соотношенію таковыхъ въ вѣтвяхъ b_1 и a_1. Токъ на пріемной станціи идетъ черезъ релэ R_2 въ землю и такимъ образомъ послѣдній каждый разъ приводится въ дѣйствіе.

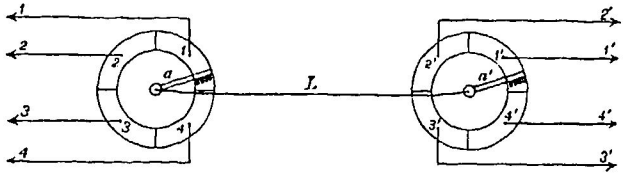
Подобныя соединенія часто встрѣчаются на длинныхъ телеграфныхъ линіяхъ, главнымъ образомъ кабельныхъ, такъ какъ при одновременномъ встрѣчномъ телеграфированіи можно переслать въ два раза большее количество буквъ, и эксплоатація линіи повышается.

Еще большаго использованія провода можно было бы достигнуть, если бы удалось пересылать съ обоихъ концовъ одновременно не по одной телеграммѣ, но сразу по нѣскольку, по 2, 3, 4 и т. д., присоединяя на каждой станціи къ проводу по нѣскольку аппаратовъ. Это называютъ многократнымъ телеграфированіемъ.

Также и эта задача разрѣшена весьма совершеннымъ образомъ помощью принципа, который становится какъ бы самъ собой понятнымъ, если только разъ уяснить его себѣ. Если пользоваться схемами, подобными приведеннымъ выше для встрѣчнаго телеграфированія, то по большей мѣрѣ можно бы передать по двѣ телеграммы въ каждомъ направленіи (дуплексное встрѣчное телеграфированіе); при этомъ однако схема соединеній уже сильно усложняется. Къ значительно большимъ результатамъ привелъ второй путь. На подачу каждаго знака телеграфистъ затрачиваетъ извѣстное количество времени. Въ моменты же между подачей отдѣльныхъ знаковъ цѣпь остается неиспользованной. Въ эти промежутки времени цѣпь можетъ быть присоединена къ другой парѣ аппаратовъ—передающему и пріемнику, и между этою парою можетъ быть подана телеграмма. Возможно при этомъ воспользоваться промежутками времени для включенія третьей пары и четвертой пары аппаратовъ. Въ этомъ и заключается вышеупомянутый второй путь. Строго говоря, здѣсь не происходитъ одновременнаго телеграфированія по одному и тому же проводу, а скорѣе прерывистое телеграфированіе. Однако главную цѣль — использованіе провода этотъ родъ многократнаго телеграфированія достигаетъ въ высшей мѣрѣ, чѣмъ дѣйствительно одновременное телеграфированіе. Изъ аппаратовъ подобнаго рода наиболѣе извѣстенъ аппаратъ Бодо, который постоянно работаетъ, напримѣръ, на линіи Парижъ-Берлинъ, а также употребляется и на другихъ линіяхъ, исходящихъ изъ Парижа. Онъ позволяетъ одновременно приключить къ одной линіи три, четыре или больше пріемныхъ и отправляющихъ аппаратовъ; нѣкоторые изъ нихъ могутъ работать со станціи I на II, другіе со второй на первую. Аппаратъ Бодо даетъ печатные значки, т. е. относится къ разряду печатающихъ аппаратовъ. Главною его составною частью служитъ распредѣлитель. На обѣихъ станціяхъ вращаются синхронно распредѣлители, которые поочередно соединяютъ съ линіей и съ аппаратами другой станціи всѣ четыре (или больше, или меньше) аппарата первой станціи. На черт. 597 приведена схема такого распредѣлителя на четыре аппарата. На каждой изъ обѣихъ станцій имѣются круги, раздѣленные на четыре квадранта. Каждый квадрантъ соединенъ съ телеграфнымъ аппаратомъ, смотря по надобности, съ пріемнымъ или съ передающимъ. Обозначенные одинаково квадранты круговъ соотвѣтствуютъ одинъ другому. По каждому кругу синхронно одинъ относительно другого вращаются контакты a, a', прикасающіеся

съ каждымъ изъ 4 квадрантовъ по очереди. Они оба соединены съ проводомъ *L*. Такимъ образомъ при каждомъ оборотѣ соединяются между собою сперва квадранты 1 и 1', затѣмъ 2 съ 2' и т. д. Такъ какъ валъ распредѣлителя дѣлаетъ въ секунду 3 оборота, то каждая изъ четырехъ паръ аппаратовъ три раза въ секунду работаетъ. Ди-

Черт. 597.



рижёръ, или клопферъ, указываетъ телеграфисту при каждомъ аппаратѣ, когда онъ можетъ опять подать знакъ. Подача депешъ на аппаратахъ Бодо производится такимъ образомъ, что каждая буква образуется изъ пяти быстро слѣдующихъ другъ за другомъ знаковъ. При каждомъ передающемъ аппаратѣ имѣется пять клавишъ, которыя въ спокойномъ положеніи замыкаютъ цѣпь такимъ образомъ, что токъ идетъ въ линію отъ отрицательнаго полюса батареи, при нажатіи же ихъ—отъ положительнаго полюса. Для этой цѣли каждый квадрантъ распредѣлителя подраздѣленъ на пять изолированныхъ одна отъ другой частей, которыя соединены соотвѣтственно съ пятью клавишами. Такимъ образомъ вращающійся контактъ, проходя по квадранту, замыкаетъ цѣпь пять разъ, причемъ токъ идетъ отчасти въ одномъ направленіи, отчасти въ другомъ. Изъ такихъ пяти знаковъ можно составить 31 комбинацію, а именно: одну—съ пятью положительными токами, 5—съ четырьмя положительными, по 10 съ двумя и тремя и 5—съ однимъ положительнымъ. Это достаточно для полнаго комплекта шрифта, цифръ и знаковъ, если типовое колесо можетъ быть устанавливаемо въ двухъ положеніяхъ такихъ, что оно отпечатываетъ либо буквы, либо числа и знаки. Пять короткихъ токовъ, пришедшихъ на станцію назначенія, возбуждаютъ здѣсь пять электромагнитовъ; при этомъ устроено такъ, что помощью мѣстной батареи напряженіе электромагнитовъ остается неизмѣннымъ и по исчезновеніи короткихъ импульсовъ тока. Каждый электромагнитъ дѣйствуетъ на одинъ изъ пяти рычаговъ, которые соединены соотвѣтственнымъ образомъ между собою и такимъ образомъ для каждой комбинаціи токовъ система рычаговъ принимаетъ совершенно опредѣленное положеніе. Каждому такому положенію соотвѣтствуетъ на колесѣ опредѣленная комбинація зарубокъ и, когда при вращеніи колеса всѣ пять рычаговъ попадутъ въ пять такихъ зарубокъ, то на лентѣ отпечатается какъ разъ та буква, которая соотвѣтствуетъ данной комбинаціи токовъ. Такимъ образомъ при каждомъ оборотѣ распредѣлителя на всѣхъ четырехъ

пріемникахъ отпечатается буква, посланная соотвѣтственными передающими аппаратами. Принимая во вниманіе сказанное, что валъ распредѣлителя дѣлаетъ 3 оборота въ секунду, можно было бы ожидать, что каждый аппаратъ печатаетъ 180 буквъ въ минуту, а всѣ аппараты вмѣстѣ 720 буквъ при одномъ проводѣ. На самомъ же дѣлѣ передаютъ по 400 буквъ въ минуту при четырехкратномъ Бодо и по 800 при восьмикратномъ.

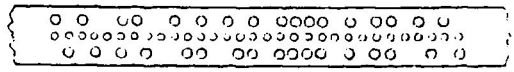
Приведенные методы встрѣчнаго и многократнаго телеграфированія позволяютъ достигнуть значительнаго использованія проводовъ и, вообще говоря, до сихъ поръ удовлетворяютъ всѣмъ требованіямъ, которыя предъявляются все возрастающимъ телеграфнымъ сообщеніемъ.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ, однако, требуется еще болѣе значительная скорость сообщенія. Очень быстро растетъ, напримѣръ, потребность большихъ современныхъ газетъ въ длинныхъ телеграммахъ. Парламентскія и другія публично произносимыя рѣчи должны въ видѣ телеграммъ передаваться газетами возможно полно и быстро. Если такой парламентскій отчетъ содержитъ, напримѣръ, 50.000 словъ, каждое въ среднемъ въ 6 буквъ, то для передачи этихъ 300.000 буквъ на аппаратѣ Юза, который передаетъ 125 словъ въ минуту, пришлось бы затратить 40 часовъ, а при четырехкратномъ Бодо, который установленъ однако далеко не вездѣ, все же около 12 часовъ. Это конечно слишкомъ долго и въ такихъ случаяхъ, слѣдовательно, ощущается потребность въ новомъ устройствѣ, которое давало бы возможность гораздо болѣе быстраго телеграфированія.

Уже Витстонъ предвидѣлъ эту потребность, хотя въ его время она не была еще столь сильно ощущаема, и онъ же далъ первый практическій методъ для ея удовлетворенія. Рука телеграфиста не можетъ передавать знаки, напримѣръ, Морзе, съ любою скоростью. Если же предварительно нанести на бумажную ленту телеграмму, выраженную комбинаціей дырочекъ, т. е. чтобы точка, черта и промежутокъ обычнаго шрифта выражались каждый особой комбинаціей дырочекъ, то эту ленту можно съ любою скоростью пропускать черезъ соотвѣтственное контактное приспособленіе и получать такимъ образомъ, смотря по расположенію дырочекъ, токи для точки, черты и промежутка. Этимъ способомъ скорость телеграфированія можетъ быть сколько угодно повышена, такъ какъ телеграмма подается здѣсь уже не рукою, но автоматически. Витстонъ самъ же предложилъ удобные аппараты для пробивки дыръ въ бумагѣ (перфораторъ), для контактнаго приспособленія и для пріемки столь быстро слѣдующихъ другъ за другомъ знаковъ. Приготовленіе перфорированной бумажной ленты можно при длинной депешѣ распредѣлить между нѣсколькими лицами, такъ что эта предварительная работа вмѣстѣ съ самимъ

телеграфированіемъ беретъ въ общемъ немного времени. На черт. 598 приведенъ образчикъ подобной бумажной ленты. Дырочки по серединѣ служатъ для передвиженія ленты и вмѣстѣ съ тѣмъ даютъ промежутки между словами. Двѣ дырочки, стоящія одна противъ другой вверху и внизу, обозначаютъ точку, двѣ наискось противостоящія дырочки—вверху налѣво, внизу направо—обозначаютъ черту.

Черт. 598.



M A N N H E I M

Помощью автоматическаго аппарата Витстона можно пропустить приблизительно 250 буквъ въ минуту, при другой подобной же системѣ—Муррея—даже около 350; онѣ получаются на пріемной станціи непосредственно печатнымъ шрифтомъ.

Разумѣется, съ перфорированной бумажной лентой можно было бы еще дальше повысить скорость передачи телеграммы; нужно только ускорить пропускъ ленты черезъ контактное приспособленіе и сдѣлать такъ, чтобы послѣднее давало правильный контактъ, что не такъ трудно достигнуть. Предѣлъ, однако, устанавливается скоростью пріемнаго аппарата. Послѣдній долженъ давать знаки Морзе правильно и достаточно сильно, на что каждый разъ требуется извѣстный промежутокъ времени. Дѣйствительно, каждый отдѣльный токъ долженъ возбудить магнитъ, послѣдній долженъ притянуть якорь и вновь его отпустить; наконецъ, нужно привести въ движеніе какой-либо рычагъ для полученія самого значка—все это требуетъ времени, хотя бы и весьма короткаго. Это время между каждыми двумя знаками нельзя уменьшить ниже опредѣленнаго предѣла, чѣмъ и обусловлена наибольшая скорость пріемнаго аппарата.

Въ послѣдніе годы однако выработаны нѣкоторыя системы быстродѣйствующей телеграфіи, которыя совсѣмъ необыкновенно повысили скорость телеграфированія, такъ что стало возможнымъ передавать въ минуту даже 2000 — 3000 буквъ. Такое изумительное повышеніе производительности достигается тѣмъ, что телеграфія стала пользоваться услугами фотографіи. Въ одной изъ такихъ системъ Поллака и Вирага лучъ свѣта бросается на зеркальце, которое приходящими по линіи токами приводится въ едва замѣтное колебаніе. Отраженный лучъ свѣта пишетъ на свѣточувствительной пленкѣ движеніе зеркальца и тотчасъ же даетъ телеграмму въ готовомъ видѣ, записанную какъ бы курсивомъ. Въ системѣ Сименса и Гальске приходящіе токи вызываютъ искровой разрядъ заряженнаго конденсатора какъ разъ въ тотъ моментъ, когда требуемая буква, прозрачно написанная въ числѣ прочихъ на вращающемся кругѣ, находится между искрой и свѣточувствительной пленкой.

Такимъ образомъ записывается и вся телеграмма. Значеніе такого быстродѣйствующаго телеграфа до послѣдняго времени признавалось лишь въ исключительныхъ случаяхъ, однако при быстромъ развитіи общественной жизни во всемъ мірѣ, при возрастаніи всеобщаго интереса ко всему, что на свѣтѣ происходитъ, значеніе такого способа сообщенія несомнѣнно будетъ быстро расти.

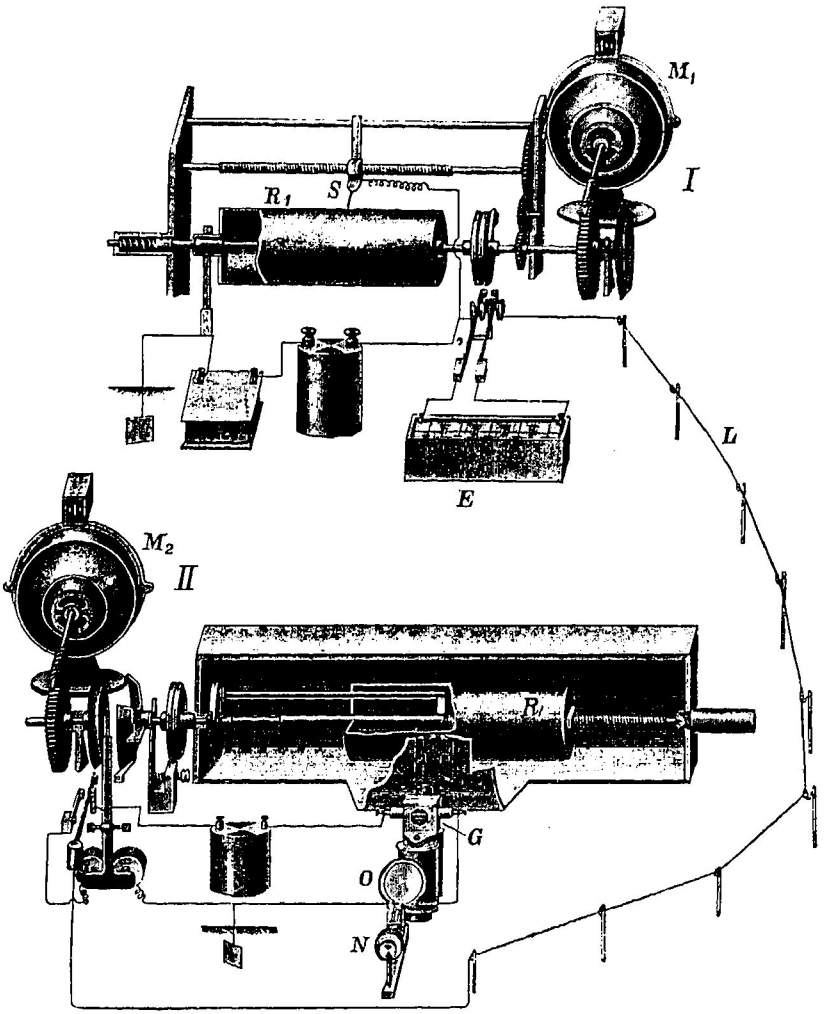
Совершенно иное примѣненіе телеграфа возбудило въ свое время всеобщій интересъ, хотя практически значеніе его и было весьма невелико. Вопросъ заключался въ возможности передачи помощью телеграфа на разстояніе собственной рукописи отправителя, рисунковъ или фотографій. Первое можетъ найти примѣненіе, напримѣръ, въ торговыхъ кругахъ, послѣднее же могло бы оказать услугу для полицейскихъ цѣлей, напримѣръ, для телеграфной передачи фотографій бѣжавшихъ преступниковъ. Также для печати, напримѣръ для иллюстрированныхъ изданій телеграфная фотографія можетъ имѣть большой интересъ.

Принципіально не трудно придумать для этой цѣли приспособленіе, все же практическаго значенія появившіяся до сихъ поръ выполненія этой идеи, вообще говоря, не получили. Подобные телеграфы получили названіе копирующаго телеграфа или телаутографа.

Встрѣчающіеся въ настоящее время аппараты подобнаго рода основываются на принципѣ давно уже извѣстнаго пантелеграфа Казелли. Послѣдній воспользовался химическими дѣйствіями тока. На каждой изъ обѣихъ станцій имѣется по металлической пластинѣ. На станціи отправленія депеша писалась на пластинѣ непроводящимъ токъ растворомъ смолы, на пріемной станціи металлическая пластина покрыта бумагой, пропитанной растворомъ желѣзистосинильнаго кали. На обѣихъ станціяхъ помощью часового механизма приводятся въ точно синхронное движеніе два штифта, такъ что они проводятъ на металлическихъ пластинкахъ частыя параллельныя линіи. Пока штифтъ первой станціи касается проводящаго металла, токъ изъ батареи проходитъ по линіи къ штифту второй станціи и разлагаетъ здѣсь на пластинѣ кровяную соль; при этомъ образуется берлинская лазурь, благодаря которой бумага покрывается синими штрихами. Когда же штифтъ первой станціи проходитъ черезъ непроводящія буквы, токъ въ цѣпи прерывается и бумага на пластинѣ второй станціи остается бѣлой. Такимъ образомъ, на пріемной станціи депеша получается написанной бѣлымъ шрифтомъ на синемъ фонѣ. Штифты обоихъ аппаратовъ должны двигаться точно синхронно, что при средствахъ современной техники достигается легко. Такой телеграфъ былъ установленъ для общаго пользованія между Парижемъ и Ліономъ, однако, вскорѣ былъ упраздненъ, такъ какъ къ нему обращались слишкомъ мало.

Изъ новѣйшихъ аппаратовъ слѣдуетъ упомянуть о телаутографѣ Корна, изображенномъ на черт. 599. Здѣсь I означаетъ станцію отправленія, II—пріемную станцію, соединенную съ первой проводомъ L. Аппараты обѣихъ станцій приводятся во вращеніе электромоторами M_1 и M_2, причемъ предусмотрѣно приспособленіе, обезпе-

Черт. 599.



чивающее строго синхронное вращеніе. Письмо, либо рисунокъ, предназначенные для передачи, наносятся хроможелатиновымъ способомъ на металлическую фольгу; при этомъ свѣтлыя части выгораютъ и остаются покрытыми непроводящимъ желатиномъ, темныя же части письма или рисунка не измѣняютъ металла фольги. Фольга эта навертывается на вращающійся валикъ R, при вращеніи котораго его касается

штифтъ S, передвигающійся въ то же время вдоль образующей валика. Отъ батареи E токъ идетъ къ штифту S, оттуда черезъ валикъ въ землю; другой полюсъ батареи соединенъ съ рабочимъ проводомъ, ведущимъ къ пріемной станціи. (На черт. показано полное устройство, объяснено же лишь самое существенное). На пріемной станціи приходящіе токи вызываютъ освѣщеніе вращающейся фотографической пластинки; при перерывахъ тока пластинка не освѣщается—или наоборотъ. Свѣточувствительная пленка наворачивается на валикъ R, вращающійся и въ то же время передвигающійся вдоль оси; черезъ объективъ O на валикъ направляется тонкій лучъ свѣта отъ лампы Нернста. Свѣтовое пятно описываетъ, слѣдовательно, на валикѣ спираль, прерывающуюся лишь при прерывахъ тока. Для послѣдней цѣли служитъ такъ называемое свѣтовое релэ G. Состоитъ оно изъ струннаго гальванометра (стр. 224), на нити котораго прикрѣплено непрозрачное крылышко. Когда со станціи отправленія идетъ токъ черезъ гальванометръ, крылышко поворачивается и открываетъ отверстіе для свѣта лампы Нернста. При прекращеніи тока отверстіе закрывается. Такимъ образомъ, темныя проводящія мѣста на передатчикѣ воспроизводятся на пріемникѣ также чернымъ.

При передачѣ на разстояніе фотографій по системѣ Корна, когда желательно передать и переходныя отъ темнаго къ свѣтлому полутѣни, пользуются въ аппаратѣ отправленія свойствомъ селена измѣнять свою проводимость въ зависимости отъ измѣненія степени освѣщенія.

Помимо цѣлей собственно телеграфныхъ, огромная скорость, съ которою можно электрическимъ путемъ передавать на разстояніе сигналы и отпускать движенія, привела къ цѣлому ряду примѣненія телеграфа для самыхъ различныхъ цѣлей. Въ особенности широко воспользовались телеграфіей въ желѣзнодорожномъ дѣлѣ, частью для подачи сигналовъ, частью же для того, чтобы въ опредѣленное время автоматически выполнить извѣстный маневръ. Также и на большихъ судахъ команда передается всему персоналу съ капитанскаго мостика всегда электрическимъ путемъ. Однако, всѣ эти безчисленныя примѣненія выходятъ уже изъ рамокъ данной книги.

ГЛАВА XIV.

Телефонъ и микрофонъ.

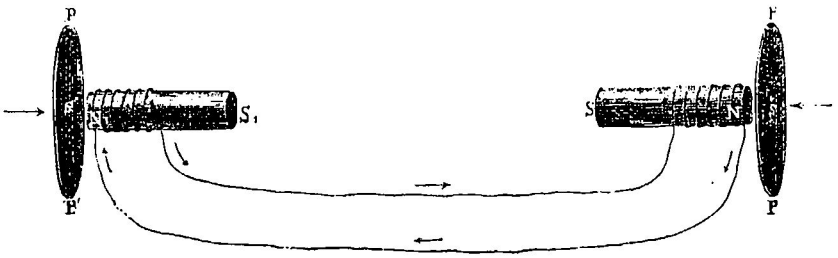
Телеграфія давно уже удовлетворяетъ потребности людей въ сообщеніи, позволяя передавать различныя вѣсти отъ одного лица къ другому быстро и на какое угодно разстояніе; при этомъ, однако, требуются посредники, обращающіе слова въ телеграфные знаки и обратно—знаки въ слова. Но это ограниченіе пало съ изобрѣтеніемъ телефона, который передаетъ на далекое разстояніе самые звуки человѣческаго голоса, позволяетъ дѣйствительно говорить вдаль и слышать издалека.

Телефонъ въ томъ видѣ, въ какомъ онъ за немногіе послѣдніе года вдругъ сталъ однимъ изъ важнѣйшихъ средствъ человѣческаго общенія, представляетъ собою чудеснѣйшій приборъ изъ всѣхъ извѣстныхъ въ физикѣ, тѣмъ болѣе удивительный, что конструкція его необыкновенно проста, и что физическіе законы, лежащіе въ основѣ его дѣйствія, всѣ давно извѣстны и постоянно примѣнялись. Честь изобрѣтенія телефона принадлежитъ американцу, Грэгэму Беллю. Давно уже дѣлались попытки передавать на большія разстоянія звуки помощью электричества; такъ напримѣръ, Филиппъ Рейсъ въ 1860 г. построилъ телефонъ, который электрическимъ способомъ передавалъ слова и музыку; но лишь при томъ простомъ устройствѣ, какое придалъ телефону Белль, этотъ приборъ нашелъ себѣ практическое примѣненіе.

Итакъ, задача телефоніи состоитъ въ томъ, чтобы передать электрическимъ путемъ звуки и слова на значительное разстояніе. Звуки суть не что иное, какъ колебанія частицъ звучащаго тѣла, и представляютъ собою, значитъ, извѣстный родъ движенія. Слѣдовательно, задача передать звуки представляетъ собою частный случай задачи о томъ, какъ передать электрическимъ способомъ движеніе на разстояніе. Въ одномъ мѣстѣ, на одной станціи, нѣкоторое тѣло приводится въ колебательное движеніе; это движеніе должно возбуждать электрическіе токи, которые будутъ проведены на другую станцію, чтобы тамъ воспроизвести колебательное движеніе, произвесть

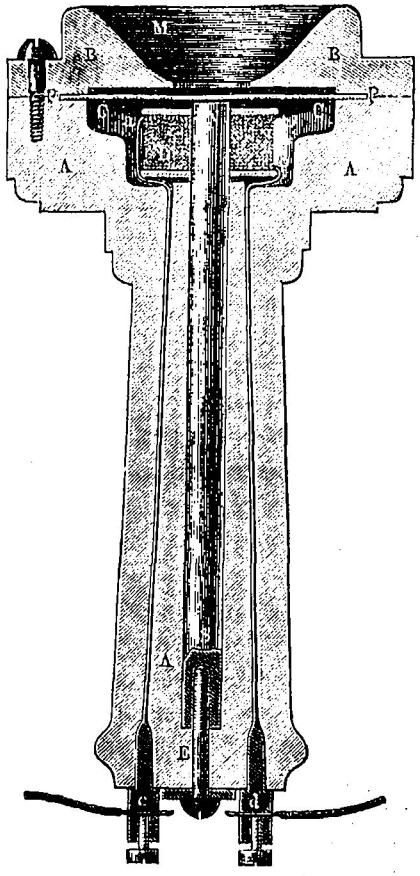
звукъ; электрическая энергія на этой станціи вновь обращается въ энергію движенія.

Черт. 600.



Мы уже на стр. 252 узнали въ главныхъ чертахъ, какимъ путемъ Белль разрѣшилъ эту задачу, пользуясь самыми простыми пріемами. На каждой изъ двухъ станцій находится по стальному магниту, обмотанному проволочной катушкой (черт. 600). Обѣ катушки соединены между собою такъ, что образуютъ замкнутую цѣпь. Передъ каждымъ изъ этихъ постоянныхъ магнитовъ находится по тонкой пластинкѣ изъ мягкаго желѣза въ очень близкомъ разстояніи отъ полюса — закрѣпленной на краяхъ. Эти пластинки, вслѣдствіе близости магнитовъ, сами временно намагничены. Какъ только одна изъ этихъ пластинъ хотя немного выгнется къ своему магниту, ея магнитизмъ вызоветъ въ катушкѣ, надѣтой на магнитъ, индукціонный токъ въ нѣкоторомъ опредѣленномъ направленіи. Этотъ токъ направится по проводу къ магниту второй станціи, пройдетъ по обмоткѣ этого магнита въ должномъ направленіи, и вслѣдствіе этого магнитъ усилится; сдѣлавшись болѣе сильнымъ, онъ притянетъ къ себѣ стоящую передъ нимъ

Черт. 601.



желѣзную пластинку, и она выгнется также къ своему магниту, т. е. исполнитъ то же самое движеніе, что и пластинка первой станціи.

Подобное же произойдетъ и тогда, если пластинка первой станціи немного отойдетъ отъ своего магнита. Въ этомъ случаѣ и вторая пластинка отойдетъ отъ своего магнита, повинуясь дѣйствію индукціоннаго тока. Такимъ образомъ, если первая пластинка колеблется взадъ и впередъ, то и вторая исполняетъ въ точности тѣ же самыя движенія.

По этой именно схемѣ и построенъ телефонъ Гр. Белля, изображенный на черт. 601. Въ деревянной трубкѣ находится стальной магнитъ NS, на сѣверный полюсъ котораго надѣта катушка D изъ весьма тонкой проволоки. Очень близко къ этому полюсу, однако не касаясь его, находится тонкая пластинка C изъ мягкаго желѣза, закрѣпленная своими краями PP между частями деревянной трубки. Устье трубки имѣетъ отверстіе, которое обнажаетъ верхнюю часть желѣзной пластины, такъ что можно на нее говорить или пѣть. Каждый звукъ приводитъ пластинку въ дрожаніе, и это дрожаніе передается помощью электричества по проволочной линіи, до отдаленной станціи и производитъ тамъ такое же дрожаніе, такой же тонъ.

Черт. 602.



Въ каждомъ тонѣ мы различаемъ три качества: его высоту, силу и оттѣнокъ. Высота и сила могутъ быть, конечно, переданы телефономъ. Дѣйствительно, высота зависитъ лишь отъ числа колебаній пластинки въ секунду. Каждое колебаніе производитъ соотвѣтственный ему токъ, и число этихъ индукціонныхъ токовъ въ точности равно числу колебаній. Отъ силы звука, произнесеннаго или напѣтаго въ телефонъ, зависитъ большее или меньшее выгибаніе пластинки. Болѣе сильный звукъ заставитъ ее бо́льше выгибаться и на большую величину приблизиться къ магниту или удалиться отъ него, а, слѣдовательно, и индуктированные токи будутъ сильнѣе. Такимъ образомъ, телефонъ передаетъ всякое измѣненіе въ силѣ или высотѣ производимаго передъ нимъ звука, но онъ можетъ дать еще нѣчто бо́льшее. У каждаго даннаго звука есть еще третье качество — оттѣнокъ (тембръ), характеризующій его между звуками той же высоты; такъ звуки человѣческаго голоса имѣютъ другой оттѣнокъ, чѣмъ звуки скрипки или духового инструмента. Различіе оттѣнковъ, послѣ знаменитыхъ изслѣдованій Гельмгольца, объясняютъ тѣмъ, что каждый звукъ состоитъ не изъ одного какого-либо колебанія, но его основ-

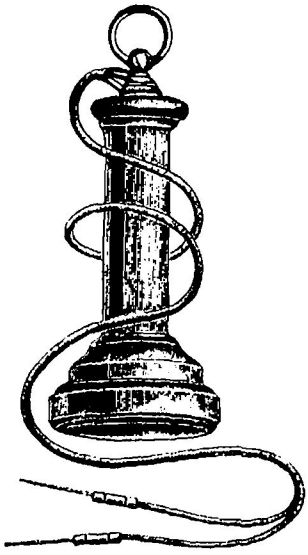
ное колебаніе сопровождается цѣлымъ рядомъ другихъ колебаній, періоды которыхъ являются простыми кратными періода основного тона. Высота даннаго звука опредѣляется числомъ колебаній основного тона. Но каждая частица исполняетъ еще большое число колебаній съ разными періодами, которыя Гельмгольцъ назвалъ обертонами: эти-то колебанія и придаютъ звуку тотъ или иной оттѣнокъ. Въ одной какой-нибудь нотѣ можетъ быть много такихъ обертоновъ, въ другой — меньше; въ рядѣ обертоновъ нѣкоторые могутъ недоставать, нѣкоторые быть сильнѣе другихъ; всѣ эти детали могутъ быть сохранены и при телефонной передачѣ звука. Дѣйствительно, если какая-нибудь частица колеблется не простымъ колебаніемъ, но сложнымъ, то съ бо́льшею, то съ меньшею амплитудою, то тише, то скорѣе, — совершенно аналогично съ этими измѣненіями будетъ измѣняться и индуктированный токъ, а потому и желѣзная пластинка второй станціи исполнитъ то же самое сложное колебаніе; но это колебаніе передается и окружающему воздуху, и, слѣдовательно, у телефоннаго пріемника мы услышимъ звуки и слова той же высоты, того же оттѣнка и соотвѣтственной силы.

Мы сказали: соотвѣтственной силы, ибо сила звука, приходящаго на пріемную станцію, окажется по необходимости гораздо меньшею, чѣмъ сила звука, произнесеннаго передъ телефономъ-передатчикомъ. Вѣдь на счетъ энергіи колеблющагося воздуха должна притти въ дрожаніе желѣзная пластина; при этомъ потратится уже большая часть энергіи. При превращеніи механической энергіи въ электрическую происходитъ новая потеря; обратное превращеніе служитъ источникомъ еще новой потери энергіи. Отсюда понятно, что звукъ, производимый послѣ столькихъ преобразованій на второй станціи, долженъ быть гораздо болѣе слабымъ, чѣмъ передаваемый, если только не будутъ примѣнены особые пріемы для его усиленія.

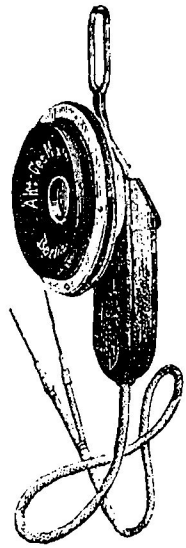
Впрочемъ, несмотря на многочисленныя потери, помощью даже самаго простого телефона Белля пѣніе и рѣчь могутъ быть передаваемы весьма отчетливо. При этомъ телефоны станцій отправленія и назначенія устраиваются совершенно одинаково. Каждый телефонъ можетъ служить, какъ слушающій пріемникъ, и какъ звучащій аппаратъ. Чѣмъ больше разстояніе между обѣими станціями, тѣмъ больше сопротивленіе проводовъ, тѣмъ меньше сила тока и слабѣе дѣйствіе телефона. По этой причинѣ беллевское устройство пригодно лишь для короткихъ линій, не превосходящихъ нѣсколькихъ сотъ метровъ. Тѣмъ не менѣе телефонъ Белля непреложно доказываетъ возможность передать звуки электрическимъ способомъ; нужно лишь усилить его дѣйствіе. Простѣйшимъ средствомъ къ этому является помѣщеніе въ телефонной трубкѣ не стержня магнитнаго, но подковообразнаго магнита, какъ показано на черт. 602. Полюса магнита снабжаются

наконечниками, подходящими очень близко одинъ къ другому; на нихъ надѣты проволочныя катушки *bb*, навитыя въ такомъ направленіи, что возбуждающіеся въ нихъ въ одно и то же время противоположные токи усиливаютъ другъ друга. Магнитъ закрѣпляется въ своей нижней части помощью винта *d*, посредствомъ котораго онъ можетъ быть приближаемъ къ пластинкѣ или удаляемъ отъ нея, и такимъ образомъ устанавливается въ такое положеніе, чтобы оказывать наибольшее дѣйствіе. Черт. 603 представляетъ внѣшній видъ телефона съ подковообразнымъ магнитомъ.

Черт. 603.

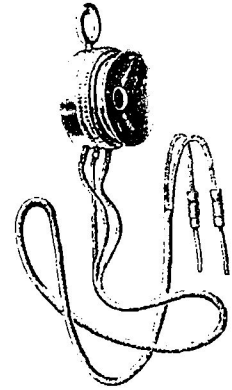


Черт. 604.



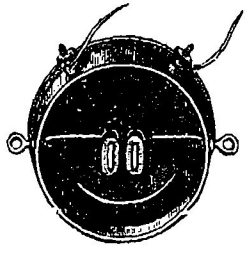
Подковѣ магнита придаютъ разнообразныя формы съ цѣлью сдѣлать телефонъ болѣе удобнымъ для держанія. Такъ, напр.,

Черт. 605.



въ ложкообразномъ телефонѣ (черт. 604) полюсные наконечники съ катушками прикрѣплены перпендикулярно къ магниту, такъ что колеблющаяся пластинка и слуховая раковина параллельны самой ручкѣ. Въ ящичныхъ (круглыхъ) телефонахъ (черт. 605) магнитъ имѣетъ форму полукруга, вложеннаго въ ящичекъ; его полюса загнуты подъ прямымъ угломъ къ нему и обращены къ крышкѣ ящика, какъ это видно на черт. 606, изображающемъ ящикъ со снятою крышкою. Чтобы можно было, не прикладывая уха къ телефону, слышать разговоръ съ любого мѣста комнаты, телефонъ снабжаютъ рупоромъ. На черт. 607 изображенъ такъ называемый стентортелефонъ фирмы Миксъ и Генестъ въ Берлинѣ. Собственно телефонъ заключенъ въ ящичкѣ.

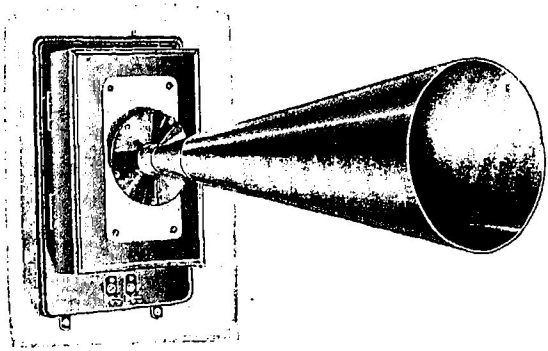
Чэрт. 606.



Въ первое время устройства телефонныхъ

сообщеній пріемниками и передатчиками служили тождественные приборы. Токи, возбужденные индукціею въ одномъ телефонѣ, приводили въ дѣйствіе второй. При такомъ телефонѣ не нужна особая батарея, токи возбуждаются самими звуками. Энергія звука, сообщаясь первому телефону, превращается въ электрическую энергію, а эта послѣдняя снова въ энергію звука. Потери энергіи, происходящія при этихъ преобразованіяхъ, являются причиной значительнаго ослабленія звука, получаемаго у второго телефона.

Черт. 607.

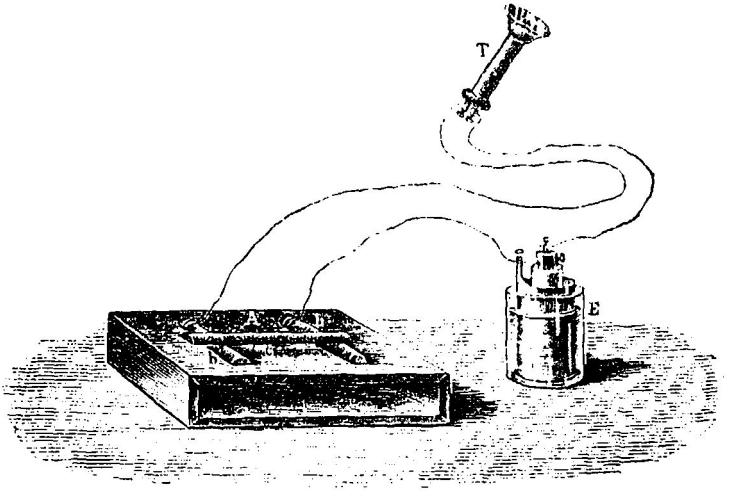


Для дѣйствія телефона необходимо лишь то, чтобы передаваемый звукъ производилъ періодическія колебанія силы тока, которыя съ помощью магнита и производятъ періодическія движенія. При простомъ телефонѣ произносимыя слова не только производятъ измѣненія въ силѣ тока, но и служатъ причиною его возникновенія. Это, очевидно, излишне. Если токъ уже заранѣе посланъ въ цѣпь, напр., отъ батареи, то рѣчь и пѣніе вызовутъ лишь колебанія въ силѣ тока, и эти колебанія можно съ помощью другого телефона обратить снова въ звуки. Это и была новая идея, которую Юзъ положилъ въ основу изобрѣтеннаго имъ микрофона. Періодическія колебанія тока Юзъ получаетъ помощью непостояннаго контакта угольныхъ стержней.

Электрическое сопротивленіе угля, какъ мы знаемъ уже, очень велико. Но мы видѣли также (стр. 94), что это сопротивленіе весьма значительно мѣняется при давленіи. Идея Юза заключалась въ томъ, чтобы заставить звуковыя колебанія приводить два угольныхъ стерженька, которые едва касаются, то въ болѣе тѣсное, то въ менѣе тѣсное соприкосновеніе; если при этомъ черезъ стерженьки проходитъ токъ, то измѣненіе въ тѣсности ихъ соприкосновенія вызоветъ весьма значительныя колебанія въ силѣ этого тока. Можно легко убѣдиться, что уже ничтожныя измѣненія въ давленіи одного угля на другой вызываютъ значительныя колебанія тока, и что этимъ можно заставить телефонъ громко звучать. Черт. 608 изображаетъ постановку такого опыта. Отъ элемента E токъ направляется черезъ уголь b въ положенный сверху легкій уголь c и затѣмъ, пройдя другой уголь b, проходитъ по катушкамъ телефона и возвращается къ элементу. Пока угольный стерженекъ c лежитъ совершенно непо-

движно на *b*, то, конечно, не слышно никакого звука, такъ какъ сила тока остается неизмѣнной. Но даже самое слабое движеніе *c*, напр. то, которое произойдетъ, если по ящику *A* ползетъ муха, вызоветъ тотчасъ же рѣзкія колебанія въ силѣ тока, вслѣдствіе которыхъ

Черт. 608.

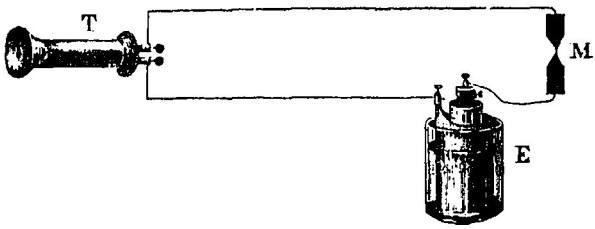


магнитъ будетъ то усиливаться, то ослабляться, и въ телефонѣ будетъ слышаться громкій шумъ. Приборъ, состоящій изъ двухъ нескрѣпленныхъ соприкасающихся углей, установленныхъ на звучащей пластинѣ, и называютъ микрофономъ.

Этотъ приборъ, дѣйствительно, приводитъ къ простому способу произвести въ телефонѣ очень значительныя колебанія силы тока. Для этого нужно лишь послать токъ отъ элемента черезъ телефонъ и микрофонъ и затѣмъ говорить въ микрофонъ; телефонъ воспроизведетъ рѣчь весьма громко. При такомъ устройствѣ, очевидно, на одной станціи долженъ находиться микрофонъ, на другой—телефонъ. Мы видимъ, что между телефонными системами Юза и Белля имѣются двѣ отличительныя черты. На беллевской телефонной линіи говорящій и слушающій пользуются двумя одинаковыми приборами. Передатчикъ и пріемникъ—оба суть простые телефоны. При юзовской системѣ передатчикомъ служитъ уже не телефонъ, но микрофонъ. Второю отличительною чертою является то, что въ системѣ Белля не употребляются гальваническіе элементы. Звуками рѣчи въ первомъ телефонѣ возбуждаются индукціонные токи, приводящіе въ дѣйствіе второй телефонъ. По схемѣ Юза, наоборотъ, микрофонъ долженъ находиться въ цѣпи тока, идущаго отъ элемента. Рѣчь дѣлаетъ лишь то, что сила уже существующаго тока извѣстнымъ образомъ увеличивается или уменьшается.

Черт. 609 показываетъ схему соединеній, необходимыхъ для дѣйствія микрофона Юза. Токъ отъ элемента *E* станціи отправленія направляется черезъ микрофонъ *M* той же станціи по проводамъ на

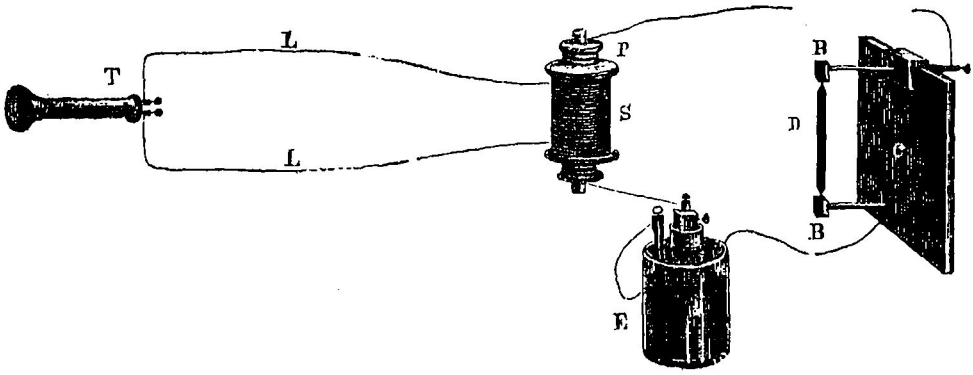
Черт. 609.



вторую станцію и, пройдя по катушкамъ ея телефона *T*, возвращается по другому проводу къ *E* первой станціи. При этомъ по телефону второй станціи всегда протекаетъ токъ, посылаемый элементомъ *E* въ провода линіи.

Но можно телефонъ станціи назначенія не включать въ цѣпь элемента; это оказывается даже болѣе выгоднымъ для дѣйствія телефона. При такомъ расположеніи токъ отъ элемента, мѣняющій свою силу при дѣйствіи микрофона, не посылается прямо въ катушку телефона, но въ первичную обмотку индукціонной катушки; возбуждаемые при этомъ токи во вторичной катушкѣ пропускаютъ затѣмъ черезъ телефонъ. Итакъ, токъ отъ элемента *E* первой станціи (черт.

Черт. 610.

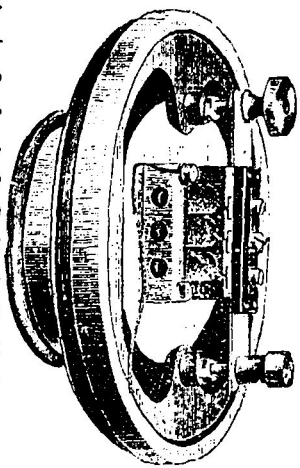


610) протекаетъ черезъ микрофонъ *BDB* и затѣмъ по первичной обмоткѣ *P* катушки, находящейся на той же станціи, возвращается въ элементъ *E*. Вокругъ первичной обмотки имѣется вторичная обмотка *S*; въ ней возбуждаются индукціонные токи, проходящіе по линіи *L*, въ которую включенъ телефонъ *T* второй станціи. Токи, индуктированные въ *S*, входятъ на станцію назначенія и заставляютъ пріемный телефонъ производить звуки.

Первый микрофонъ Юза состоялъ просто изъ резонирующей пластинки, на которой, какъ показано на черт. 610, были укрѣплены двѣ угольныя палочки, имѣвшія небольшія углубленія въ двухъ мѣстахъ; въ эти-то углубленія и вставлялся свободно угольный стерженекъ. Если передъ такою резонирующею пластинкою кто-нибудь говорилъ, то угли приходили въ дрожаніе, и телефонъ второй станціи воспроизводилъ слова. При этомъ говорящему совсѣмъ не нужно было повышать голоса, онъ могъ говорить въ микрофонъ обыкновеннымъ голосомъ и даже съ нѣкотораго разстоянія, и его слова передавались за нѣсколько миль.

Различные конструкторы измѣняли на разные лады этотъ простѣйшій угольный микрофонъ Юза; большинство примѣняло и примѣняетъ еще и теперь вмѣсто одного подвижного угольнаго стерженька нѣсколько. Подобные микрофоны называются стержневыми. Къ нимъ принадлежитъ и принятый прежде на нѣмецкихъ казенныхъ телефонныхъ линіяхъ, изображенный на черт. 611 съ задней стороны. Онъ состоитъ изъ круглаго ящика, закрытаго спереди деревянною пластиною, къ которой прикрѣплена говорная воронка. Внутри ящика находятся два вертикальныхъ угольныхъ стержня, каждый съ тремя отверстіями, сквозь которыя и просовываются три угольныя палочки. Эти палочки прижимаются къ деревянной пластинкѣ тонкими пружинами; токъ отъ элемента подводится къ угольнымъ стержнямъ.

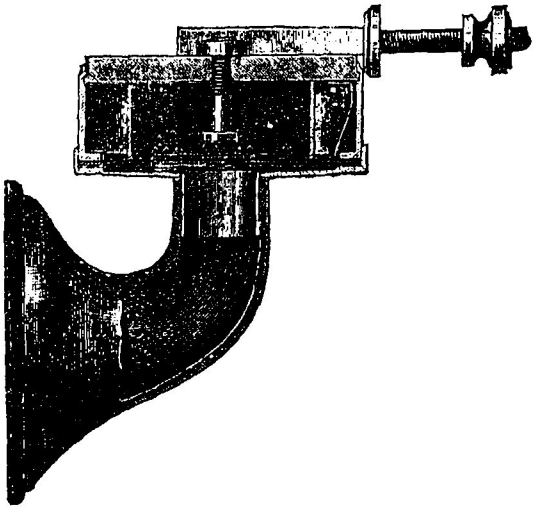
Черт. 611.



Чѣмъ болѣе подвижными являются угли въ мѣстѣ своего соприкосновенія, тѣмъ больше колебанія силы тока, производимыя звуками голоса, и тѣмъ громче будутъ звуки, передаваемые телефономъ, а, слѣдовательно, тѣмъ на большее разстояніе можно будетъ разговаривать. Исходя изъ этой мысли, Гуннингсъ устроилъ микрофонъ (1878 г.), состоящій изъ большого числа угольныхъ коксовыхъ зернышекъ. Послѣ этого было придумано много микрофоновъ съ угольными зернами, причемъ вниманіе всѣхъ изобрѣтателей было обращено на удаленіе одного вреднаго обстоятельства, присущаго телефонамъ этого рода. А именно, угли въ мѣстахъ соприкосновенія вслѣдствіе разогрѣванія токомъ спекаются, контакты претерпѣваютъ измѣненія, и колебанія въ силѣ тока становятся очень незначительными. Между тѣмъ основою дѣйствія микрофона является хорошее состояніе и неизмѣнность контактовъ.

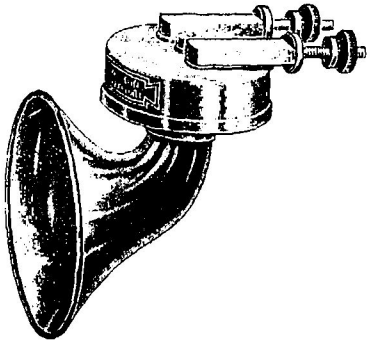
Самыми распространенными микрофонами съ зернами были въ

Черт. 612.



свое время универсальные передатчики Берлинера. Черт. 612 представляетъ этотъ микрофонъ въ сѣченіи. Угольныя зерна, приготовленныя особымъ образомъ, заполняютъ узкое пространство между мембраною, приготовленною тоже изъ угля, и зазубренною нижнею поверхностью куска угля. Вся эта система, т. е. пространство, заполненное угольными зернами, заключенное между кускомъ угля и мембраной, окружено кольцомъ изъ мягкаго матеріала. Очень важно то обстоятельство, чтобы угольная мембрана была направлена книзу. Чтобы было удобно говорить и при этомъ заставлять пластину сильно дрожать, къ ней прикрѣпленъ согнутый рупоръ изъ лакированной бумажной массы. Этотъ универсальный передатчикъ приводится въ дѣйствіе отъ пяти элементовъ Лекланше и позволяетъ слышать рѣчь, а особенно музыку, громко и ясно отовсюду въ большой комнатѣ; общій видъ его изображаетъ черт. 613.

Черт. 613.

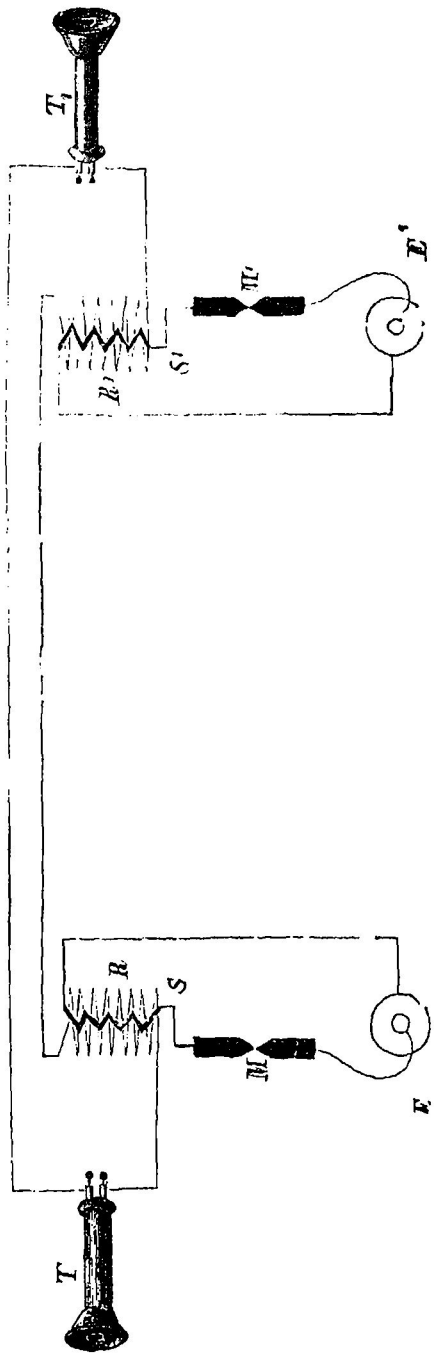


Приблизительно въ томъ же родѣ устройство зернистыхъ микрофоновъ Сименса и Гальске и Микса и Генеста, которые введены въ настоящее время на нѣмецкихъ казенныхъ телефонныхъ линіяхъ. Горизонтальное положеніе угольной мембраны при этомъ уже необязательно, такъ какъ простымъ поворотомъ коробки, содержащей угольный порошокъ, можно устранить спеканіе.

Итакъ, при пользованіи микрофономъ, необходимы два отдѣльные прибора: для передаванія звуковъ микрофонъ и для слушанія—телефонъ. На каждой станціи должны находиться телефонъ, микрофонъ, элементъ для дѣйствія этого послѣдняго и двѣ индукціонныя катушки. Соединенія производятся такимъ образомъ, чтобы на каждой станціи батарея съ принадлежащимъ ей микрофономъ и первичною

катушкою составляли одну цѣпь, оба же телефона съ ихъ вторичными катушками соединяются проводами линіи. На черт. 614 первичныя катушки напечатаны черно, вторичныя—тонко. Способъ соединенія ясенъ изъ самаго чертежа. M,M_1 представляютъ микрофоны, E,E_1 соотвѣтственныя батареи, T,T_1 — оба телефона, S,S_1 и R,R_1 первичныя и вторичныя катушки, изъ которыхъ послѣднія соединены между собою прямымъ и обратнымъ проводами.

Черт. 614.



Однако, нѣтъ надобности употреблять проволоку для обратнаго провода; послѣ открытія Штейнгейля, объясненнаго въ предыдущей главѣ, можно пользоваться землею, какъ обратнымъ проводомъ. Слѣдуетъ лишь одинъ конецъ каждой вторичной катушки соединить съ линіей, а другой съ телефономъ и землею, и тогда понадобится лишь одинъ проводъ, что приводитъ къ сбереженію матеріала и удешевленію установки. Въ настоящее время, однако, для обратнаго провода берутъ въ большинствѣ случаевъ также проволоку.

Для гальванической батареи въ цѣпь микрофона обыкновенно берутъ элементы Лекланше; они достаточно сильны, долго держатся и дешевы.

Въ то время, когда телефонъ и микрофонъ бездѣйствуютъ, очевидно, лучше, если цѣпь батареи разомкнута; тогда батарея будетъ дольше служить. Это достигается автоматическими вы-

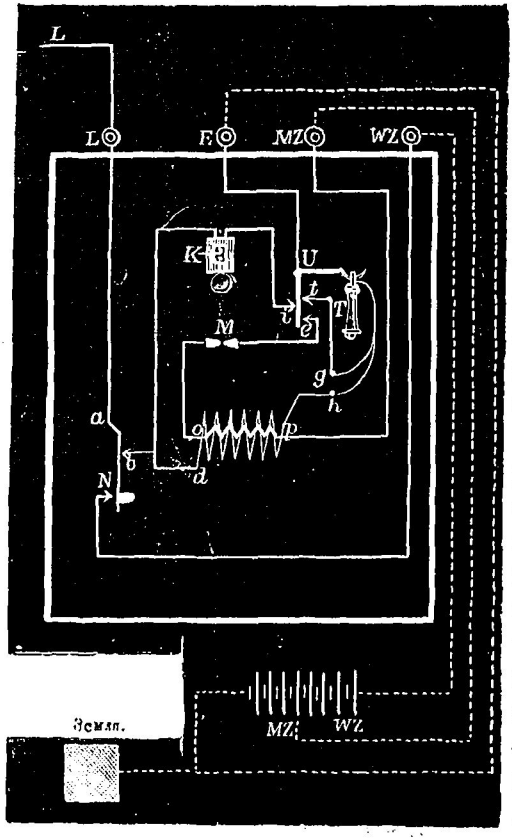
ключателями. Телефонъ, по окончаніи переговора, подвѣшивается на крючокъ, и слѣдствіе этого микрофонная цѣпь прерывается.

Этимъ самымъ производится еще одно соединеніе, а именно съ электрическимъ звонкомъ, который приводится въ дѣйствіе либо особой батареей, либо небольшою магнито-электрическою машиною съ якоремъ, вращаемымъ особой рукояткой. На станціи отправленія нажимаютъ кнопку и этимъ замыкаютъ цѣпь, въ которую включенъ звонокъ другой станціи. Токъ, необходимый для дѣйствія звонка, возбуждаютъ вращеніемъ индуктора; этимъ и подается сигналъ на станцію назначенія. Какъ только на этой станціи вызываемое лицо приставитъ телефонъ къ своему уху, разговоръ можетъ вестись съ помощью микрофона и телефона.

Такимъ образомъ схема соединеній должна быть такою, чтобы исполнять слѣдующія дѣйствія въ ихъ порядкѣ:

1) Замкнуть цѣпь, въ которую включены батарея или индукторъ первой станціи и звонокъ второй, причемъ ни микрофонъ, ни телефонъ не должны быть включены въ нее.

Черт. 615.



2) Разомкнуть эту цѣпь и вмѣстѣ съ тѣмъ на обѣихъ станціяхъ замкнуть цѣпи микрофоновъ съ ихъ батареями и въ то же самое время ввести въ сообщеніе телефоны.

Всѣ эти соединенія должны быть выполняемы такъ, чтобы не представлялось затрудненій на практикѣ, и чтобы они могли быть производимы всякимъ необученнымъ лицомъ, необладающимъ знаніями по физикѣ.

Одно изъ устройствъ, удовлетворяющихъ этому требованію, примѣненное на многихъ телефонныхъ линіяхъ, изображено на черт. 615. На чертежѣ предполагается, что токъ для звонка получается не отъ индуктора, но отъ батареи. Для случая индуктора схема была бы совершенно подобною. *T* обозначаетъ телефонъ, *M*—микрофонъ, *K*—

звонокъ, *op* первичная и *dh* вторичная обмотки индукціонной катушки; здѣсь же изображена кнопка, телефонный крючекъ съ необходимыми соединительными проводами; все заключено въ шкафикъ, очерченный толстой чертой. Подъ нимъ изображена батарея, положительный полюсъ которой (уголь) соединенъ съ землей, тогда какъ послѣдняя цинковая пластинка и одна изъ среднихъ цинковыхъ пластинокъ соединены съ зажимами *WZ* и *MZ* у верхней части шкафика. Другіе зажимы, *E* и *L* ведутъ одинъ въ землю, другой—къ проводу на пріемную станцію.

Сначала телефоны *T* на обѣихъ станціяхъ висятъ на ломанныхъ рычагахъ, могущихъ вращаться вокругъ точки *U*. Вѣсъ телефона устанавливаетъ рычагъ въ такомъ положеніи, что соединенія въ *l* и *e*, принадлежащія цѣпи микрофона и телефона, прерваны. Въ то же время устанавливается соединеніе рычага *U* съ контактомъ *i* и отсюда, черезъ звонокъ *K*, съ точкой *b*, къ которой прижимается пружинка *a*, если только она не нажата кнопкой. Если же кнопку нажать, то произойдетъ соединеніе съ *N*; такимъ образомъ, пока кнопка нажата, токъ идетъ отъ полюса *WZ* батареи черезъ *WZ*, *N* въ проводъ *L* и *a* слѣдующей станціи (на которой телефонъ тоже виситъ на своемъ крючкѣ) и затѣмъ черезъ *b* (такъ какъ тамъ кнопка не нажата) къ *K* этой станціи, черезъ *i*, *U*, *E* въ землю и черезъ землю обратно на первую станцію.

Вслѣдствіе такого соединенія звонокъ второй станціи подаетъ сигналъ, тогда какъ черезъ телефонъ и микрофонъ не проходитъ никакого тока.

Такимъ образомъ, первое требованіе исполнено, звонокъ станціи назначенія звонитъ, черезъ телефоны же и микрофоны никакого тока не проходитъ.

Затѣмъ на обѣихъ станціяхъ телефоны снимаются съ крючковъ, и этимъ прерывается цѣпь въ *i*; звонки являются выключенными.

Напротивъ того, *t* и *e* соединяются рычагомъ между собою, а черезъ *U*—съ землею. Вслѣдствіе этого микрофоны приводятся въ соединеніе со своими батареями и въ то же время телефоны включаются въ линію *L*. Дѣйствительно, токъ идетъ отъ полюса *MZ* къ первичной катушкѣ *po*, а оттуда черезъ микрофонъ *M*, черезъ *e*, *U* и *E* въ землю, съ которою соединенъ и второй полюсъ батареи. Въ то же самое время отъ вторичной катушки индуктированные токи идутъ чрезъ *h*, *d*, *b*, *a* въ проводъ *L* къ точкѣ *b* второй станціи, откуда черезъ *d* къ тамошней вторичной катушкѣ, а затѣмъ черезъ *h* къ тамошнему телефону *T*, чрезъ *g*, *t*—въ землю. По землѣ токъ возвращается къ земной пластинѣ первой станціи, черезъ *t*, въ телефонъ *T* этой станціи и, наконецъ, во вторичную катушку.

Такимъ образомъ, все происходитъ, какъ имѣлось въ виду. Зво-

ноκъ даетъ сигналъ, не дѣйствуя на телефонъ, телефонъ съ микрофономъ дѣйствуютъ, не замыкая цѣпи звонковой батареи. Нужно лишь нажать на кнопку или повертѣть ручку индуктора, снять телефонъ съ крючка и начать разговоръ.

Для усиленія передаваемыхъ звуковъ нерѣдко устанавливаютъ на каждой станціи по два телефона, включенныхъ паралелльно или послѣдовательно.

Обыкновенно современный телефонный аппаратъ состоитъ изъ шкафика, на которомъ укрѣплены: микрофонъ и звонокъ, тогда какъ телефонъ подвѣшивается на крючкѣ, представляющемъ конецъ упомянутаго выше рычага. Внутри шкафика помѣщаются элементы и приспособленія для соединенія и размыканія цѣпей помощью рычага, на которомъ подвѣшенъ телефонъ. Если звонковая цѣпь оборудована индукціоннымъ токомъ, то индукторъ также помѣщается въ ящичкѣ; для его вращенія наружу выпускается рукоятка. Каждый телефонный шкафикъ имѣетъ четыре зажимныхъ винта, носящихъ обозначенія *WZ* (цинкъ для звонка), *MZ* (цинкъ для микрофона) и *L* (линія). Батарея звонковая должна быть больше микрофонной, поэтому для послѣдней отдѣляется отъ полной батареи нѣсколько элементовъ; уголь батареи соединенъ съ землею, какъ показано на черт. 615. На современныхъ установкахъ всѣ батареи устанавливаются на центральныхъ станціяхъ, у абонента же помѣщается небольшой аппаратъ, состоящій изъ телефона, микрофона и звонка (см. черт. 616).

Черт. 616.



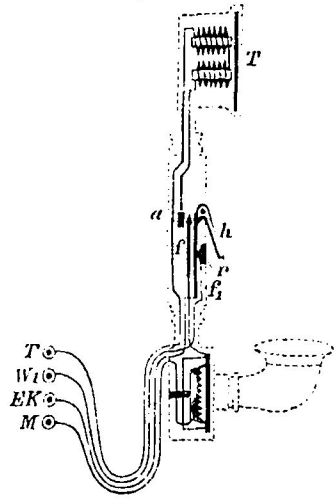
Чтобы сдѣлать пользованіе микрофономъ и телефономъ болѣе удобнымъ, стали устраивать приборы, соединяющіе въ себѣ микрофонъ съ теле-

Черт. 617.



фономъ, которые можно поставить на письменный столъ, или ночной столикъ и т. п. Подобный микротелефонъ изображенъ на черт. 617, а черт. 618 позволяетъ разобрать его соединенія. Особенность его устройства заключается въ томъ, что онъ позволяетъ одновременно держать телефонъ около уха, а микрофонъ у рта. Черт. 619 изображаетъ подобный же столовый телефонъ съ подставкою, на которой имѣется еще звонокъ и принадлежащая къ нему кнопка. Четыре провода, идущіе отъ микрофона, соединяются въ одинъ проводящій шнуръ, ведущій къ стѣнной розеткѣ, откуда уже идутъ провода въ батарею, въ землю и въ линію. На ящикѣ столоваго аппарата (черт. 619) имѣется еще 10 контактовъ, по которымъ ходитъ контактный ключъ; они образуютъ небольшой линейный коммутаторъ, о которомъ будетъ сказано ниже.

Черт. 618.



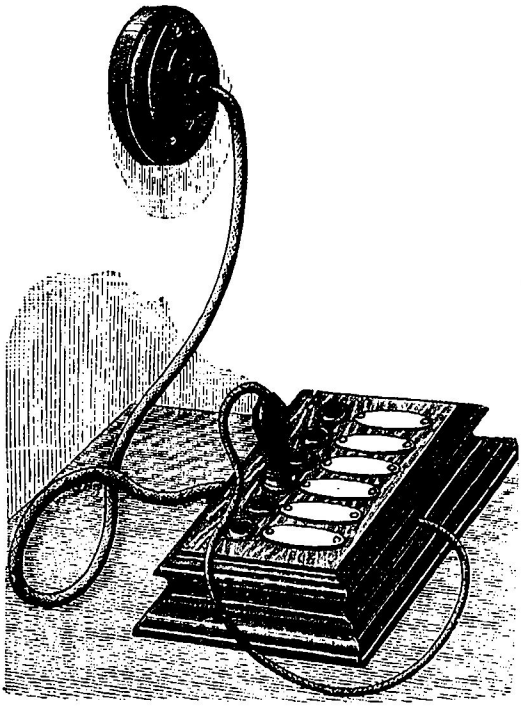
Черт. 619.



Устройства для соединенія двухъ станцій, конечно, различны, смотря по числу различныхъ соединеній, которыя могутъ быть желательны, и по разстоянію между станціями. Наиболѣе цѣлесообразными

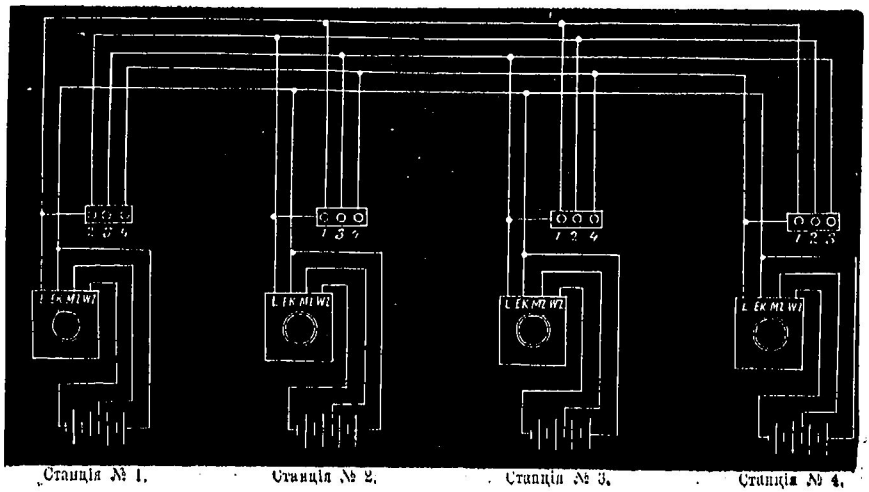
оказались различныя схемы, смотря по тому, требуется ли соединить небольшое, сравнительно, число мѣстъ—напримѣръ различныя конторы фабрики, или же желательно соединеніе всѣхъ абонентовъ цѣлаго города, или, наконецъ, требуется установить телефонное сообщеніе между абонентами различныхъ городовъ.

Черт. 620.



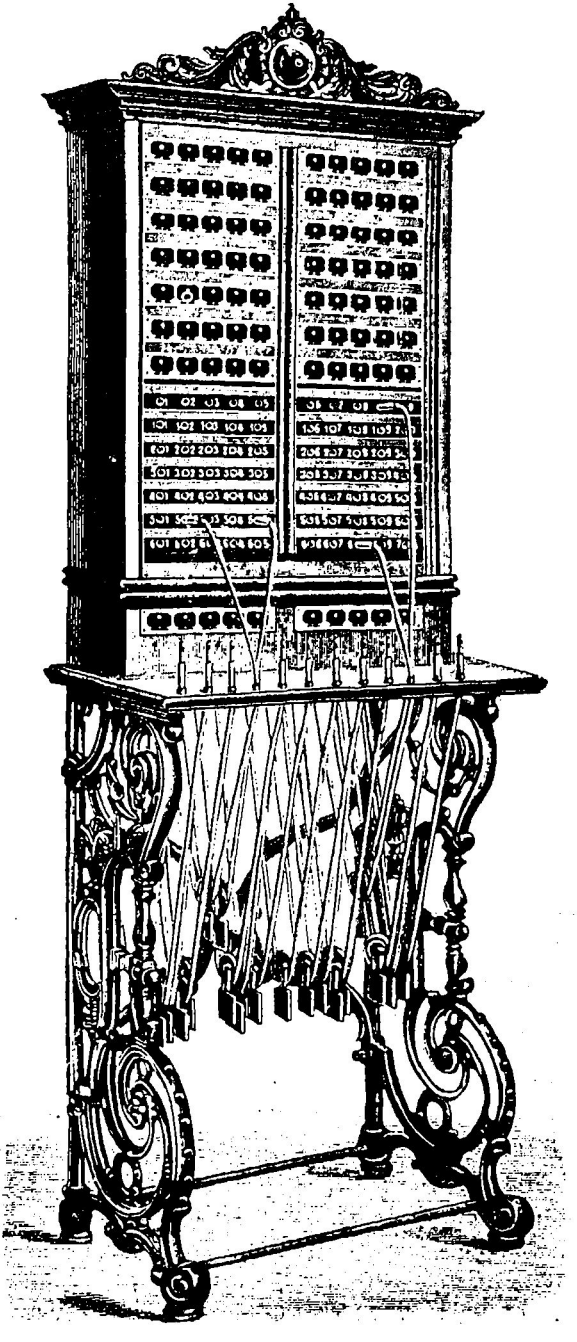
Если установлено нѣсколько телефонныхъ аппаратовъ, напр. въ разныхъ отдѣлахъ одного и того же учрежденія, и если желательно между любыми изъ нихъ произвести соединенія безъ помощи лица, которое завѣдывало бы переключеніемъ, то при каждомъ телефонѣ долженъ быть линейный коммутаторъ, изображенный на черт. 620. Онъ заключаетъ въ себѣ столько контактовъ и проводовъ, сколько имѣется мѣстъ, съ которыми данный телефонъ приходится соединять. Устройство и способъ соединенія коммутаторовъ и линейныхъ проводовъ

Черт. 621.



видны изъ черт. 621. Эта схема разсчитана на четыре станціи. На каждой имѣется батарея, микрофоно-телефонный аппаратъ съ 4 зажимными винтами *L*, *EK*, *MZ*, *UZ* (см. выше стр. 748) и коммутаторъ съ тремя контактами. Если, напримѣръ, станція № 3 желаетъ разговаривать со станціей № 1, то слѣдуетъ лишь станціи № 3 вставить штепсель въ гнѣздо № 1 ея коммутатора; этимъ и производится соединеніе станцій № 1 и № 3, ибо проводъ *L*, идущій отъ третьяго телефоннаго аппарата, изолированъ на гнѣздахъ «3» во всѣхъ линейныхъ коммутаторахъ и соединенъ штепселемъ гнѣзда 1 на третьемъ коммутаторѣ съ проводомъ *L* перваго аппарата. Для всевозможныхъ соединеній между 4 станціями нужны 5 проводовъ. Можно было бы обойтись и съ 4-мя проводами, если бы всѣ станціи были соединены съ землею. Подобнымъ образомъ, для 10 станцій нужно 10 или 11 проводовъ, для тридцати—30 или 31 проводъ для того, чтобы онѣ могли соеди-

Черт. 622.

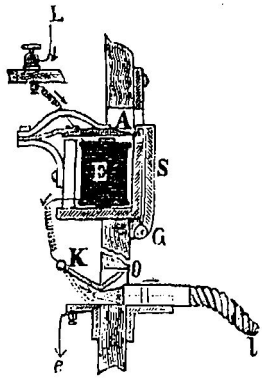


няться между собою съ помощью линейнаго коммутатора. При столовомъ приборѣ, изображенномъ на черт. 619, линейный коммутаторъ съ необходимыми соединеніями имѣется на ящикѣ самого аппарата. Здѣсь контактъ производится не съ помощью штепселей, но вращаемою ручкою.

Для городского телефона, если участниковъ сѣти много, необходима центральная станція, на которой и производятся всѣ соединенія. Дѣйствительно, иначе пришлось бы каждому участнику имѣть провода къ линіямъ остальныхъ, что, не говоря уже о дороговизнѣ, невозможно по числу проводовъ, которые нужно было бы протягивать надъ домами и вводить въ квартиры.

Въ виду этого, отъ каждаго абонента проводится линія къ центральной станціи, на которой уже согласно каждому отдѣльному требованію производятся соединенія между проводами любыхъ абонентовъ. Такимъ образомъ, роль центральной станціи заключается въ томъ, чтобы слышать каждое требованіе, съ какого бы провода оно ни исходило, имѣть возможность говорить по каждому изъ этихъ проводовъ и соединять любые два провода между собою.

Черт. 623.



Понятно, что возможны различныя устройства, позволяющія выполнять эти задачи удобно и легко. Одинъ изъ самыхъ распространенныхъ коммутаторовъ для центральныхъ станцій—телефонный коммутаторъ съ клапанами изображенъ на черт. 622 и 623.

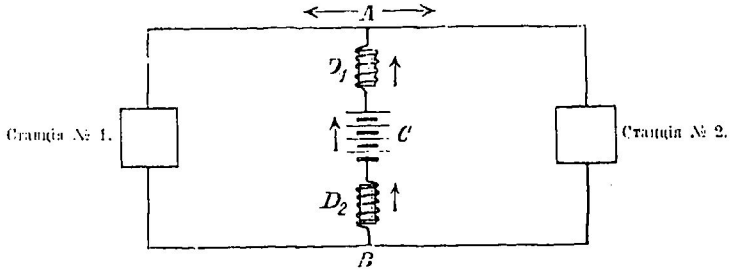
На центральной станціи устанавливается рядъ коммутаторовъ, имѣющихъ форму черт. 622. Каждый изъ нихъ содержитъ аппараты отъ 50 — 150 абонентовъ. Коммутаторъ, изображенный на черт. 622, предназначенъ для 100 абонентовъ. Для каждаго абонента въ этомъ коммутаторѣ имѣется электромагнитъ, который включенъ непосредственно въ проводъ своего абонента.

На черт. 623 изображенъ такой электромагнитъ L, съ которымъ соединенъ линейный проводъ L, и который съ другой стороны помощью ломаннаго рычага K (въ положеніи его, изображенномъ пунктиромъ) соединяется черезъ e съ землею. Лишь только абонентъ нажимаетъ на свой ключъ, т. е. включаетъ свою звонковую батарею, токъ идетъ съ L черезъ e въ землю: якорь A притягивается и этимъ позволяетъ откинуться пластинкѣ S, вращающейся вокругъ G. Сзади пластинки означенъ номеръ абонента, и такимъ образомъ на центральной станціи тотчасъ становится извѣстнымъ, который абонентъ вызываетъ. Эти откидывающіеся клапаны видны на черт. 622 въ

верхней части коммутатора. Каждому клапану соотвѣтствуетъ особое контактное гнѣздо, изъ которыхъ каждое на черт. 622 означено номеромъ отъ 1 до 100. Одно изъ нихъ изображено на черт. 623 подъ O. Служащій центральной станціи можетъ теперь вставить металлическій наконечникъ s проводящаго шнура l въ отверстіе O, гдѣ этотъ наконечникъ встрѣчаетъ нижній конецъ ломаннаго рычага K. Благодаря этому рычагъ K поднимается, соединеніе съ землею уничтожается, и устанавливается сообщеніе между линейнымъ проводомъ L и соединительнымъ шнуромъ l. Съ этимъ шнуромъ l соединенъ телефонъ служащаго. Служащій сносится съ вызвавшимъ и узнаетъ, съ какимъ номеромъ желаютъ разговаривать. Узнавъ номеръ, онъ вызываетъ его звонкомъ къ телефону, затѣмъ беретъ одинъ изъ имѣющихся тутъ же соединительныхъ шуровъ съ металлическими наконечниками и вкладываетъ его концы, одинъ въ № вызвавшаго, а другой въ № вызваннаго. Теперь сообщеніе установлено, и абоненты могутъ переговариваться. Каждый подобный коммутаторъ соединяется съ сосѣдними проволокой, и такимъ образомъ могутъ быть соединены между собою какіе угодно абоненты.

На большихъ центральныхъ станціяхъ перешли въ настоящее время къ нѣсколько иному устройству. Во-первыхъ, ввели центральную батарейную систему; вмѣсто того, чтобы у каждаго абонента устанавливать для его микрофона отдѣльную батарею, всѣ дѣйствующіе микрофоны питаются одною большою батареей, находящеюся на центральной станціи. Конечно, такую замѣну нельзя произвести безъ соотвѣтственнаго измѣненія всей схемы соединеній. Въ самомъ дѣлѣ,

Черт. 624.



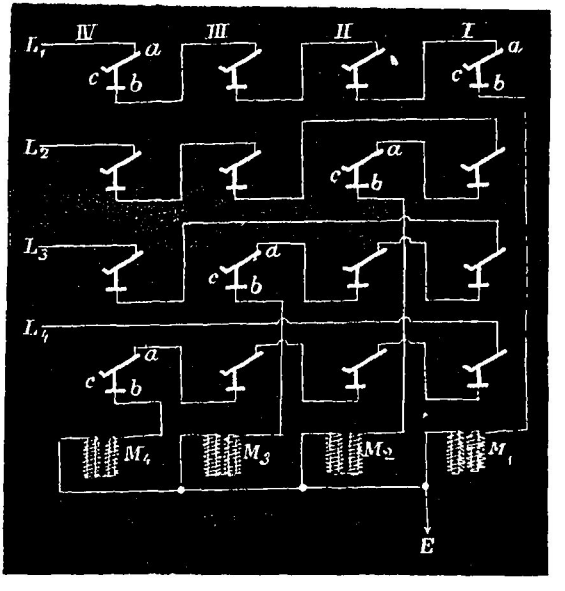
если на черт. 624 центральная станція своей батареей C питаетъ микрофоны какъ станціи I, такъ и станціи II, которыя какъ разъ говорятъ между собою, то телефонные токи станціи I вмѣсто того, чтобы итти къ станціи II, могутъ пойти по A, C, B; постольку же и токи станціи II могутъ замкнуться черезъ центральную батарею, такъ какъ послѣдняя включена параллельно обѣимъ станціямъ. Во избѣжаніе этого, послѣдовательно съ батареей включаются реактивныя катушки D_1 и D_2 (стр. 280). Онѣ свободно пропускаютъ постоянный

токъ, идущій отъ батареи, такъ какъ омическое сопротивленіе ихъ очень невелико, телефонные же токи задерживаются ихъ большою самоиндукціей, такъ какъ токи эти перемѣнные. Вмѣсто падающаго клапана на центральныхъ станціяхъ примѣняются теперь маленькія (величиною съ гривенникъ) лампочки накаливанія, по одной на каждаго абонента, которыя при вызовѣ засвѣчиваются, давая телефонисткѣ знать, гдѣ желательно получить соединеніе. По окончаніи разговора между обоими абонентами, когда они повѣсятъ телефоны обратно на крючекъ, на станціи засвѣчиваются двѣ другія лампочки, обыкновенно красныя, которыя указываютъ телефонисткѣ на возможность разъединенія. Въ этомъ случаѣ обслуживаніе коммутатора нѣсколько спокойнѣе и надежнѣе, чѣмъ при падающихъ клапанахъ, которые къ тому же по окончаніи разговора приходится вновь поднимать.

Описанный простой коммутаторъ становится неудобнымъ, если абонентовъ у центральной станціи слишкомъ много. Такъ, напр., для 2.000 абонентовъ требуется уже 40 коммутаторовъ, и всѣ они должны быть соединены между собою; при этомъ, если абонентъ, присоединенный къ первому коммутатору, захочетъ разговаривать съ абонентомъ, напр., 30-го коммутатора, то приходится переговаривать телефонисткамъ, находящимся далеко одна отъ другой, а при большомъ числѣ абонентовъ чаще случается, что должны быть соединены абоненты съ разныхъ коммутаторовъ, чѣмъ съ одного и того же. Такимъ образомъ, то неудобство, что для требуемаго соединенія является недостаточнымъ одинъ служащій, и необходимы двое, оказывается особенно ощутительнымъ. Это неудобство можно обойти при т. наз. многократныхъ коммутаторахъ. Такіе аппараты строятъ въ настоящее время многія фирмы, какъ Миксъ и Генестъ, Сименсъ и Гальске и др. Основаніе устройства мультипля понять не трудно: проводъ, идущій отъ абонента, не направляется прямо къ своему номерку, но сначала обходитъ всѣ коммутаторы и лишь затѣмъ уже достигаетъ своего электромагнита, обычнымъ образомъ устроеннаго, какъ описано выше. Вслѣдствіе этого легко уже устроить такъ, чтобы при каждомъ коммутаторѣ была особая часть безъ электромагнитовъ, но съ контактами, въ которые можно было бы вставлять штепселя. Каждая телефонистка находится у своего коммутатора съ 200 электромагнитами, снабженными контактными гнѣздами, за которыми она и должна слѣдить; но кромѣ того, на ея коммутаторѣ (при 2.000 абонентовъ) имѣется еще 1.800 контактныхъ гнѣздъ, соотвѣтствующихъ всѣмъ остальнымъ абонентамъ. Такимъ образомъ, центральная станція на 2.000 абонентовъ состоитъ изъ 10 коммутаторовъ, въ каждомъ изъ которыхъ имѣется 200 электромагнитовъ (съ номерками) и 200 + 1.800 контактныхъ отверстій съ рычажками. Схема проводовъ изо-

бражена на черт. 625. Вертикальные столбцы, обозначенные цифрами I, II, III и IV, представляютъ четыре коммутатора, L_1 обозначаетъ проводъ, идущій къ первому коммутатору (отъ абонентовъ съ № отъ 1 до 200). Но, какъ видно на черт., этотъ проводъ подходитъ сначала къ контакту *ab* коммутатора IV, затѣмъ къ контакту коммутатора III, II-го и лишь послѣ того къ собственному контакту коммутатора I, откуда уже къ своему электромагниту M_1 и въ землю E. Совершенно также проводъ L_2 отъ абонентовъ съ № между 201 и 400 подходитъ сначала къ коммутаторамъ IV, III и I и лишь затѣмъ къ своему—II, электромагниту M_2 и въ землю. Отсюда видно, что каждая телефонистка у своего коммутатора можетъ произвести всѣ соединенія. Если, напр., вызываютъ телефонистку коммутатора IV (слѣд., абонентъ съ № между 601 и 800), то отпадаетъ пластинка при электромагнитѣ M_4. Положимъ, что абонентъ желаетъ переговорить съ абонентомъ перваго коммутатора (1 — 200) и именно тѣмъ, проводъ котораго изображенъ подъ L_1. Въ этомъ случаѣ телефонистка должна лишь вложить штепселя въ отверстія соотвѣтствующихъ номеровъ, и соединеніе готово. Дѣйствительно, токъ съ L_4 пойдетъ черезъ контактъ *ba* въ нижнемъ ряду, который прерванъ штепселемъ, черезъ штепсель къ контакту *ba* верхняго ряда, который также прерванъ, и къ проводу L_1 желаемаго абонента. Все устройство оказывается легко понятнымъ. Но несомнѣнно также, что главнѣйшее затрудненіе заключается здѣсь въ сложной и копотливой работѣ при монтировкѣ. Такъ въ нашемъ примѣрѣ съ 2.000 абонентами въ каждомъ коммутаторѣ приходится устанавливать 2.000 контактовъ, всего 10×2000, при 6.000 абонентовъ ихъ потребуется уже 180.000. Поэтому отъ такихъ большихъ установокъ прежде всего требуется доступность всѣхъ частей и легкая возможность замѣтить всякую неисправность.

Черт. 625.

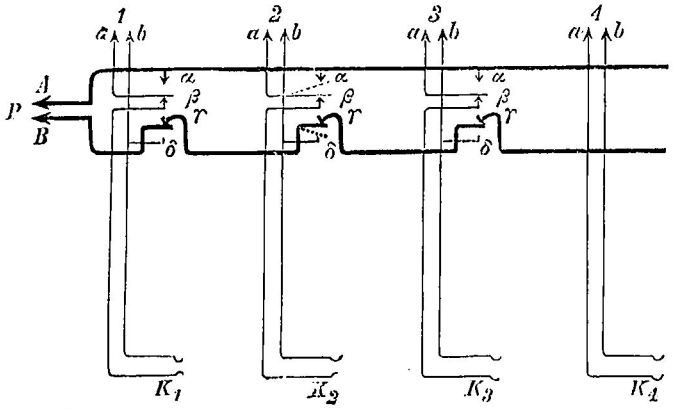


Коммутаторы съ клапанами употребляются не только на центральныхъ городскихъ станціяхъ. На заводахъ, въ банкахъ или конторахъ, гдѣ зачастую сотни лицъ должны въ разное время перегова-

риваться между собою, установка такихъ коммутаторовъ весьма цѣлесообразна. Въ этихъ случаяхъ обслуживаются они обыкновенно швейцаромъ. Коммутаторъ съ клапанами въ сравненіи съ простымъ линейнымъ коммутаторомъ имѣетъ преимущество въ отношеніи затратъ на провода и аппараты, въ особенности при большомъ числѣ обслуживаемыхъ телефоновъ.

Германскими законами разрѣшается къ каждой станціи, соединенной съ правительственной централью, приключать по пяти подстанцій, такъ что каждая изъ послѣднихъ можетъ быть непосредственно соединена съ центральной; при этомъ необходимо приспособленіе, гарантирующее, что только эти пять подстанцій (которыя вносятъ опредѣленную плату) будутъ имѣть возможность непосредственнаго сообщенія съ центральной станціей. Пояснимъ это примѣромъ: фабрика, имѣющая собственную центральную станцію, обслуживающую 60 конторъ или отдѣленій, соединена однимъ проводомъ съ правительственною центральною станціей почтоваго вѣдомства. По закону лишь 5 изъ этихъ отдѣленій могутъ имѣть возможность непосредственнаго соединенія по одному

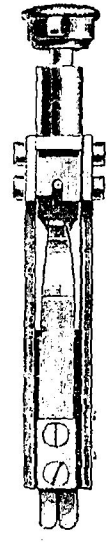
Черт. 626.



проводу съ центральною станціей. Остальныя 55 конторъ этой возможности не должны имѣть, при этомъ нужно принять особыя мѣры, чтобы какимъ-либо переключеніемъ нельзя было произвести незаконнаго соединенія. Этому требованію между прочимъ удовлетворяетъ система включенія, введенная акціонернымъ обществомъ Миксъ и Генестъ, названная системой Янусъ по имени древнеримскаго бога, котораго изображали двуликимъ и доброжелательнымъ, и мрачнымъ. Такой янусовый телефонъ какъ разъ и можетъ быть соединяемъ съ одной стороны со строгой официальной станціей, съ другой — съ уютною частною. Современный техникъ все меньше обращается къ классическому міру, и очень радуетъ, когда гдѣ-нибудь проскользнетъ напоминаніе классической древности. Кромѣ громкаго названія въ

сущности этой системы нѣтъ ничего сложнаго: нужно было лишь придумать такую схему, чтобы возможно было переключать аппаратъ на одну или другую цѣпь; во-вторыхъ, чтобы въ одну изъ этихъ цѣпей невозможно было включить какіе-либо аппараты, кромѣ наперед назначенныхъ. На черт. 626 приведена подобная схема. Здѣсь предполагается, что двойные провода ab идутъ отъ частныхъ станцій 1, 2, 3, 4 къ клапанамъ K_1, K_2, K_3, K_4 коммутатора, изображеннаго на чертежѣ. Здѣсь служащій частной установки производитъ необходимыя соединенія. Перпендикулярно къ этимъ проводамъ изображены провода казенной линіи. Линіи частныхъ станцій 1, 2, 3 снабжены каждая янусовымъ переключателемъ. Проводъ b каждый разъ ведетъ непосредственно къ рычагу K; отъ этого же провода отводится контактъ δ. Другой проводъ a ведетъ сначала къ контакту β, отсюда къ рычагу K коммутатора. Изъ обоихъ контактовъ β и δ дѣйствуетъ всегда одинъ, другой же свободенъ. Съ другой стороны къ проводу A, который проходитъ черезъ коммутаторъ частной станціи, присоединенъ контактъ α проводъ же B проходитъ черезъ контактъ γ. Янусовый переключатель, находящійся въ каждомъ изъ этихъ мѣстъ 1, 2, 3 при телефонномъ аппаратѣ, приводитъ соотвѣтственныя линіи въ соединеніе либо съ контактами β и γ, либо съ α и δ. На линіи 2 второе включеніе показано пунктиромъ. При включеніи, показанномъ на линіяхъ 1 и 3, провода казенной станціи не включены, т. к. контактъ α здѣсь свободенъ. Зато эти линіи теперь могутъ сообщаться при помощи коммутатора K. При другомъ положеніи переключателя — линія 2 — гдѣ контактъ α соединенъ съ проводомъ a и δ съ проводомъ b, установлено сообщеніе между частной линіей и казенной центральной станціей. Въ то же самое время никакая другая изъ частныхъ станцій не можетъ соединиться съ линіей 2 и черезъ нее съ центральною станціей, такъ какъ коммутаторъ K_2, соединенный съ контактомъ β, выключенъ. Эта простая схема устраняетъ всякую возможность злоупотребленій. Только помощью измѣненія всего аппарата, что однако тотчасъ было бы обнаружено контролемъ, можно устроить незаконное соединеніе. Переключеніе съ частной линіи на казенную производится помощью переключателя, общій видъ котораго изображенъ на черт. 627. Вращеніемъ головки производится то или иное включеніе. Система эта настолько же пригодна и при простыхъ линейныхъ коммутаторахъ.

Черт. 627.



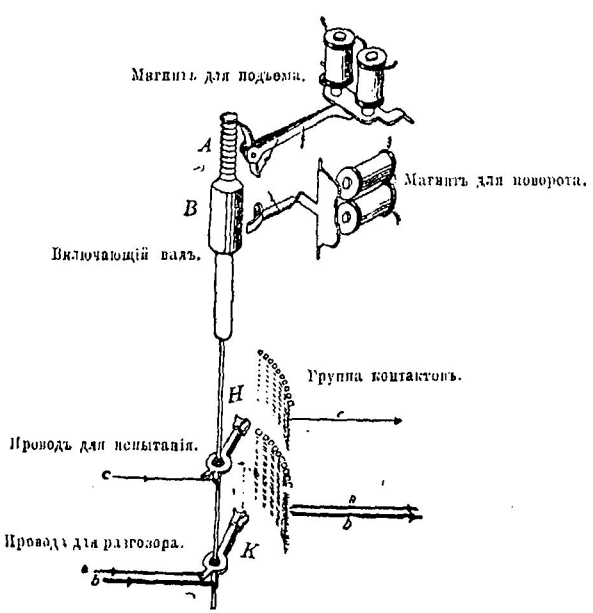
Уже съ давнихъ поръ дѣлались попытки замѣнить на центральныхъ телефонныхъ станціяхъ работу человѣка автоматической, позволяющей силою электричества установить сообщеніе между любыми двумя абонентами. Конечно, это очень сложная задача, коль скоро она касается

большого числа абонентовъ. Если, напримѣръ, въ городѣ 10.000 владѣльцевъ телефонныхъ аппаратовъ, то каждый долженъ имѣть возможность говорить со всѣми 9.999 остальными. Въ общемъ, слѣдовательно, автоматическая станція должна давать возможность 49.999.000 соединеній. И все-таки удалось придумать не слишкомъ сложную и при этомъ весьма надежно работающую систему. Система эта, выработанная американцемъ Строуджеромъ, такъ и называется системой Строуджера. За послѣдніе годы она получаетъ все большее распространеніе какъ въ Америкѣ, такъ и въ Европѣ, а именно въ Германіи, гдѣ она вводится фирмой Сименсъ и Гальске.

Эта система весьма проста, напримѣръ, при 100 абонентахъ. И нерѣдки случаи, когда она вводится при такомъ небольшомъ числѣ участниковъ. Вѣдь именно тогда и можно пользоваться телефономъ круглые сутки, когда каждый, имѣющій телефонъ, можетъ автоматически соединиться съ другимъ абонентомъ. Между тѣмъ какъ на небольшихъ станціяхъ, обслуживаемыхъ человѣкомъ, обыкновенно ограничиваются дневнымъ дежурствомъ и часто еще сокращеннымъ.

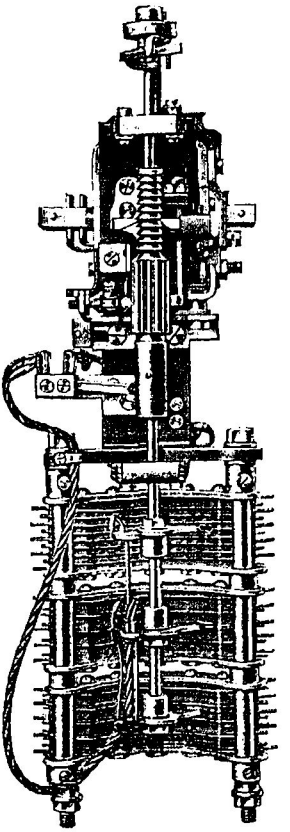
Самымъ существеннымъ въ системѣ Строуджера являются такъ называемые коммутаторы, которые подраздѣляются на предварительные, групповые и линейные. При автоматической станціи на 100 аппаратовъ необходимы лишь линейные коммутаторы. Это приборы, основанные на примѣненіи электромагнитовъ. Особый стержень помощью этихъ электромагнитовъ можетъ, во-первыхъ, передвигаться вертикально на 10 ступеней и, во-вторыхъ, дѣлать обороты около оси своей также на десять ступеней. На черт. 628 приведена схема такого линейнаго коммутатора. Стержень имѣетъ 10 горизонтальныхъ (A) впадинъ и столько же, пониже, вертикальныхъ (B); внизу на немъ заклинены два (иногда и три) контактныхъ рычага H и K; послѣдній на чертежѣ составленъ изъ двухъ изолированныхъ другъ отъ друга

Черт. 628.

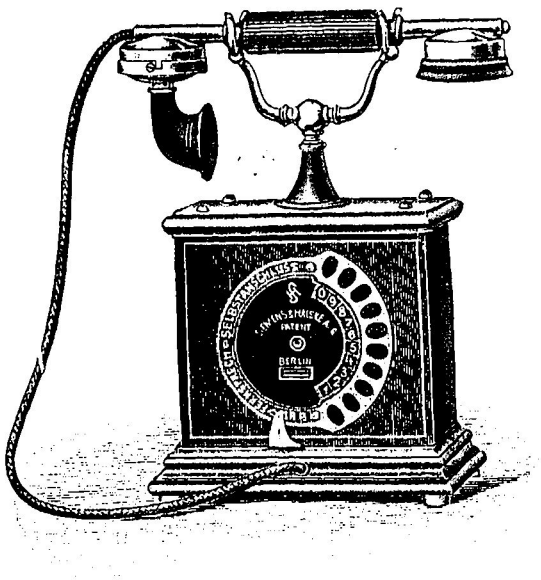


частей. Вызывающій абонентъ можетъ пропустить черезъ изображенный вверху подъемный электромагнитъ отъ 1 до 10 короткихъ тока. Этими токами якорь электромагнита каждый разъ притягивается и захватываетъ своимъ острымъ концомъ каждый разъ слѣдующую впадину, передвигая такимъ образомъ стержень вверхъ отъ первой до десятой ступени; контактные рычаги *H* и *K* также передвинутся на столько же. Затѣмъ тотъ же абонентъ опять пропускаетъ отъ одного до 10 короткихъ тока для возбужденія другого, вращающаго электромагнита. Якорь этого электромагнита, захватывая вертикальныя впадины, поворачиваетъ стержень, а вмѣстѣ съ тѣмъ и контактные рычаги на соотвѣтственное число ступеней. Контактные рычаги *H* и *K* передвигаются передъ контактнымъ наборомъ, состоящимъ изъ 100 контактовъ, расположенныхъ въ 10 рядовъ по 10 въ каждомъ. Каждый контактъ соединенъ съ проводомъ какого-либо одного абонента. Какъ и при мюльтиплексной системѣ, проводъ каждаго абонента идетъ къ соотвѣтственному контакту у всѣхъ линейныхъ

Черт. 629.



Черт. 630.



коммутаторовъ, которые устанавливаются по одному на каждаго абонента. Такимъ образомъ вызывающее лицо самостоятельно можетъ произвести соединеніе съ любымъ изъ нумеровъ; далѣе разговоръ происходитъ обычнымъ порядкомъ. Внѣшній видъ такого коммутатора приведенъ на черт. 629 вмѣстѣ съ наборомъ контактовъ. У этого аппарата три контактныхъ рычага и

столько же контактныхъ наборовъ—два для проводовъ абонента и одинъ для контрольнаго провода со станціи. Чтобы возбудить электромагниты, каждый абонентъ имѣетъ такъ называемый номерной коммутаторъ при своемъ телефонѣ. На черт. 630 показанъ такой столовый аппаратъ. Шайба съ 10 номерованными отъ 1 до 10 отверстіями можетъ быть пальцемъ повернута по направленію движенія часовой стрѣлки до особаго упора.

Абонентъ, желающій, напримѣръ, вызвать № 48, передвигаетъ сначала шайбу отъ отверстія 4 до упора и здѣсь отпускаетъ ее; шайба отходитъ обратно и при этомъ пропускаетъ 4 короткихъ тока на станцію. Здѣсь токи эти возбуждаютъ подъемный электромагнитъ, который поднимаетъ у коммутатора вызывающаго абонента стержень съ контактными рычагами на 4 ступени; такимъ образомъ контактные его рычаги уже стоятъ на той же высотѣ, что и контакты абонентовъ отъ № 40 до 49. Поворачивая еще разъ шайбу отъ отверстія 8 до упора и отпуская ее снова, производимъ 8 короткихъ токовъ, которые, возбуждая вращающій электромагнитъ, поворачиваютъ стержень съ контактными рычагами на 8 ступеней, такъ что теперь контактный рычагъ какъ разъ даетъ соединеніе съ контактомъ 48, осуществивъ этимъ требуемое сообщеніе между вызвавшимъ и вызываемымъ.

Насколько проста эта система при 100 участникахъ, настолько же трудно ее сразу распространить на большее число, такъ какъ вообще невозможно въ коммутаторѣ устроить болѣе 10 вертикальныхъ и 10 поворотныхъ ступеней. Пришлось бы устанавливать новые коммутаторы для сотенъ и тысячъ, и число ихъ вмѣстѣ съ числомъ приключеній возросло бы до невѣроятной величины. Однако практика показала, что одновременно изъ числа всѣхъ абонентовъ центральной телефонной станціи говоритъ по большой мѣрѣ лишь 10 процентовъ. Слѣдовательно, для 1000 абонентовъ вовсе нѣтъ необходимости ставить каждому абоненту особый линейный коммутаторъ (для десятковъ и единицъ), вполнѣ достаточно поставить ихъ 100, принявъ при этомъ мѣры къ тому, чтобы абонентъ при вызовѣ могъ самостоятельно найти себѣ незанятый еще аппаратъ. На станціи съ номерами до 1000 нужно слѣдовательно имѣть еще спеціальный коммутаторъ для сотенъ. Его называютъ групповымъ. Онъ устроенъ такъ же, какъ и линейный, только поворотъ контактныхъ рычаговъ совершается въ немъ автоматически. Такихъ групповыхъ коммутаторовъ требуется тоже не болѣе 10 процентовъ всего числа абонентовъ — въ нашемъ случаѣ слѣдовательно 100. Устройство тогда будетъ слѣдующее: для каждаго изъ 1000 абонентовъ установленъ на станціи такъ называемый предварительный коммутаторъ. Это небольшой аппаратъ съ электрическимъ или механическимъ приводомъ, который въ моментъ,

когда вызывающій вертитъ свою первую цифру, самостоятельно отыскиваетъ свободный групповой коммутаторъ и соединяетъ съ нимъ вызывающаго. Такъ какъ на 1000 абонентовъ нужны 100 групповыхъ коммутаторовъ, то каждая сотня абонентовъ соединена съ 10 групповыми коммутаторами по многократной системѣ, которая объяснена выше на стр. 757.

Когда предварительный коммутаторъ соединилъ абонента съ однимъ изъ свободныхъ групповыхъ, абонентъ поворачиваетъ свою номерную шайбу, чтобы установить сотни—при 637, напримѣръ, цифру 6. При обратномъ ходѣ шайбы въ цѣпи проходятъ 6 токовъ, которые установятъ групповой коммутаторъ на шестую ступень. Далѣе контактный рычагъ этого коммутатора автоматически поворачивается, проходя передъ 10 контактами, каждый изъ которыхъ соединенъ съ линейнымъ коммутаторомъ (именно съ 10 линейными коммутаторами для №№ 600—699). Контактный рычагъ замыкаетъ цѣпь на контактѣ перваго свободнаго линейнаго коммутатора (этотъ автоматическій выборъ незанятаго аппарата производится различными путями—механическимъ или электрическимъ; въ первомъ случаѣ пользуются тѣмъ, что занятый аппаратъ всегда нѣсколько сдвинутъ изъ нерабочаго положенія, во второмъ—тѣмъ, что черезъ него проходитъ токъ). Введенный въ цѣпь абонента свободный линейный коммутаторъ соединенъ съ №№ 600—699, слѣдовательно въ нашемъ случаѣ абоненту остается лишь установить цифры 3 и затѣмъ 7, чтобы получить соединеніе съ абонентомъ № 637. Такимъ образомъ четырехтактнымъ маневромъ (одинъ для предварительнаго коммутатора и три для трехъ цифръ номера) абонентъ нашелъ нужный ему номеръ изъ 1000. Если этотъ номеръ свободенъ, то можно начать разговоръ. Въ противномъ случаѣ черезъ контактъ уже проходятъ токи, и въ телефонѣ вызвавшаго абонента будетъ слышенъ, указывающій на это, шумъ; въ такомъ случаѣ ничего не остается, какъ повѣсить телефонъ на мѣсто и позвонить въ другое время. При подвѣшиваніи телефона на крючокъ всѣ коммутаторы приходятъ автоматически опять въ нормальное нерабочее положеніе. Какъ видно, система эта весьма остроумна. Какъ сама идея линейнаго коммутатора, такъ и принципъ предварительной коммутаціи съ проистекающимъ отсюда сбереженіемъ въ групповыхъ и линейныхъ коммутаторахъ въ высшей степени удачны. Тамъ, гдѣ эта система уже введена, она дала почти всеобщее удовлетвореніе. Конечно, монтажъ ея въ высшей степени сложенъ и необходимо постоянное контролированіе аппаратовъ и соединеній. Однако, принимая во вниманіе многочисленныя жалобы на телефонное сообщеніе, которыя громко раздаются почти во всѣхъ большихъ городахъ, а частью и подавляются изъ опасенія оскорбить телефонныхъ барышень, весьма вѣроятно, что постепенно будутъ повсемѣстно переходить къ подоб-

ной автоматической системѣ, какъ это и наблюдается все чаще въ Америкѣ. Въ Германіи, въ Мюнхенѣ существуютъ двѣ такія автоматическія центральныя станціи въ двухъ частяхъ города; въ нѣкоторыхъ другихъ городахъ существуютъ проекты перейти къ такимъ установкамъ.

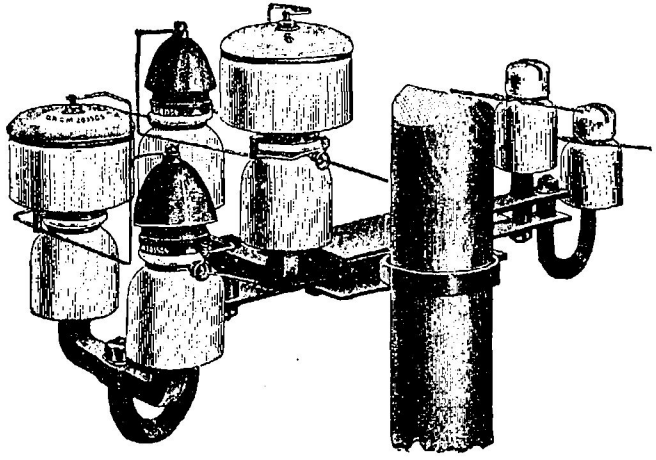
Послѣ того, какъ городскіе телефоны получили такое широкое распространеніе, естественно явилась мысль соединить телефонными линіями и отдѣльные города такъ, чтобы каждый житель одного города могъ разговаривать съ каждымъ жителемъ другого, т. е. устроить междугородное телефонное сообщеніе. Если телефонные провода приходится провести близко къ телеграфнымъ, то индукція телеграфныхъ токовъ настолько вредно отзывается на работѣ телефоновъ, что телефонное сообщеніе оказывается невозможнымъ. Этому обстоятельству можно помочь прежде всего и вѣрнѣе всего тѣмъ, что оба города соединяются не однимъ проводомъ, но такъ наз. петлею, т. е. проводятся и прямой, и обратный провода; такимъ образомъ и устраиваются современныя междугородныя линіи. Дѣйствительно, при такой линіи, если какая-нибудь внѣшняя причина индуктируетъ токъ въ одномъ проводѣ, то она будетъ индуктировать его и во второмъ и притомъ того же абсолютнаго направленія. Оба эти тока, слѣдовательно, пойдутъ въ прямомъ и обратномъ проводахъ одинъ навстрѣчу другому и взаимно уничтожатся. Телефоны не замѣтятъ ихъ существованія. Оба провода подвѣшиваются, конечно, на однихъ и тѣхъ же столбахъ. При этомъ на каждой станціи оба конца вторичной катушки соединяются съ двумя проводами (а не отводится одинъ изъ нихъ въ землю). Такая двойная линія позволяетъ телефонировать по обыкновеннымъ телеграфнымъ проволокамъ на нѣсколько сотъ километровъ. На бо́льшихъ разстояніяхъ оказывается, что съ желѣзною проволокою телефоны уже не дѣйствуютъ. Сопротивленіе перемѣннымъ токамъ, кажущееся сопротивленіе (стр. 281) линіи становится слишкомъ большимъ, и токи очень ослабляются. Съ мѣдными и бронзовыми проводами можно итти значительно дальше.

Эта система телефоніи на большое разстояніе развивается все дальше. Большіе промышленные округа, торговые города соединяются между собою телефонами, и уже не представляется слишкомъ смѣлымъ утвержденіе, что скоро каждый житель всякаго большого или средняго города Европы будетъ въ состояніи телефонически сообщаться со всякимъ другимъ человѣкомъ, живущимъ въ такихъ же условіяхъ. Чѣмъ больше разстояніе, на которое приходится телефонировать, тѣмъ больше ослабляется токъ въ проводахъ; такимъ образомъ можно дойти до предѣла, за которымъ уже невозможенъ телефонный разговоръ. Ослабленіе телефонныхъ токовъ происходитъ по двумъ причинамъ. Первая—омическое сопротивленіе проводовъ, благодаря которому про-

исходитъ преобразованіе энергіи въ джоулево тепло. Вторая причина — особое обстоятельство, дающее себя чувствовать въ длинныхъ подземныхъ проводахъ, давно уже извѣстное въ телеграфіи. Каждый кабель состоитъ изъ проводящей жилы и изолирующей прослойки, окруженной съ внѣшней стороны опять проводникомъ (свинецъ, вода или сырая земля и т. д.). Такимъ образомъ каждый кабель является конденсаторомъ (стр. 725). Даже и простой воздушный проводъ можно разсматривать, какъ родъ конденсатора: проволока служитъ одной обкладкой его, воздухъ — изолирующей прослойкой, вторая же обкладка — земля или столбы и ихъ металлическія части, находящіяся вблизи провода. Отсюда слѣдуетъ, что всякая кабельная проводка, а также и воздушная обладаютъ извѣстною емкостью. При прохожденіи тока по такому проводу происходитъ зарядка конденсатора, т. е. на свободной поверхности проволоки собирается электричество. При перемѣнномъ токѣ, который проходитъ по телефоннымъ проводамъ, конденсаторъ то заряжается противоположными электричествами, то разряжается; отсюда возникаютъ зарядные и разрядные токи, которые препятствуютъ правильному телефонному сообщенію. Токи эти отличаются по фазѣ отъ основныхъ телефонныхъ токовъ и этотъ сдвигъ фазъ измѣняетъ оттѣнки передаваемыхъ звуковъ, искажа ихъ иногда до неузнаваемости. Такое дѣйствіе проводовъ сказывается лишь на очень длинныхъ линіяхъ, но зато здѣсь оно можетъ сдѣлать телефонированіе совершенно невозможнымъ. Съ явленіемъ этимъ можно бороться тѣмъ, что въ цѣпь черезъ опредѣленные промежутки включаются катушки самоиндукціи. Въ катушкахъ этихъ возникаютъ экстратоки, также вызывающіе сдвигъ фазъ, однако въ противоположномъ смыслѣ. Мы видѣли (стр. 299), что при перемѣнномъ токѣ включеніе самоиндукціи вызываетъ запаздываніе тока, емкость же наоборотъ вызываетъ упрежденіе тока относительно напряженія. На этомъ основаніи можно подобрать катушки самоиндукціи такимъ образомъ, что, включая ихъ въ линію черезъ извѣстные промежутки, онѣ какъ разъ будутъ уничтожать вліяніе емкости кабеля въ отношеніи сдвига фазъ. Конечно, телефонный токъ этими катушками нѣсколько ослабляется, однако въ конечномъ счетѣ ихъ включеніемъ достигается значительное улучшеніе линіи въ смыслѣ передачи звуковъ. На основаніи подобныхъ соображеній Пюпинъ разработалъ систему проводки, основанную именно на включеніи такихъ катушекъ самоиндукціи; система эта введена съ большимъ успѣхомъ въ практику фирмой Сименсъ и Гальске. Способъ прикрѣпленія такихъ катушекъ—такъ называемыхъ пюпиновыхъ катушекъ—къ столбамъ линіи показанъ на черт. 631. Онѣ заключены въ фарфоровыхъ оболочкахъ и помѣщены рядомъ съ обычными изоляторами на столбахъ; включаются онѣ въ цѣпь послѣдовательно. При длинномъ кабелѣ онѣ включаются даже

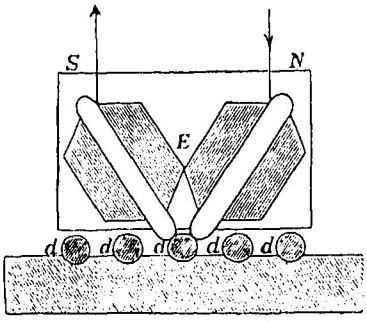
непосредственно въ кабель. Помощью этой системы длина линій, по которымъ можно надежно телефонировать, значительно увеличена, такъ что въ настоящее время, пользуясь телефономъ, можно свободно говорить на гораздо большія разстоянія, чѣмъ прежде.

Черт. 631.



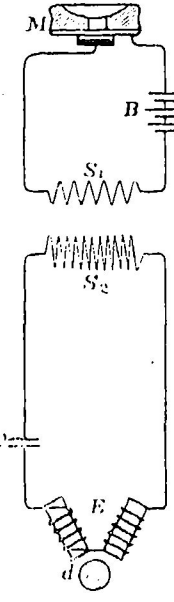
Хотя телефонъ и оказываетъ незамѣнимую услугу въ дѣлѣ непосредственнаго сношенія двухъ лицъ, находящихся на разстояніи, однако ему присущъ тотъ недостатокъ, что разговоръ по телефону не оставляетъ послѣ себя никакой записи. При важныхъ сообщеніяхъ, въ которыхъ имѣетъ значеніе каждое слово, приходится письменно фиксировать слышанное. Если бы телефонъ могъ самостоятельно производить такую запись, то это было бы дальнѣйшимъ шагомъ впередъ. Это имѣло бы значеніе и въ томъ случаѣ, если бы вызванное лицо не оказалось на мѣстѣ; вызвавшій все же имѣлъ бы возможность передать свое сообщеніе. Такое дальнѣйшее развитіе телефона дано въ простой и остроумной формѣ датскимъ инженеромъ Паульсеномъ въ его телеграфонѣ. Этотъ приборъ былъ выставленъ на Всемірной выставкѣ въ Парижѣ въ 1900 г. и привлекалъ всеобщее вниманіе. Онъ представляетъ собою остроумное соединеніе телефона съ фонографомъ, но съ фонографомъ не обычнаго эдисоновскаго типа, съ навощеннымъ валомъ, а нѣкотораго совершенно новаго типа. Этотъ аппаратъ самъ закрѣпляетъ слова, произносимыя въ микрофонъ, на приборѣ, напоминающемъ фонографъ, такъ сказать, записываетъ ихъ, правда не обычными буквами, и по-

Черт. 632.



зволяетъ воспроизводить эти звуки десятки тысячъ разъ такъ, что ихъ можно слышать въ телефонъ. Фонографическая часть аппарата представляетъ особенно много любопытнаго и новаго. Тогда какъ въ обыкновенномъ фонографѣ звуки выдавливаются на восковомъ цилиндрѣ штифтомъ, прикрѣпляемымъ къ мембранѣ, колеблющейся подъ вліяніемъ долетающихъ до нея звуковъ, здѣсь знаки невидимо наносятся на стальной проволокѣ; при этомъ использованы ея магнитныя свойства. На латунный цилиндръ наматываютъ много витковъ стальной проволоки толщиною въ 1 мм. Вдоль этой проволоки, по мѣрѣ вращенія цилиндра, скользитъ особый маленькій магнитикъ, охватывающій обоими своими полюсами эту стальную проволоку. На черт. 632 изображено въ очень увеличенномъ видѣ въ разрѣзѣ нѣсколько витковъ этой стальной проволоки *ddd*..., а надъ нею видны 2 полюса маленькаго электромагнита E, питаемаго токомъ черезъ провода N и S, и касающагося этой проволоки. Электромагнитъ питается отъ элемента, такъ что проволока на одной сторонѣ своего поперечнаго сѣченія получаетъ сѣверный магнитизмъ, а на другой сторонѣ—южный, и по мѣрѣ того, какъ магнитъ скользитъ вдоль проволоки, она вся намагничивается поперечно, совершенно равномѣрно во всѣхъ своихъ мѣстахъ. Если же магнитъ, скользя вдоль проволоки, мѣняетъ свое магнитное состояніе, то усиливаясь, то ослабляясь, то и отдѣльныя части проволоки будутъ намагничены не въ одинаковой степени, порой сильнѣе, порой слабѣе. Это магнитное состояніе останется въ стальной проволокѣ и послѣ того какъ магнитъ сойдетъ съ даннаго мѣста.

Черт. 633.



Подобныя измѣненія магнитнаго состоянія магнита можно получить такимъ путемъ, что въ электромагнитъ, на ряду съ токомъ отъ элемента, посылаются еще микрофонные токи, а именно пріемомъ, изображеннымъ на чертежѣ 633. На этомъ чертежѣ M изображетъ микрофонъ; токи, возбуждаемые батареей B, мѣняющіеся по своей силѣ, если передъ микрофономъ произносятъ звуки, идутъ, какъ обыкновенно, въ первичную обмотку S_1 небольшого индукціоннаго аппарата. Въ его вторичной обмоткѣ S_2 возникаютъ токи различной силы и направленія. Они налагаются на основной токъ отъ элемента P и усиливаютъ или ослабляютъ магнитизмъ электромагнита E телеграфона. Вслѣдствіе этого стальная проволока d послѣ того, какъ она прошла подъ электромагнитомъ, оказывается поперечно-намагниченной по всей своей длинѣ, но неравномѣрно, а мѣстами сильнѣе, мѣстами слабѣе.

Черт. 634.

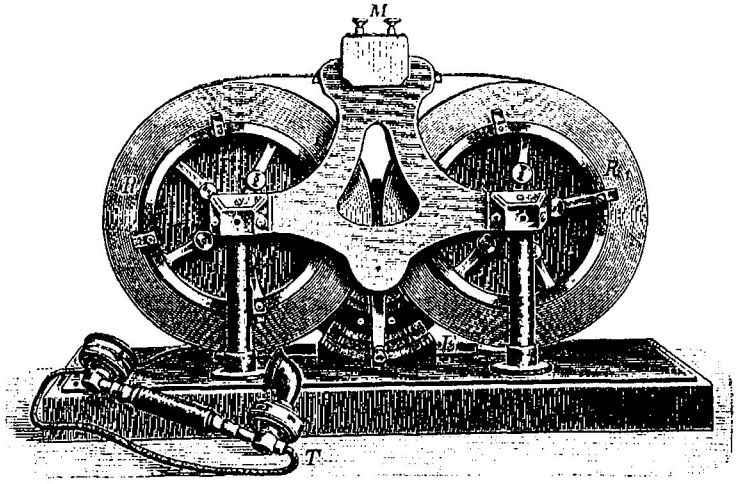


Но это неравномѣрное намагничиванье въ состояніи въ свою очередь вызвать звуки въ телефонѣ. Нужно лишь соединить провода телефона, уже безъ элемента P, прямо съ обмоткой электромагнита E и провести электромагнитъ вдоль проволоки (черт. 634). Тогда, благодаря неодинаковому намагничиванью проволоки, въ обмоткѣ электромагнита возникнутъ индукціонные токи и эти токи создадутъ въ телефонѣ тѣ самые звуки, которые были произведены передъ микрофономъ.

Этимъ любопытнымъ способомъ можно сохранять произвольно долго тоны на стальной проволокѣ и воспроизводить ихъ, какъ угодно часто, въ любое время. При этомъ оказывается, что тоны, воспроизводимые этимъ способомъ, очень чисты и свободны отъ посторонняго шума, наблюдаемаго въ обыкновенныхъ телефонахъ и обыкновенныхъ фонографахъ.

Аппараты изготовляются либо изъ стальныхъ проволокъ, либо изъ стальныхъ лентъ, чѣмъ и обусловливается ихъ различная форма. Новѣйшая форма аппарата показана на черт. 635. Стальная лента значительной длины намотана на катушку. Другая катушка вращается

Черт. 635.

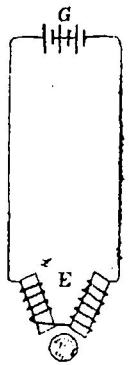


небольшимъ электромоторомъ, благодаря чему лента сматывается съ первой и наматывается на вторую катушку. При этомъ лента проходитъ передъ магнитомъ, который ее намагничиваетъ въ поперечномъ направленіи.

Съ ленты, на которую нанесена запись, эта запись можетъ быть вновь «стерта», если и не резинкой, то еще проще—при помощи электрическаго тока. Для этой цѣли въ цѣпь электромагнита включаютъ

батарею G посильнѣе и притомъ пропускаютъ токъ въ обратномъ направленіи, сравнительно съ направленіемъ тока (черт. 633) отъ элемента P; ленту же снова двигаютъ передъ электромагнитомъ. Этотъ процессъ вполнѣ уничтожаетъ предыдущее намагничиваніе, и проволока оказывается вновь вполнѣ размагниченной, готовой къ воспринятію новой записи.

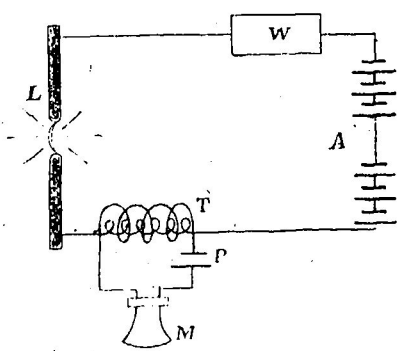
Черт. 636.



Этотъ интересный аппаратъ (изготовляемый въ настоящее время Телеграфной Компаніей въ Копенгагенѣ и Крефельдѣ) еще не можетъ считаться введеннымъ въ практическій обиходъ, однако его точное и удивительно чистое воспроизведеніе звуковъ позволяетъ разсчитывать, что телеграфонъ не останется простымъ курьезомъ, но сыграетъ свою роль въ дѣловыхъ сношеніяхъ людей, а также въ газетномъ дѣлѣ. Во время опытовъ на германской правительственной телефонной линіи удалось помощью телеграфона получить въ ясной и понятной формѣ телефонный разговоръ, переданный изъ Франкфурта-на-Майнѣ въ Берлинъ.

Весьма интересное изобрѣтеніе въ области телефоніи сдѣлано Симономъ въ видѣ поющей или говорящей вольтовой дуги. Если говорить въ микрофонъ, соединенный съ элементомъ, то въ цѣпи микрофона появятся, какъ извѣстно, токи перемѣнной силы. Говорящая дуга и основана на наложеніи постоянныхъ токовъ на подобные перемѣнные токи. Если отъ аккумуляторной батареи A (черт. 637) послать токъ въ вольтову дугу черезъ сопротивленіе W, то получается обыкновенная дуга. Но въ эту цѣпь можно ввести еще трансформаторъ (на черт. трансформаторъ обозначенъ буквой T); изъ 2 отдѣльныхъ катушекъ его одна, внутренняя прямо включена въ главную цѣпь и постоянно обтекается токомъ аккумулятора, другая же вводится въ цѣпь, заключающую микрофонъ M и элементъ P. Если говорить въ микрофонъ, то въ этой цѣпи возникаетъ токъ мѣняющейся силы, и этотъ токъ вызываетъ индукціонные токи въ первой катушкѣ. Эти мѣняющіеся токи налагаются на главный, постоянный токъ то усиливая, то ослабляя его. Вмѣстѣ съ силою тока колеблется и выдѣляемое имъ въ дугѣ джоулево тепло; сама дуга становится то холоднѣе, то горячѣе, воздухъ, помѣщающійся въ дугѣ расширяется то сильнѣе, то слабѣе, и такимъ образомъ получаются чередующіяся разрѣженія и сгущенія воздуха; такъ какъ темпъ этихъ разрѣженій и сгущеній совпадаетъ

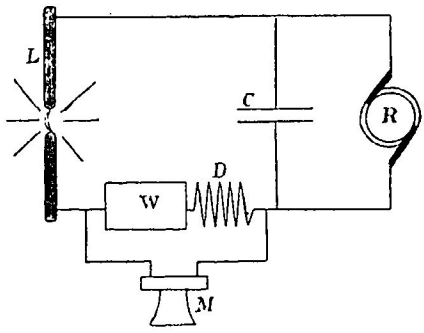
Черт. 637.



съ темпомъ тѣхъ воздушныхъ колебаній, которыя производятся передъ микрофономъ, въ видѣ рѣчи или пѣнія, то вольтова дуга и воспроизводитъ эти рѣчи и это пѣніе, т. к. наше ухо воспринимаетъ чередующіяся разрѣженія и сгущенія въ видѣ звуковъ. Такимъ образомъ получается любопытный результатъ, а именно: вольтова дуга воспроизводитъ звуки, произносимые передъ микрофономъ. Для того, чтобы опытъ этотъ удался, какъ слѣдуетъ, нужно прежде всего взять очень длинную вольтову дугу. Вмѣсто обычной длины въ 2—3 мм., нужно взять 5—10 см., для чего приходится вмѣсто 40 вольтъ напряженія примѣнять батарею въ 100 и болѣе вольтъ. Затѣмъ необходимо микрофонные токи сдѣлать довольно сильными; поэтому берутъ обыкновенно зернистый микрофонъ. Чтобы получить длинную вольтову дугу, угли вольтовой дуги пропитываютъ летучими солями.

Схемы включенія необходимыхъ аппаратовъ могутъ быть различны. Обыкновенно пользуются при этомъ противоположными свойствами реактивныхъ катушекъ и конденсаторовъ. Реактивная катушка (см. стр. 280) лишь съ трудомъ пропускаетъ перемѣнные токи, тогда какъ постоянный токъ проходитъ сквозь нее безъ особеннаго ослабленія, такъ какъ сопротивленіе ея очень невелико. Напротивъ того, конденсаторъ не пропускаетъ постояннаго тока, а перемѣнный токъ можетъ итти черезъ него (см. стр. 297). Поэтому можно (см. черт. 638) поступить такъ. Дуга питается отъ динамомашины или аккумуляторной батареи R. Микрофонъ же можно помѣстить въ отвѣтвленіе главной цѣпи, не употребляя особенной батареи, причемъ, пользуясь сопротивленіемъ W, легко можно получить на полюсахъ микрофона желаемую разность потенціаловъ, напр. 4 вольта. Въ цѣпь микрофона включается еще реактивная катушка D, а параллельно дугѣ вводится конденсаторъ C. Благодаря этому какъ постоянный, такъ и перемѣнный токи распространяются каждый по своему опредѣленному пути. Постоянный токъ идетъ отъ машины прямо въ лампу и черезъ сопротивленіе и реактивную катушку назадъ въ машину. Перемѣнные же токи, возникающіе въ микрофонѣ, не могутъ итти черезъ реактивную катушку и должны направиться черезъ дугу и конденсаторъ. Въ машину они также не могутъ итти, такъ какъ машина обладаетъ большою самоиндукціей. Поэтому имъ остается единственный путь, на которомъ они и выполняютъ свою задачу, а именно путь черезъ дугу, причемъ на этомъ пути ихъ не ослабляетъ никакая самоиндукція.

Черт. 638.



Такимъ образомъ можно заставить дугу звучать очень сильно, такъ что ее слышно въ большомъ залѣ, и она хорошо воспроизводитъ разнообразные звуки: рѣчь, свистъ, пѣніе, звуки разныхъ инструментовъ.

Тоны весьма чисты, такъ какъ воспроизводятся они непосредственно колеблющимся воздухомъ безъ посредства металлической мембраны и т. под., но къ нимъ иногда примѣшивается неожиданное шипѣніе самой дуги.

Можетъ быть, поющая и говорящая дуга найдетъ какія-нибудь примѣненія, такъ какъ она довольно громко воспроизводитъ звуки. До сихъ поръ, однако, она остается только интереснымъ научнымъ экспериментомъ.

ГЛАВА XV.

Безпроволочный телеграфъ.

Ничто ни свидѣтельствуетъ столь ясно объ огромныхъ успѣхахъ, которые сдѣлало наше знаніе объ электричествѣ и наше умѣніе управлять имъ, какъ наиболѣе молодая отрасль электротехники—безпроволочная телеграфія. Вѣдь всѣ мы живущіе теперь съ юныхъ лѣтъ привыкли мыслить электричество неразрывно связаннымъ съ проводами; намъ было извѣстно лишь то, что для проведенія электричества и его дѣйствій необходимо примѣнять металлическія проволоки. И вотъ уже упраздняется это, казалось бы, необходимѣйшее средство при пользованіи электричествомъ. Здѣсь особенно ярко иллюстрируется, какъ научные успѣхи въ познаніи электричества даютъ и совершенно новыя средства къ его использованію.

Что электричество можетъ дѣйствовать и на нѣкоторомъ разстояніи безъ посредства проволоки, было уже давно извѣстно; явленіе индукціи въ электростатикѣ такъ же, какъ и электромагнитная индукція, были наиболѣе замѣчательными изъ этихъ дѣйствій на разстояніи. Дѣйствія эти всегда были ограничены весьма небольшими разстояніями, и все же эти именно явленія съ ясностью показали, что электрическое дѣйствіе передается не только по проволокѣ, но и по окружающему проводникъ эфиру, который находится какъ въ воздухѣ, такъ и во всѣхъ тѣлахъ. Если зарядить электричествомъ какое-либо тѣло или послать по проволокѣ кратковременный токъ, то весь окружающій эфиръ приводится въ какое-то движеніе; это движеніе распространяется по эфиру, пока не встрѣтитъ другой проводникъ, въ которомъ либо появится наведенное электричество, либо пройдетъ токъ. Во всякомъ случаѣ электрическія движенія, возбужденныя такимъ образомъ въ эфирѣ, настолько слабы, что эти явленія наведенія и индукціи могутъ быть наблюдаемы лишь на самыхъ небольшихъ разстояніяхъ.

Совершенно другія соотношенія выступаютъ, если имѣть дѣло съ весьма быстро мѣняющимися электрическими движеніями. Чѣмъ быстрѣе становятся эти движенія, производимыя, напримѣръ, въ проволокѣ, тѣмъ съ большей силой возбуждаютъ они и окружающій

эфиръ и производятъ въ немъ также періодическія движенія, которыя распространяются по эфирному океану безъ помощи металлическихъ проводниковъ. Безпроволочная телеграфія всецѣло основана на открытіяхъ Генриха Герца, который впервые научилъ, какъ производить быстрыя электрическія колебанія. Нужно поставить въ большую заслугу итальянскому инженеру Маркони, что онъ своимъ чутьемъ техническаго изобрѣтателя понялъ примѣнимость этихъ волнъ къ практическимъ цѣлямъ. Когда Маркони впервые въ 1896 году выступилъ съ системой безпроволочной телеграфіи и на своихъ опытахъ въ Англіи и Италіи дѣйствительно осуществилъ телеграфное сообщеніе безъ проводовъ черезъ воздухъ, правда лишь на разстояніи въ 3—4 километра, все же еще нельзя было возлагать особыхъ надеждъ на этотъ способъ сообщенія. Даже спеціалистамъ не могло казаться вѣроятнымъ, чтобы этотъ способъ телеграфированія могъ дѣйствовать на сотни километровъ. Но вотъ прошло лишь 16 лѣтъ, и мы имѣемъ уже безпроволочное телеграфное сообщеніе между Англіей и Америкой.

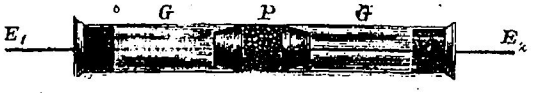
Такое поразительное развитіе совершенно новой отрасли техники объясняется, какъ и всегда, всестороннимъ изученіемъ относящихся къ этой области отдѣльныхъ вопросовъ. Какъ и всегда, первая идея была и здѣсь геніальна, однако сама по себѣ эта геніальность не приводитъ къ ощутимому результату безъ упорной систематической разработки отдѣльныхъ элементовъ. Помимо Маркони самого, который съ большою энергіей тотчасъ же испробовалъ различные пути, которые могли бы привести его къ дальнѣйшимъ успѣхамъ, цѣлому ряду ученыхъ и техниковъ различныхъ странъ удалось достичь важныхъ результатовъ въ этой области. Изъ нихъ слѣдуетъ назвать проф. Брауна въ Страсбургѣ и проф. Слаби въ Шарлотенбургѣ, схема которыхъ была выполнена Обществомъ безпроволочной телеграфіи въ Берлинѣ, такъ называемая система Телефункенъ. Система эта примѣнена на практикѣ во многихъ установкахъ.

Когда между двумя противостоящими заряженными проводниками проскакиваетъ электрическая искра, то одной этой искрой заряды не уравновѣшиваются такъ просто, какъ можетъ показаться съ перваго взгляда. Напротивъ того, въ обоихъ проводникахъ съ искрой между ними происходитъ движеніе электричества то въ одну сторону, то въ другую, т. е. колебательный разрядъ. Мы видѣли уже раньше на стр. 305, что причина этихъ колебаній заключается въ экстратокахъ, что слѣдовательно періодъ колебаній зависитъ не только отъ емкости проводниковъ, т. е. количества находящагося на нихъ электричества, но также и отъ самоиндукціи проводниковъ вмѣстѣ съ соединяющей ихъ проволокой. Эти электрическія колебанія не ограничиваются только данной системой изъ двухъ проводниковъ

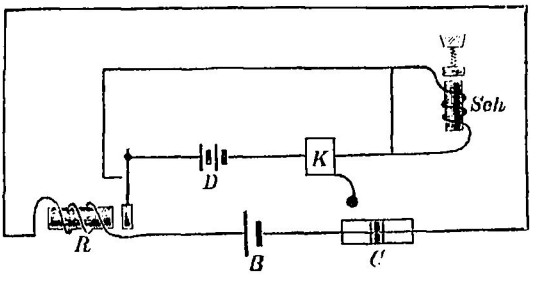
и искры. Они передаются и на эфиръ, окружающій проводники, и такъ какъ эфиръ—вездѣ и сплошенъ, его колебательное движеніе передается отъ проводниковъ, въ которыхъ происходятъ колебанія, во всѣ стороны по сферамъ, пока не встрѣтится какое-либо препятствіе. Въ этомъ заключалось великое открытіе Герца. Значеніе этого открытія стало еще болѣе яснымъ, когда было установлено, что скорость распространенія этихъ колебаній эфира огромна — именно равна скорости распространенія свѣта, при которой въ секунду проходится путь въ 300.000 километровъ.

Если электрическія колебанія, возникшія въ искровомъ промежуткѣ, распространяются волнообразно въ эфирѣ, такъ что черезъ короткій промежутокъ времени такія же колебанія будутъ происходить уже въ самомъ отдаленномъ мѣстѣ, то остается только доказать какимъ-либо образомъ присутствіе ихъ въ этомъ мѣстѣ. Наиболѣе простымъ и въ высшей степени чувствительнымъ приборомъ для этой цѣли можетъ послужить когереръ, изобрѣтенный Бранли; онъ изображенъ въ простѣйшемъ своемъ видѣ на черт. 639. Онъ нами былъ уже описанъ на стр. 323; тамъ же упомянуто, что когереръ постоянно соединенъ съ гальваническимъ элементомъ, и что послѣ прохожденія тока по когереру онъ автоматически дѣлается снова чувствительнымъ къ электрическимъ волнамъ посредствомъ простого постукиванія. Свободно лежащія въ P зерна порошка не пропускаютъ тока отъ элемента и только подъ вліяніемъ электрическихъ волнъ, попадающихъ на когереръ, они какъ бы свариваются и образуютъ собою проводящее тѣло. Такимъ образомъ когереръ обнаруживаетъ электрическія волны даже на большихъ разстояніяхъ отъ ихъ источника. Онъ особенно удобенъ еще потому, что работаетъ прямо, какъ релэ. Такъ какъ въ цѣпь когерера введена мѣстная батарея, то эта послѣдняя сама по себѣ можетъ производить сильное дѣйствіе въ то время, какъ воспринимаемыя когереромъ электрическія волны обладаютъ очень малой энергіей. Соединеніе приборовъ производится лучше всего по схемѣ черт. 640: когереръ C включается въ цѣпь несильной батареи B, послѣдовательно съ обыкновеннымъ елэ R. Послѣднимъ замыкается мѣстная цѣпь (съ батареей D), какъ

Черт. 639.



Черт. 640.



только когереръ становится проводящимъ подъ вліяніемъ приходящихъ волнъ. Въ мѣстную цѣпь можно включить и электрическій звонокъ K, такъ что каждую приходящую волну можно услышать по его звону. Можно также ввести параллельно звонку или вмѣсто него пишущій аппаратъ Морзе. Тогда, разъ только до когерера дойдетъ электрическая волна, онъ станетъ проводить токъ мѣстной батареи. Этотъ токъ приведетъ въ дѣйствіе одновременно и аппаратъ Морзе, штифтъ котораго нанесетъ на бумажную ленту знакъ. Если посылается короткій рядъ волнъ — для этого на станціи отправленія производятъ только одну искру—на лентѣ аппарата Морзе получится одна точка. Если же на станціи отправленія индукціонный аппаратъ будетъ замкнутъ на болѣе продолжительное время, то получается рядъ слѣдующихъ одна за другой искръ; ихъ волны падаютъ на когереръ, такъ что на лентѣ аппарата Морзе получается рядъ близко расположенныхъ точекъ. Если лента движется достаточно медленно, эти точки сливаются въ одну линію. Такимъ образомъ на отдаленной станціи получаются знаки въ видѣ точекъ и линій, и слѣдовательно можно пользоваться обыкновеннымъ алфавитомъ Морзе для телеграфированія.

Черт. 641.

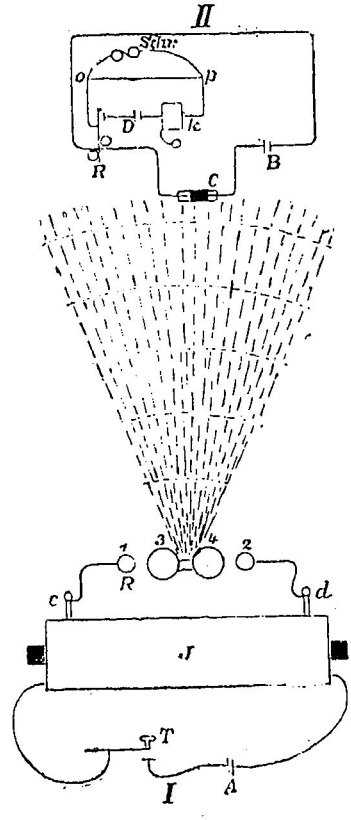


Схема расположенія приборовъ для подобныхъ опытовъ изображена на черт. 641. На станціи отправленія I имѣется батарея A, присоединенная къ первичной обмоткѣ индукціонной катушки J, при помощи ключа Морзе T. Концы вторичной обмотки c и d ведутъ къ вибратору Риги R, состоящему изъ 4 шариковъ 1, 2, 3, 4; такъ было устроено при первыхъ опытахъ Маркони. Два средніе шарика 3 и 4 погружены въ керосинъ. При всякомъ нажиманіи ключа T возникаетъ искра въ промежуткахъ между шариками 1 и 3, 2 и 4 и, наконецъ, 4 и 3. Эта послѣдняя самая активная. Эта искра приводитъ въ колебанія окружающій эфиръ, и волны этихъ колебаній распространяются все дальше по радіусамъ круговъ, какъ это показываютъ пунктирныя линіи. Отъ этого возбуждается на пріемной станціи II когереръ C, соединенный съ батареей B и чувствительнымъ релэ R. Какъ только когереръ замыкаетъ цѣпь, сдѣлавшись проводникомъ, токъ

идетъ черезъ релэ, замыкаетъ якорь релэ, а этотъ якорь замыкаетъ токъ мѣстной батареи. Въ этой цѣпи имѣется батарея D, ударникъ K и аппаратъ Морзе *Schr*. Аппаратъ Морзе начинаетъ писать, но въ то же время ударникъ ударяетъ по когереру, приводя его такимъ образомъ послѣ всякой волны въ первоначальное (непроводящее) состояніе, пригодное къ пріему новой волны. При каждомъ одиночномъ нажатіи ключа на станціи I аппаратъ Морзе даетъ точку, при болѣе продолжительномъ нажатіи—черту.

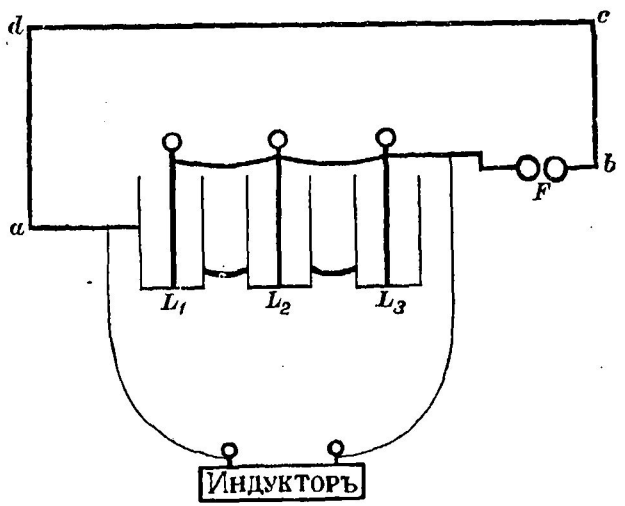
Это составляетъ принципъ безпроволочной или, какъ ее иначе называютъ, искровой телеграфіи. Однако, разобранная схема имѣетъ лишь лабораторное значеніе, и разстояніе, на которое удается передать сигналы помощью такихъ приборовъ, врядъ ли превышаетъ даже при благопріятныхъ условіяхъ 20 метровъ. Для телеграфной передачи на болѣе или менѣе далекое разстояніе такое устройство непригодно, такъ какъ въ искровомъ промежуткѣ вибратора Риги могутъ возбудиться лишь электрическія колебанія весьма небольшой энергіи, и потому волны, распространяющіяся отъ него приблизительно сферически, съ увеличеніемъ разстоянія настолько ослабѣваютъ, что уже не будутъ въ состояніи воздѣйствовать на когереръ.

Чтобы изъ этихъ лабораторныхъ опытовъ получилась система, дѣйствительно примѣнимая въ техникѣ, нужно было произвести рядъ тщательныхъ и глубокихъ изысканій относительно всѣхъ обстоятельствъ, играющихъ здѣсь какую-либо роль. Безъ дальнѣйшихъ объясненій понятно, что чѣмъ больше энергія, возбуждающая колебанія, тѣмъ сильнѣе дѣйствіе электрическихъ волнъ на всякомъ данномъ разстояніи. Энергія же, которую можно придать данному проводнику или данной системѣ проводниковъ, зависитъ отъ емкости. Чѣмъ меньше проводникъ, тѣмъ меньше его емкость, тѣмъ меньше количество электричества, которымъ его нужно зарядить для полученія даннаго напряженія, тѣмъ меньше, слѣдовательно, и энергія колебаній, возникающихъ при искровомъ разрядѣ проводника. Такимъ образомъ, цѣлесообразно принять системы проводниковъ большой емкости, чтобы получать колебанія достаточной мощности. Мы имѣемъ весьма удобные проводники большой емкости въ видѣ конденсаторовъ и лейденскихъ банокъ. Рядомъ параллельно соединенныхъ лейденскихъ банокъ можно получить емкость любой величины и, какъ это давно уже извѣстно, накапливать въ такой батареѣ очень большія количества электричества. На этомъ основаніи и приходятъ къ тому, чтобы возбуждать колебанія искровымъ разрядомъ батареи лейденскихъ банокъ. Съ другой стороны, однако, тутъ какъ-будто получается нѣкоторое отступленіе отъ первоначальнаго плана. Именно при искровомъ колебательномъ разрядѣ подобной системы лейденскихъ банокъ періодъ колебаній получается значительно большій, нежели съ небольшими провод-

никами, дѣйствовавшими въ опытахъ Герца, напримѣръ, съ вышеупомянутымъ вибраторомъ Риги. Поэтому и длина волнъ колебаній, возбуждаемыхъ въ эфирѣ при разрядѣ конденсаторовъ, значительно бо́льшая, чѣмъ при вибраторахъ Риги или Герца. Эти послѣдніе даютъ волны длиной въ нѣсколько сантиметровъ или въ крайнемъ случаѣ, какъ въ первыхъ опытахъ самого Герца, въ 3 мт. длиной; тогда какъ волны при разрядѣ конденсаторовъ достигаютъ длины въ 300, 500 и 1.000 мт., смотря по величинѣ лейденскихъ банокъ. Дѣйствительно, періодъ электрическихъ колебаній (стр. 308) тѣмъ больше, чѣмъ больше величина квадратнаго корня изъ емкости колеблющейся системы. Но чѣмъ больше періодъ колебаній, тѣмъ больше и длина волны. Это отступленіе отъ первоначальнаго плана опыта—примѣнять лишь весьма частыя колебанія—на самомъ дѣлѣ значенія не имѣетъ. Практика безпроволочнаго телеграфа показала, что прежнее мнѣніе, будто длина волны должна быть не больше нѣсколькихъ сантиметровъ или метровъ, совершенно ошибочно. Волны во сто кратъ большія и даже еще болѣе длинныя столь же хорошо пригодны для практической цѣли и даже болѣе пригодны, такъ какъ волны большей длины являются носителями большей энергіи. И, дѣйствительно, длины волнъ, которыми въ настоящее время пользуются въ безпроволочной телеграфіи, находятся въ предѣлахъ отъ 300 до 5000 мт. На много болѣе короткія волны непригодны для большихъ разстояній, вслѣдствіе малой своей энергіи.

По вышесказанному можно бы думать, что схема, приведенная на черт. 642, пригодна для безпроволочнаго телеграфированія на большія разстоянія. Здѣсь L_1, L_2 и L_3 три, включенныя параллельно лейденскія банки; у нихъ всѣ три внутреннія и всѣ три внѣшнія обкладки соединены проводниками. Помощью индуктора система банокъ заряжается, затѣмъ она тотчасъ же разряжается искрой въ искровомъ промежуткѣ F. Искра является соединеніемъ между внутренними и внѣшними обкладками банокъ. Этотъ ис-

Черт. 642.



кровой разрядъ колебательный; слѣдовательно, по всей системѣ *abcd* проходитъ колебательный токъ.

Однако, подобное устройство не обладаетъ почти никакимъ дѣйствіемъ на разстояніе; на небольшомъ разстояніи отъ него уже не замѣтно никакого индукціоннаго дѣйствія. Итакъ, хотя въ этой системѣ и возбуждаются колебанія искровымъ разрядомъ, однако здѣсь ихъ проявленіе совершенно иное, чѣмъ у колебаній, полученныхъ вибраторами Герца или Риги. Откуда же такое различіе?

Различіе въ томъ, что наша система замкнутая, тогда какъ система Герца или вибраторъ Риги незамкнуты. Въ опытахъ Герца (стр. 320, черт. 276) имѣлись двѣ прямыхъ проволоки, между которыми проскакивала искра; подобнымъ же образомъ расположены два шарика вибратора Риги. Здѣсь же мы имѣемъ почти замкнутый кругъ проводниковъ. Легко видѣть, что онъ можетъ оказать на разстояніе лишь весьма слабое дѣйствіе. Въ самомъ дѣлѣ, когда въ нижней части цѣпи движеніе электричества направлено слѣва направо отъ *a* къ *b*, то одновременно въ верхней части оно происходитъ по *c d* справа налѣво. На нѣкоторомъ разстояніи обѣ эти части даютъ колебанія противоположнаго смысла, которыя либо вовсе взаимно уничтожатся, либо сильно ослабятъ другъ друга. Отсюда слѣдуетъ: замкнутая колебательная система не оказываетъ дѣйствія на разстояніе; только открытая система возбуждаетъ въ эфирѣ распространяющіяся вдаль волны значительной мощности.

Итакъ, кажется, что наша система лейденскихъ банокъ какъ будто непримѣнима для безпроволочной телеграфіи, такъ какъ не обладаетъ достаточно сильнымъ дѣйствіемъ на разстояніе; съ другой же стороны и простой вибраторъ Герца также непригоденъ, такъ какъ ему можно придать лишь очень мало энергіи. Такимъ образомъ первая система съ банками вбираетъ много энергіи, но зато неспособна къ излученію. Шарики Риги обладаютъ излучательною способностью, но зато и очень малою энергіею.

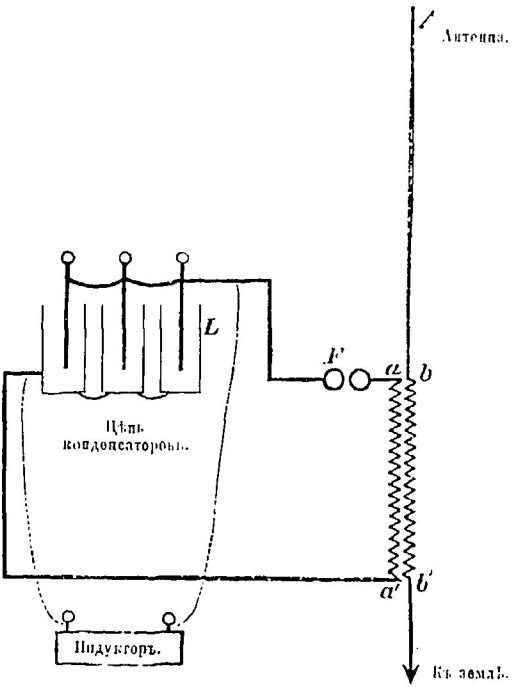
Это наводитъ на мысль, нельзя ли соединить оба эти метода и создать новый, обладающій преимуществами обоихъ и лишенный вмѣстѣ съ тѣмъ ихъ недостатковъ. Это и на самомъ дѣлѣ оказалось возможнымъ, и такая комбинація именно и дала толчокъ къ дальнѣйшему развитію безпроволочной телеграфіи. Нужно, значитъ, такимъ образомъ скомбинировать замкнутую систему съ незамкнутой, чтобы колебанія возникали въ замкнутой, а излучались бы незамкнутой системой. Этого можно достичь, сообщивъ колебанія замкнутаго контура системѣ разомкнутой — простой проволокѣ — либо индукціею, либо же приключеніемъ разомкнутой проволоки къ какой-нибудь точкѣ замкнутаго контура. Производится такъ называемая связь между замкнутой цѣпью, называемой также конденсаторной цѣпью,

и незамкнутой системой. Проволока, отъ которой исходятъ электрическія волны, и свойствами которой мы сейчасъ займемся, называется антенной. Маркони первый оцѣнилъ значеніе такой антенны.

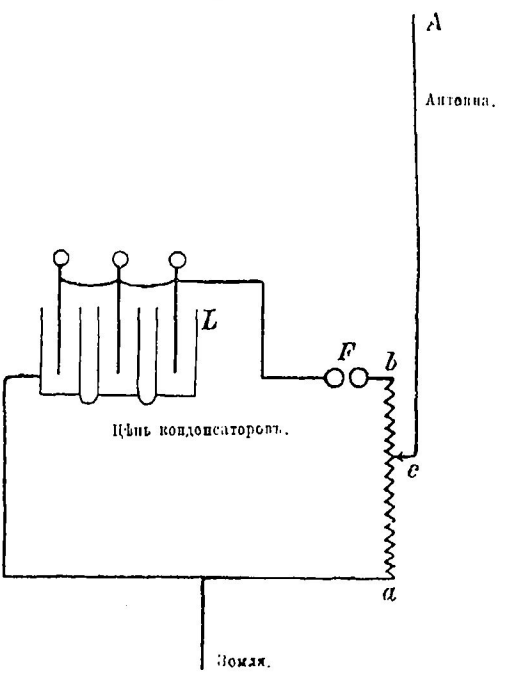
На черт. 643 дана схема подобной связи, которую точнѣе называютъ индуктивною связью. Въ конденсаторную цѣпь включена первичная катушка aa' трансформатора, индуктирующая во вторичную катушку bb', одинъ конецъ которой соединенъ съ землей, другой съ антенной. Катушки aa', bb' образуютъ такимъ образомъ трансформаторъ—именно трансформаторъ Тесла (такъ какъ колебанія тока весьма высокой частоты), который можно попутно использовать и для повышенія напряженія въ отправительной антеннѣ. Въ такой схемѣ колебанія, образованныя въ замкнутой цѣпи, индуктируются въ антеннѣ. Другой родъ связи антенны съ замкнутымъ контуромъ, встрѣчающійся чаще на практикѣ, изображенъ схематически на черт. 644. Такую связь называютъ прямой (автотрансформаторной). Здѣсь въ цѣпи конденсатора имѣется рядъ витковъ ab, къ одному изъ которыхъ приключена антенна.

Явленія, происходящія отъ подобной связи двухъ си-

Черт. 643.



Черт. 644.



стемъ—замкнутой и незамкнутой—нетрудно прослѣдить. Совершенно подобно тому, какъ въ акустикѣ каждый свистокъ, труба или струна отличаются своимъ строго опредѣленнымъ тономъ, который они и издаютъ, если вызвать ихъ колебанія, такъ и всякая система электрическихъ проводниковъ обладаетъ въ нѣкоторой степени опредѣленнымъ тономъ, т. е. производитъ колебанія, періодъ которыхъ зависитъ отъ качествъ цѣпи въ электрическомъ отношеніи. Именно двѣ величины—емкость и самоиндукція—опредѣляютъ главнымъ образомъ періодъ колебаній системы. Слѣдовательно и всякая антенна обладаетъ собственнымъ періодомъ колебаній, зависящимъ отъ ея емкости и самоиндукціи. Къ антеннѣ черт. 644 относится и участокъ цѣпи *ca* до земли. Если требуется возбудить въ антеннѣ колебанія достаточной силы помощью колебаній въ замкнутомъ контурѣ, то это окажется возможнымъ лишь въ томъ случаѣ, если періодъ колебаній въ антеннѣ соотвѣтствуетъ періоду колебаній конденсаторной цѣпи. Въ такомъ случаѣ наступаетъ такъ называемый резонансъ колебаній обѣихъ системъ. Совершенно подобно тому, какъ фортепіанная струна, напримѣръ, тона *a* начинаетъ звучать, если до нея дойдутъ колебанія *a*-камертона, такъ какъ въ этомъ случаѣ именно и имѣется резонансъ колебаній, такъ же обстоитъ дѣло и при электрическихъ колебаніяхъ. Отсюда слѣдуетъ, что незамкнутую систему слѣдуетъ выбирать такимъ образомъ, чтобы періодъ колебаній ея былъ одинъ и тотъ же, что и въ цѣпи конденсатора. Слѣдуетъ, какъ говорятъ, настроить антенну подъ конденсаторный контуръ. Когда это будетъ достигнуто, то на антеннѣ получатся такъ называемыя стоячія волны. У мѣста возбужденія колебаній, т. е. у *c* движеніе электричества наиболѣе сильное—здѣсь образуется пучность тока, на отдаленнѣйшемъ концѣ антенны движеніе будетъ наименьшее—тамъ будетъ узелъ тока.

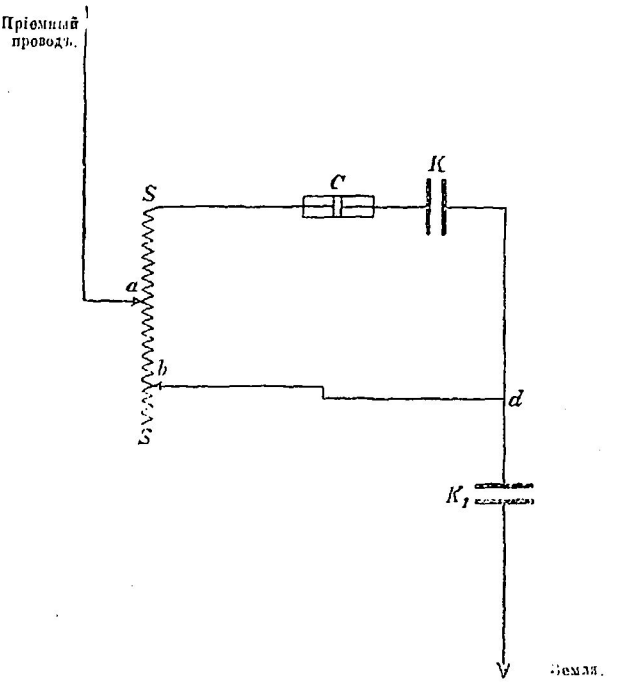
Такое соединеніе цѣпи конденсаторной съ антенной, объединяющее преимущества обѣихъ системъ, представляетъ собою изобрѣтеніе, которымъ безпроволочная телеграфія обязана проф. Брауну въ Страсбургѣ. Только помощью этой комбинаціи, которою воспользовался и Маркони вмѣстѣ съ другими, стало возможнымъ въ извѣстныхъ предѣлахъ увеличить въ любой степени энергію, предназначенную для излученія волнъ.

Какъ на станціи отправленія, такъ равно и на пріемной станціи имѣется антенна, которая воспринимаетъ колебанія, приходящія со станціи отправленія; съ нею соединенъ когереръ со всѣми сюда относящимися приборами. Цѣпь пріемнаго аппарата сочленена съ антенной пріемной станціи совершенно такъ же, какъ цѣпь конденсатора съ антенной станціи отправленія.

Связь цѣпей на пріемной станціи также можетъ быть либо автотрансформаторной, либо трансформаторной. На черт. 645 пока-

зана схема автотрансформаторной связи для когерера. Пріемная проволока приключается помощью скользящаго контакта въ точкѣ a катушки SS. Измѣненіемъ положенія a можно приключать къ пріемной проволокѣ большее или меньшее число витковъ. На чертежѣ витки отъ a до b приключены къ пріемной проволокѣ; отъ b идетъ проводъ черезъ d къ конденсатору K_1 и въ землю. Слѣдовательно, въ цѣпь пріемной проволоки включена и емкость (K_1), которую также можно варіировать. Къ трансформаторной катушкѣ приключенъ когереръ C и конденсаторъ K. Помощью ползунка b можно и въ этой цѣпи измѣнять величину включенной самоиндукціи и настраивать такимъ образомъ цѣпь когерера соотвѣтственно колебаніямъ пріемной антенны. Еще проще схема трансформаторной индуктивной связи.

Черт. 645.



Чтобы довести различные аппараты, относящіеся къ безпроволочной телеграфіи, до высшей степени чувствительности, всѣ эти аппараты, конденсаторы, антенны отправленія и пріемная должны находиться въ условіяхъ резонанса. Благодаря этому удается получить всѣ дѣйствія значительно болѣе сильными, а во многихъ случаяхъ использовать электрическія волны тамъ, гдѣ безъ явленія резонанса онѣ были бы совершенно недѣятельны.

Итакъ, періодъ собственныхъ колебаній конденсаторной цѣпи вмѣстѣ съ первичной обмоткой трансформатора долженъ быть одинаковъ съ періодомъ колебаній антенны отправленія вмѣстѣ съ ея вторичной обмоткой; точно также пріемная антенна вмѣстѣ съ соединенными съ нею аппаратами должна имѣть періодъ колебаній такой же, какъ и антенна станціи отправленія.

Такого соотвѣтствія можно достигнуть, регулируя съ одной стороны емкость конденсаторной цѣпи и ея самоиндукцію, съ другой—

приключая большее или меньшее число витковъ къ антеннѣ, въ которую, смотря по обстоятельствамъ, можно включить и конденсаторъ. Такимъ образомъ можно пріемную антенну или воздушный проводъ настроить на любой періодъ отправительной станціи. Помощью подобныхъ регулируемыхъ емкостей и самоиндукціи можно, кромѣ того, работать на станціи отправленія съ волнами различной длины при одной и той же антеннѣ, и равнымъ образомъ, если эта антенна должна служить для принятія волнъ, то ее можно такъ подрегулировать, что она будетъ въ резонансѣ съ опредѣленными приходящими къ ней волнами.

Вообще же нужно сказать, что резонансъ двухъ электрическихъ системъ явленіе далеко не столь простое, какъ въ музыкальныхъ инструментахъ. Если привести двѣ электрическихъ колебательныхъ системы отдѣльно одну отъ другой къ одному и тому же опредѣленному періоду колебаній (регулируя емкость и самоиндукцію ихъ цѣпей), то, казалось бы, можно быть увѣреннымъ въ полномъ ихъ резонансѣ; однако, если ихъ связать между собою такъ, чтобы онѣ представили одну систему, то все-таки между ними не будетъ полнаго резонанса; болѣе того, въ каждой изъ колебательныхъ цѣпей можно будетъ обнаружить не одно опредѣленное колебаніе, а два различныхъ; изъ нихъ одно имѣетъ періодъ болѣе длинный, другое—болѣе короткій, чѣмъ первоначальное колебаніе. Это измѣненіе наступаетъ именно потому, что системы связаны между собою и взаимно вліяютъ одна на другую.

Это взаимное вліяніе со всѣми проистекающими отсюда послѣдствіями можетъ быть количественно увеличено или уменьшено, если измѣнять связь между двумя колебательными системами. Можно сдѣлать связь слабою или тѣсною (см. стр. 333).

При тѣсной связи конденсаторной цѣпи съ антенной—и именно при трансформаторной схемѣ индуктирующая катушка (черт. 643) первой цѣпи и индуктируемая второй помѣщаются на весьма близкомъ одна отъ другой разстояніи. При этомъ взаимная индукція весьма велика, вторичная цѣпь вліяетъ на первичныя колебанія и наоборотъ; каждая цѣпь не имѣетъ опредѣленнаго періода колебаній, но имѣетъ ихъ два, которые тѣмъ болѣе расходятся между собою, чѣмъ тѣснѣе связь. При связи автотрансформаторной (черт. 644) тѣсная связь получится тогда, когда въ катушкѣ ab много витковъ общихъ обѣимъ системамъ, т. е. когда точка приключенія c антенны сдвинута относительно b далеко вверхъ.

При слабой связи, обратно, вторичная цѣпь настоль далеко отодвинута отъ первичной, что, хотя и находится еще подъ индукціею послѣдней, но замѣтнаго обратнаго дѣйствія уже не оказываетъ; такимъ образомъ, вторичная цѣпь уже не оказываетъ вліянія на коле-

банія первичной цѣпи. При автотрансформаторной связи (черт. 644) нужно точку c передвинуть внизъ, ближе къ a, чтобы связь была возможно слабѣе.

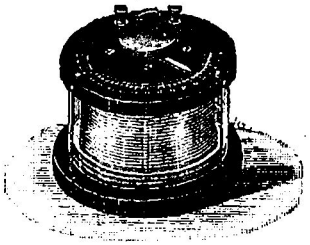
При слабой связи возможно вліяніе первой системы на вторую, но замѣтное обратное вліяніе второй на первую невозможно; въ этомъ можно убѣдиться, напримѣръ, при трансформаторной связи путемъ слѣдующихъ соображеній: индукціонные токи возбуждаются, какъ извѣстно, лишь при перерѣзываніи силовыми линіями индуктирующей цѣпи проводовъ индуктируемой цѣпи. Если, напримѣръ, изъ 100 силовыхъ линій, исходящихъ изъ первой системы, лишь 10 пересѣкутъ вторую цѣпь, то на нее перейдетъ слѣдовательно лишь 10% энергіи первой системы. Со второй на первую обратно перейдетъ опять не больше 10%, т. е. энергія первой цѣпи можетъ быть измѣнена реакціей второй лишь на 1%.

Мы видѣли, что, при тѣсной связи двухъ системъ, оба возникающія колебанія далеко расходятся по своимъ періодамъ колебаній и связанной съ этимъ длинѣ волны; при слабой связи это расхожденіе значительно меньше. Разница въ длинѣ волны обоихъ колебаній, возникающихъ при связи двухъ системъ, служитъ непосредственно мѣрой степени связи; ее обыкновенно выражаютъ въ процентахъ. Степень связи въ 20—30% означаетъ весьма тѣсную связь, въ 0,5% весьма слабую, въ 5—10% такъ же еще довольно слабую. Очевидно, что при тѣсной связи можно вторичную цѣпь возбудить весьма сильно, т. е., выражаясь акустически, получить весьма громкій звукъ; при слабой же связи вторичную цѣпь можно возбудить лишь въ слабой степени, т. е. получить звукъ значительно болѣе слабый. Казалось бы поэтому, что сильная связь имѣетъ несомнѣнное преимущество. На самомъ дѣлѣ однако это совсѣмъ не такъ: вслѣдствіе появленія двухъ періодовъ при сильной связи „звукъ“ получается громкій, однако недостаточно чистый, тогда какъ при слабой связи получается тонъ тихій, но зато чистый. Чѣмъ чище тонъ, чѣмъ опредѣленнѣе выдѣляется одинъ періодъ колебаній, тѣмъ въ болѣе острой формѣ можно вызвать всѣ явленія резонанса, что такъ важно для безпроволочной телеграфіи. Такимъ образомъ изъ двухъ неудобствъ приходится выбирать меньшее: либо тѣсную связь, дающую возможность хорошей передачи энергіи, но лишь плохого резонанса, либо слабую связь съ хорошимъ резонансомъ, но плохою передачею энергіи.

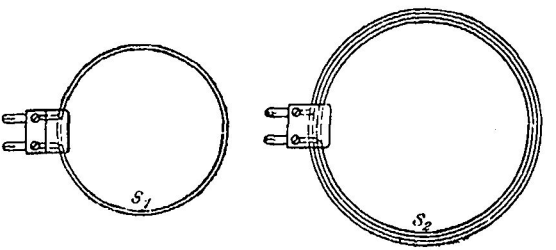
Изъ всего вышесказаннаго слѣдуетъ, что для практики безпроволочной телеграфіи оказалось необходимымъ получить возможность измѣрять безъ особо сложныхъ средствъ періоды собственныхъ колебаній открытой или замкнутой электрической системы, состоящей изъ конденсаторовъ (емкостей) и катушекъ (самоиндукціи).

Для этой цѣли служитъ волномѣръ, построенный Обществомъ безпроволочной телеграфіи, приборъ, дающій возможность просто опредѣлять длину волны, соотвѣтствующую данной системѣ. Онъ основанъ на принципѣ резонанса и состоитъ изъ конденсатора съ вращающимися пластинами, емкость котораго можетъ измѣняться въ широкихъ предѣлахъ, и нѣсколькихъ катушекъ самоиндукціи. Конденсаторъ, изображенный на черт. 646, тотъ же, о которомъ уже говорилось на стр. 33. Къ нему относится еще наборъ проволочныхъ колецъ, обладающихъ различною самоиндукціей; они изображены на черт. 647. Обыкновенно къ каждому волномѣру прилагается наборъ катушекъ изъ пяти ступеней самоиндукціи. Каждое такое кольцо соединяется съ конденсаторомъ посредствомъ проволочнаго шнура. Если такое кольцо (шпулю) установить противъ проволочнаго контура, въ которомъ происходятъ колебанія (при этомъ пользуются слабою связью), то по индукціи колебанія возбудятся и въ волномѣрѣ. Сила колебаній измѣряется слѣдующимъ образомъ: составляется по схемѣ черт. 648 цѣпь изъ конденсатора DK, самоиндукціи J и особой „катушки связи“ p (первичная обмотка), имѣющей еще и вторичную обмотку S, которая

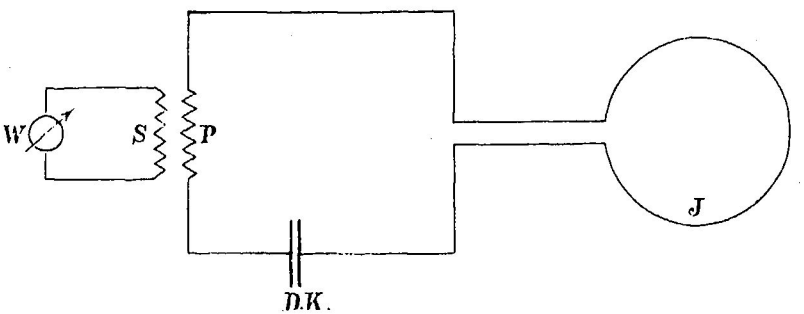
Черт. 646.



Черт. 647.



Черт. 648.

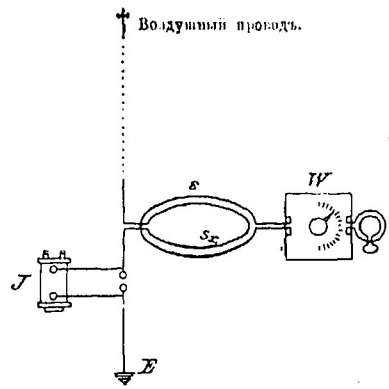


приключается къ зажимамъ теплового ваттметра W. Показанія ваттметра даютъ непосредственно мѣру энергіи проходящихъ черезъ данную систему колебаній. Чѣмъ сильнѣе колебанія въ волномѣрѣ, тѣмъ больше и отклоненіе стрѣлки ваттметра; если такимъ образомъ ко-

лебанія въ волномѣрѣ возбуждаются какою-либо колебательною системою, и колебанія этой системы и волномѣра находятся въ резонансѣ, то показаніе ваттметра максимальное. Можно установить разъ навсегда предварительною градуировкой, какому періоду, т. е. какой длинѣ волны соотвѣтствуетъ каждое положеніе пластинъ конденсатора при каждой (изъ пяти) приключенной катушкѣ самоиндукціи. Размѣры волномѣра подобраны съ такимъ расчетомъ, чтобы при наименьшей самоиндукціи и наименьшей емкости собственныя его колебанія имѣли длину волны въ 120 метровъ. При увеличеніи до максимума емкости съ той же самоиндукціей S_1 соотвѣтственная длина волны увеличится до 280 мт. Вторая катушка самоиндукціи S_2 при наименьшей емкости соотвѣтствуетъ длинѣ волны въ 250 мт.; поворотомъ пластинъ конденсатора можно увеличить длину волны до 570 мт.; включеніемъ слѣдующихъ катушекъ самоиндукціи длина волны въ концѣ концовъ доводится до 2900 мт. Длину волны можно отсчитывать непосредственно по шкалѣ конденсатора.

При пользованіи волномѣромъ для измѣренія неизвѣстной длины волны какихъ-либо колебаній, поступаютъ слѣдующимъ образомъ: требуется, напримѣръ, измѣрить длину волны колебаній воздушнаго провода (антенны), возбужденныхъ въ искровомъ промежуткѣ индукціоннаго аппарата I. Въ цѣпь антенны включаютъ одинъ витокъ S_x, мало вліяющій на характеръ колебаній; противъ этого витка на подходящемъ разстояніи располагаютъ катушку S самоиндукціи волномѣра (черт. 649) W такимъ образомъ, что образуется слабая связь; далѣе, измѣняютъ емкость и самоиндукцію прибора до тѣхъ поръ, пока ваттметръ не дастъ наибольшаго отклоненія. Въ этомъ случаѣ волномѣръ находится въ резонансѣ съ антенной, и отсчитываемая по его шкалѣ длина волны соотвѣтствуетъ также и колебаніямъ антенны.

Черт. 649.



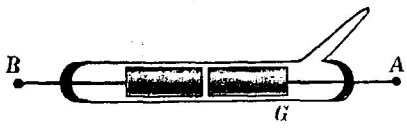
При пользованіи волномѣромъ задача «настройки» всѣхъ частей оборудованія безпроволочнаго телеграфа становится значительно проще.

Такимъ образомъ примѣненіемъ на отправительной станціи конденсаторной цѣпи и антенны получена возможность излучать въ формѣ электрическихъ волнъ большія количества энергіи; соотвѣтственной же настройкой аппаратовъ и удовлетвореніемъ условій резонанса можно передать сравнительно большую часть этой энергіи на пріемную станцію; теперь остается лишь придать аппаратамъ пріемной станціи воз-

можно большую чувствительность. Дѣйствительно, какъ бы ни была велика энергія, излучаемая станціей отправленія, при болѣе или менѣе отдаленной пріемной станціи до ея аппарата дойдетъ лишь небольшая доля этой энергіи. Такимъ образомъ выдвигается на первый планъ задача сдѣлать приборъ, обнаруживающій электрическія волны, возможно болѣе чувствительнымъ и расположить его такъ, чтобы дѣйствіе волнъ на него было наиболѣе выгоднымъ.

До послѣднихъ лѣтъ такимъ пріемнымъ приборомъ въ большинствѣ случаевъ служилъ когереръ. Онъ очень чувствителенъ и обладаетъ, какъ уже упомянуто выше, цѣннымъ свойствомъ релэ. Въ цѣляхъ повысить чувствительность когерера обращали большое вниманіе на его конструкцію, и такихъ конструкцій было предложено очень много. Въ особенности много работали надъ устраненіемъ ненадежности его работы; дѣйствительно случается, что когереръ вовсе не отвѣтитъ на колебанія или, отвѣтивъ на нихъ, не можетъ успокоиться. Ему часто придаютъ форму черт. 650. Въ стеклянной трубкѣ G 5 см. длиною и 3—4 мм. внутреннимъ діаметромъ помѣщены два серебряныхъ цилиндрика, почти заполняющіе просвѣтъ трубки. Разстояніе между торцами цилиндровъ, которые иногда скашиваются, лишь 0,5 мм.; оно заполнено опилками. По Маркони наилучшее дѣйствіе прибора получается при смѣси изъ 96% никкелевыхъ и 4% серебряныхъ опилокъ. Величина зернышекъ, которыя должны быть всѣ одинаковы и тщательно отсортированы, берется средняя, не слишкомъ малая, но и не слишкомъ большая. Тщательный подборъ зернышекъ обезпечиваетъ высокія качества когерера. Изъ трубки выкачиваютъ воздухъ до 1 мм. давленія, а затѣмъ ее запаиваютъ. По новѣйшимъ изслѣдованіямъ наиболѣе чувствителенъ когереръ, содержащій золотой порошокъ между алюминіевыми электродами.

Черт. 650.

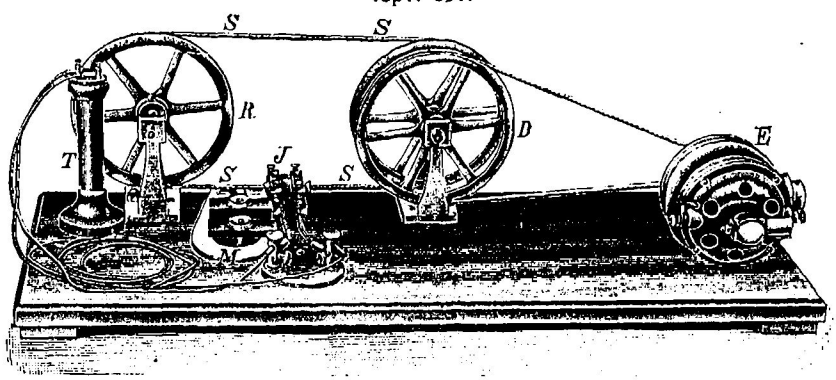


Долгое время когереръ былъ единственнымъ чувствительнымъ приборомъ для обнаруживанія электрическихъ волнъ, какой только былъ извѣстенъ. Однако съ теченіемъ времени были найдены еще и другіе пріемники, обозначаемые общимъ терминомъ индикаторовъ или детекторовъ электрическихъ волнъ; нѣкоторые изъ нихъ имѣютъ значительныя преимущества передъ когерерами, такъ что въ настоящее время когереръ совершенно исчезъ изъ практики безпроволочной телеграфіи.

Электрическія волны, какъ было случайно обнаружено, оказываютъ совершенно своеобразное дѣйствіе на магнитизмъ стальной иглы. Если постепенно увеличивать или уменьшать магнитизмъ такой иглы, приближая, напримѣръ, или удаляя отъ нея индуктирующій маг-

нитъ, то благодаря гистерезису (стр. 190) стальная игла не сразу получаетъ соотвѣтствующій магнитизмъ, но съ нѣкоторымъ запаздываніемъ. Если же на такую иглу падаютъ электрическія волны, то она сразу же воспринимаетъ соотвѣтственный магнитизмъ безо всякаго запаздыванія. Такое дѣйствіе волнъ и свойство стали нельзя было предвидѣть, оно было найдено опытнымъ путемъ. Дѣло происходитъ такимъ образомъ, будто колебанія «встряхиваютъ» молекулы желѣза и уничтожаютъ тѣмъ самымъ задерживающую силу—причину гистерезиса. Это явленіе Маркони примѣнилъ для конструкціи магнитнаго детектора въ видѣ прибора, показаннаго на чертежѣ 651. Вмѣсто того, чтобы передвигать магнитъ передъ стальною проволокой, онъ передвигаетъ проволоку передъ магнитомъ. Безконечный стальной тросъ S пробѣгаетъ по двумъ колесамъ R и D; послѣднее приводится во вращеніе электромоторомъ E. Тросъ S движется передъ полюсами магнита M; здѣсь онъ намагничивается, однако, бла-

Черт. 651.

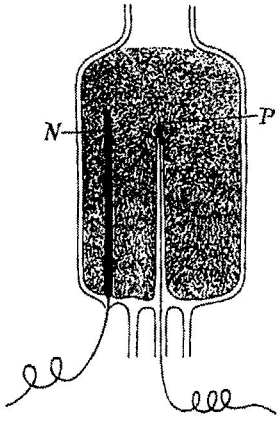


годаря гистерезису, не вполнѣ. Далѣе онъ проходитъ черезъ полость небольшого индукціоннаго прибора T, первичная обмотка котораго соединена съ одной стороны съ антенной, съ другой—съ землей, тогда какъ вторичная соединена съ телефономъ T. Каждая волна, принятая антенной, уничтожаетъ вліяніе гистерезиса, намагниченіе проволоки сразу мѣняется, а въ телефонѣ слышенъ шумъ. Этотъ магнитный детекторъ Маркони предпочелъ когереру для установокъ, предназначенныхъ дѣйствовать на большія разстоянія. Работа его весьма точна. Единственный присущій ему недостатокъ заключается въ томъ, что онъ соединяется не съ аппаратомъ Морзе, а съ телефономъ, такъ что при немъ нельзя уже читать подаваемые знаки, а можно лишь слышать ихъ.

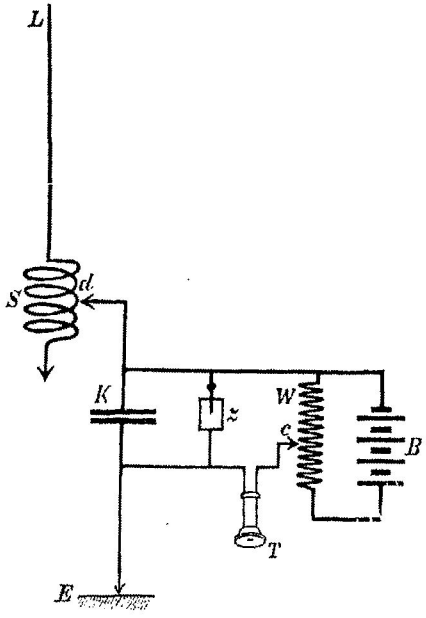
Другой индикаторъ волнъ былъ изобрѣтенъ въ 1903 году Шлемильхомъ и основывается опять на совершенно иномъ, также еще не вполнѣ выясненномъ, дѣйствіи волнъ. Пусть имѣется поляризаціонный

элементъ (стр. 168), жидкостью котораго служитъ растворъ кислоты, электродами—платина или золото; извѣстно, что такой элементъ имѣетъ опредѣленный предѣлъ поляризаціи. Если же въ роли поляризирующей батареи имѣть такую, электровозбудительная сила которой лишь на немного превосходитъ этотъ предѣлъ, то будетъ происходить весьма слабый электролизъ жидкости: на одномъ электродѣ выдѣляется кислородъ, на другомъ водородъ; черезъ элементъ проходитъ слѣдовательно лишь слабый токъ. Если одинъ изъ электродовъ именно тотъ, на которомъ выдѣляется кислородъ, сдѣлать весьма небольшой величины, то окажется, что выдѣленіе газовъ и прохожденіе тока въ сильной степени зависитъ отъ электрическихъ

Черт. 652.



Черт. 653.



волнъ, падающихъ на элементъ. Каждая волна, достигающая элемента, усиливаетъ проходящій черезъ него токъ и вызываетъ сильное выдѣленіе кислорода на маломъ электродѣ. Второй электродъ можетъ быть любой величины. Причина этого явленія также еще не вполнѣ выяснена; кажется, будто и здѣсь, какъ въ когерерѣ, электрическія волны уничтожаютъ переходное сопротивленіе между электродомъ и жидкостью. Каково бы ни было однако объясненіе, очевидно, что подобнымъ элементомъ можно также воспользоваться, какъ индикаторомъ волнъ. Это такъ называемый электролитическій детекторъ. На черт. 652 изображенъ такой приборъ. Въ стеклянномъ сосудѣ находится разбавленная сѣрная кислота; чрезъ его дно проходитъ толстая платиновая проволока N, служащая катодомъ, затѣмъ весьма тонкая, заключенная въ стеклянную трубочку платиновая (волластоновая) проволочка P, служащая анодомъ. Изъ стеклянной трубочки выдается лишь весьма небольшой кончикъ этой проволоки.

Діаметръ ея $^1/_{1000}$ мм., длина выступающаго конца $^1/_{100}$ мм. На схемѣ черт. 653 указанъ способъ, которымъ включаютъ, вмѣсто когерера въ роли пріемнаго прибора, такой элементъ въ цѣпь пріемной антенны. Электролитическій детекторъ обозначенъ черезъ z. Батарея B изъ 4 аккумуляторовъ присоединена не непосредственно къ элементу, но черезъ большое сопротивленіе W, отъ котораго токъ отвѣтвляется у скользящаго контакта c. Элементъ z питается слѣдовательно отвѣтвленнымъ токомъ, напряженіе котораго поэтому можно легко измѣнять и регулировать. Съ другой стороны, небольшой положительный электродъ элемента соединенъ съ антенной L, колебанія отъ которой передаются черезъ витки катушки S и контактъ d. Въ цѣпь детектора включается непосредственно телефонъ T, возбуждаемый каждой приходящей волной и позволяющій такимъ образомъ слышать всѣ знаки Морзе.

Этотъ электролитическій детекторъ работаетъ превосходно при очень небольшой поверхности положительнаго электрода; однако и здѣсь передача производится на телефонъ, и слѣдовательно нѣтъ возможности получать написанную депешу; это уже не считается теперь существеннымъ недостаткомъ для практики. Въ лабораторіяхъ этотъ пріемникъ служитъ обыкновенно при настройкѣ отдѣльныхъ частей установки.

Наибольшій однако успѣхъ за послѣдніе годы обусловленъ изобрѣтеніемъ такъ называемыхъ термодетекторовъ и контактныхъ детекторовъ. Это термоэлементы, состоящіе изъ двухъ проводниковъ, которые соприкасаются другъ съ другомъ подъ небольшимъ давленіемъ по возможности въ одной точкѣ. При наличности хотя бы весьма слабыхъ волнъ въ нихъ возникаютъ термотоки, которые возбуждаютъ въ телефонѣ звукъ. Матерьяломъ для тѣхъ частей термодетектора, которыя образуютъ контактъ, служитъ съ одной стороны металлъ, съ другой вещество вродѣ графита, свинцоваго блеска, сѣрнистой мѣди, двуокиси марганца и т. п. У «контактныхъ детекторовъ» примѣняются обыкновенно графитъ съ какимъ-либо минераломъ, напр. псиломеланъ [1]). Оба рода упомянутыхъ детекторовъ дѣйствуютъ опять лучше на телефонъ прямо, чѣмъ на релэ.

Всѣ эти виды лучепріемниковъ, а также еще и другіе, какія только существуютъ, различаются между собою главнымъ образомъ въ одномъ отношеніи, которое для практики имѣетъ особое значеніе. Чтобы когереръ, равно какъ и магнитный детекторъ, пришелъ въ дѣйствіе, необходимо, чтобы каждая изъ падающихъ волнъ приносила съ собою энергію не меньшую нѣкоторой опредѣленной минимальной. Только при наличности опредѣленнаго минимальнаго импульса коге-

[1]) Твердая марганцевая руда. *Перев.*

реръ становится проводящимъ. Недостаточно, чтобы рядъ слѣдующихъ другъ за другомъ волнъ обладали въ общей сложности этимъ минимумомъ энергіи. Когереръ не суммируетъ слѣдующихъ другъ за другомъ импульсовъ, онъ либо возбуждается, когда одна изъ этихъ волнъ несетъ достаточное количество энергіи, или совершенно не возбуждается. Когереръ такъ же, какъ и магнитный детекторъ относятся на этомъ основаніи къ несуммирующимъ пріемникамъ.

Напротивъ того, термодетекторъ—въ равной степени и электролитическій или контактный детекторы—приборы суммирующіе. Въ термодетекторѣ сущность дѣла заключается въ томъ, что одно мѣсто прикосновенія принимаетъ нѣсколько болѣе высокую температуру, нежели другое. Это явленіе произойдетъ какъ при одной сильной электрической волнѣ, такъ и при рядѣ слѣдующихъ другъ за другомъ слабыхъ волнъ. Каждая волна въ детекторѣ преобразовываетъ свою энергію въ тепловую, и эти количества тепла суммируются. Такимъ образомъ термодетекторъ можетъ реагировать на столь слабыя волны, при условіи достаточнаго ихъ числа, какихъ когереръ никогда не обнаружилъ бы.

Отсюда слѣдуетъ, что при примѣненіи когерера на пріемной станціи нужно посылать со станцій отправленія для каждаго знака одно или небольшое число достаточно энергичныхъ колебаній, при контактномъ или термодетекторѣ большое, сравнительно, число волнъ, хотя бы и небольшой энергіи.

Безпроволочная телеграфія въ ея современномъ развитіи пользуется какъ разъ вторымъ методомъ. Поэтому когереръ въ настоящее время совершенно исчезъ изъ практики безпроволочной телеграфіи; теперь употребляются еще лишь суммирующіе детекторы.

Выше мы говорили уже о значеніи настройки всѣхъ приборовъ другъ на друга и нашли, что при тѣсной связи, которая имѣетъ преимущество съ точки зрѣнія энергіи передаваемыхъ колебаній, получаются „двѣ волны", что неблагопріятно для настройки; при слабой связи, наоборотъ, получается одинъ періодъ, что обусловливаетъ собою возможность точной настройки.

Однако точность настройки одной электрической системы съ другою зависитъ въ сильной степени еще и отъ другого обстоятельства—отъ такъ называемаго затуханія колебаній въ проводникѣ. Электрическая энергія волнъ, циркулирующихъ въ ту и въ другую сторону по проводнику, благодаря омическому сопротивленію послѣдняго, постепенно преобразуется въ энергію тепловую, что вызываетъ затуханіе волнъ. Чѣмъ меньше омическое сопротивленіе цѣпи, тѣмъ большее число волнъ слѣдуютъ другъ за другомъ; чѣмъ сопротивленіе больше, тѣмъ быстрѣе слабѣютъ волны, обладающія вначалѣ достаточною интенсивностью, пока, наконецъ, не станутъ совершенно не-

замѣтными. Говорятъ: во второмъ случаѣ колебанія (сильно) затухающія. Если же колебанія въ какой-либо цѣпи сильно затухающія, то невозможно настроить другую какую-либо цѣпь до полнаго съ нею резонанса, такъ какъ лишь большое число колебаній одинаковой силы, приходящихъ къ цѣпи, подлежащей настройкѣ, въ состояніи возбудить ее до появленія собственныхъ ея колебаній достаточной интенсивности. При затухающихъ же колебаніяхъ слѣдующія одна за другой волны—неодинаковой интенсивности, поэтому резонирующее колебаніе получитъ лишь слабо выраженный максимумъ, точная настройка на резонансъ невозможна. Въ колебательныхъ системахъ, употребляемыхъ въ безпроволочной телеграфіи, наибольшее омическое сопротивленіе представляетъ собою искровой промежутокъ. Такимъ образомъ съ тою же искрой, которая возбуждаетъ колебанія, связана и причина ихъ прекращенія, ихъ затуханіе. Волны, возбужденныя искрой, суть волны затухающія, и достиженіе резонанса съ ними тѣмъ затруднительнѣе, чѣмъ сильнѣе это затуханіе.

Съ этой точки зрѣнія идеальныя условія для безпроволочной телеграфіи были бы достигнуты при возможности работать либо съ колебаніями совершенно незатухающими, либо, по крайней мѣрѣ, съ затухающими весьма мало. Въ виду того, что причина сильнаго затуханія лежитъ въ искрѣ, въ этой причинѣ возникновенія самихъ колебаній, то казалось бы, что путь къ достиженію этихъ идеальныхъ условій заключается въ томъ, чтобы совершенно отказаться отъ искрового разряда и найти другой способъ возбужденія колебаній столь же высокой частоты, но незатухающихъ.

Оказалось, что и въ чисто технической области не всегда нужно далеко за добромъ ходить, оно подъ рукою лежитъ; такъ и въ данномъ случаѣ, съ тѣми же средствами, вводя лишь легкія измѣненія, можно, вмѣсто болѣе или менѣе сильно затухающихъ колебаній, получить ничтожное затуханіе, т. е. удовлетворить почти идеальнымъ условіямъ, къ которымъ такъ давно стремились. И здѣсь опять лишь тщательное изученіе всѣхъ сторонъ явленія дало возможность такого прогресса. Какъ мы видѣли выше, электрическая искра, вызывающая колебанія, сама же первая вызываетъ и затуханіе ихъ своимъ сопротивленіемъ. Поэтому въ обыкновенной конденсаторной цѣпи съ искровымъ промежуткомъ циркулируютъ сильно затухающія колебанія, которыя въ тѣсно связанной съ этою цѣпью антеннѣ вызываютъ два колебанія съ различными періодами. Сопротивленіе искрового промежутка въ данномъ случаѣ достаточно велико, чтобы вызвать сильное затуханіе, но недостаточно, чтобы вовсе ихъ уничтожить тотчасъ же по возникновеніи. Съ другой стороны, сопротивленіе искрового промежутка тѣмъ больше, чѣмъ меньше сила тока — очевидно, изъ-за меньшаго въ этомъ случаѣ нагрѣванія воздуха. Если же примѣнить

весьма малыя искры, т. е. токи небольшой силы, то вскорѣ послѣ первой волны сопротивленіе становится настолько большимъ, что въ конденсаторной цѣпи колебанія погасятся совсѣмъ. Такимъ образомъ, при пользованіи подобными малыми искрами получаютъ тотъ замѣчательный результатъ, что послѣ перваго сильнаго колебанія въ цѣпи конденсатора прекращаются всякія колебанія. Если теперь съ этою цѣпью тѣсно связана антенна, то колебательный импульсъ этой цѣпи возбудитъ колебанія и въ антеннѣ, гдѣ они и будутъ продолжаться, несмотря на полное успокоеніе конденсаторнаго контура, съ періодомъ свойственнымъ антеннѣ. Затуханіе антенны самой по себѣ весьма невелико, такъ какъ цѣпь ея образована изъ хорошихъ проводниковъ безъ искрового промежутка. Отсюда видно, что такимъ способомъ, помощью весьма короткихъ искръ антенна возбуждается къ излученію весьма слабо затухающихъ колебаній. Конденсаторная цѣпь дастъ лишь первый толчекъ, а затѣмъ уже антенна колеблется самостоятельно.

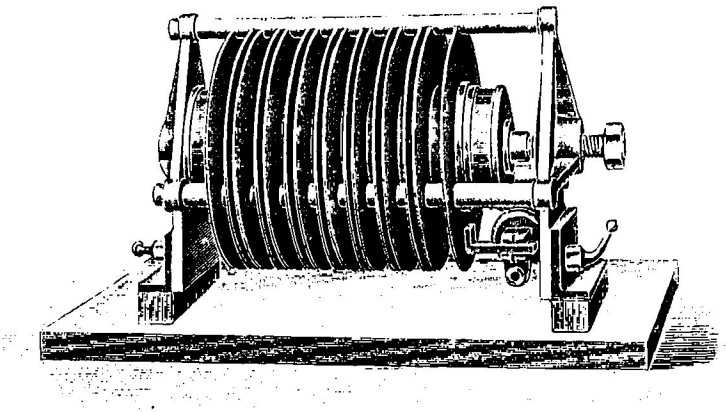
Этотъ способъ и называютъ—возбужденіе ударомъ. Небольшія искры, вызывающія эти замѣчательныя явленія, называются гасящимися искрами. Въ нихъ слѣдовательно найдено простое и весьма цѣлесообразное средство для излученія со станціи отправленія колебаній весьма мало затухающихъ; съ такими колебаніями уже нетрудно настроить въ резонансъ различные пріемные аппараты. Различныя общества безпроволочной телеграфіи воспользовались этимъ методомъ—и достигали повсюду прекрасныхъ результатовъ. Система эта при своемъ проведеніи оказалась обладающею еще рядомъ дальнѣйшихъ преимуществъ въ сравненіи съ другими. Такъ какъ конденсаторная цѣпь успокаивается тотчасъ же послѣ перваго импульса колебаній, то въ каждую секунду можно дать цѣлый рядъ такихъ искръ, нѣсколько сотенъ, и каждая изъ нихъ будетъ снова возбуждать колебанія антенны. Нѣсколько сотъ такихъ искръ, т. е. нѣсколько сотъ зарядовъ и разрядовъ даютъ музыкальный тонъ опредѣленной высоты—искры начинаютъ пѣть.

Поэтому подобную систему называютъ системой поющихъ искръ. Съ тѣмъ же самымъ музыкальнымъ тономъ—конечно, неслышно—излучаются антенной серіи волнъ, которыя приходятъ къ пріемной станціи; антенна этой послѣдней начинаетъ колебаться въ томъ же «тонѣ», который далѣе черезъ посредство детектора возбуждается и въ телефонѣ въ видѣ слышимаго звука, передающаго поданные знаки. Если въ секунду производится 500 либо 1000 искръ, то во второмъ случаѣ на пріемной станціи знаки воспринимаются въ тонѣ на октаву выше, чѣмъ въ первомъ.

Нужно помнить, что, конечно, не электрическія волны даютъ слышимые звуки, но лишь тотъ темпъ, въ которомъ эти волны каждый

разъ вновь возбуждаются. На станціи отправленія по этой системѣ слѣдуетъ получать лишь весьма малыя искры. Чтобы вмѣстѣ съ тѣмъ

Черт. 654.



имѣть дѣло все же съ большими количествами энергіи, общество «Телефункенъ» разработало особый разрядникъ (черт. 654).

Состоитъ онъ изъ отдѣльныхъ искровыхъ промежутковъ, включенныхъ въ цѣпь послѣдовательно одинъ за другимъ. Отдѣльные искровые промежутки имѣютъ кольцеобразную форму. Матеріаломъ служитъ мѣдь или серебро, высокая теплопроводность которыхъ улучшаетъ условія быстраго загасанія. Искра проскакиваетъ гдѣ-либо между кольцевыми электродами и быстро выталкивается къ наружному краю дисковъ электродинамическимъ дѣйствіемъ тока. Большая площадь для образованія искры имѣетъ еще тотъ смыслъ, что температура дисковъ не поднимается. Тогда искра гаснетъ быстро.

Черт. 655.

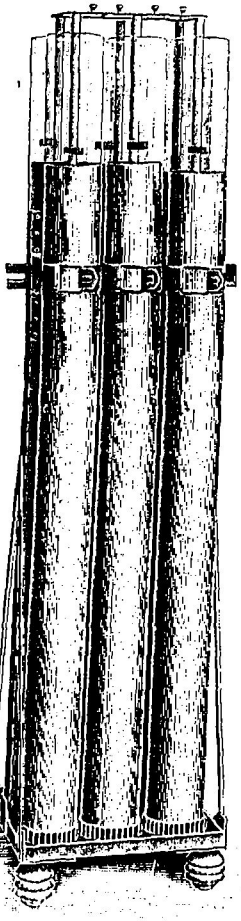


Въ практикѣ безпроволочной телеграфіи сразу же появилась потребность работать не съ одною только опредѣленною длиною волны, но съ различными; равно какъ и принимать депеши, переданныя помощью колебаній различной длины волны. Это, во-первыхъ, важно для пріемной станціи, такъ какъ она, находясь, напримѣръ, на кораблѣ, должна принимать телеграммы съ различныхъ станцій, работающихъ колебаніями разной длины волны. Однако могутъ быть случаи и на станціи отправленія, когда приходится работать съ волнами различной длины, чтобы дать возможность отличить собственные знаки отъ другихъ, летящихъ чрезъ океанъ эфира изъ постороннихъ источниковъ.

Чтобы получить возможность подобнаго измѣненія длины волны, нужно лишь обладать перемѣнными въ доста-

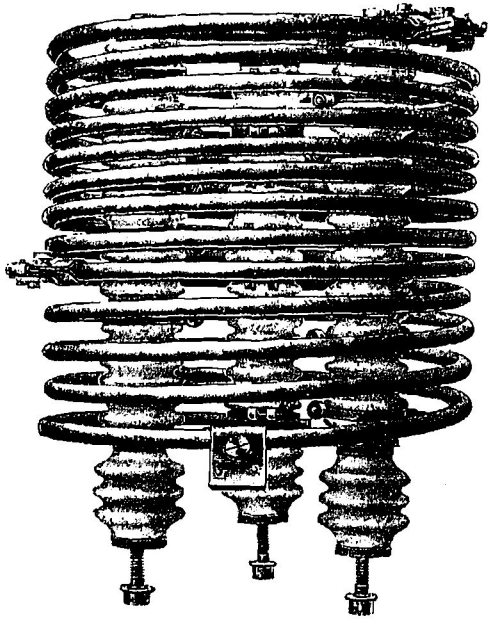
точно широкихъ предѣлахъ самоиндукціей и емкостью. Въ замкнутой цѣпи станціи отправленія и въ настроенной съ нею незамкнутой цѣпи антенны возбуждаются при помощи этихъ перемѣнныхъ самоиндукціи и емкости колебанія любой длины волны. Въ качествѣ емкости обыкновенно пользуются батареей лейденскихъ банокъ, измѣняя ихъ число и величину. На черт. 655 показана такая лейденская банка длиною 1,3 мт., обложенная какъ внутри, такъ и снаружи станіолью. Каждая банка обладаетъ емкостью приблизительно въ 12.000 см. (см. стр. 33). Рядъ такихъ банокъ, показанный на черт. 656, монтируется на общей подставкѣ, такъ что по желанію можно быстро включать такія батареи послѣдовательно или параллельно.

Черт. 656.



Витки проволоки, которыми пользуются въ конденсаторныхъ цѣпяхъ, какъ самоиндукціею, принимаютъ на мощныхъ станціяхъ

Черт. 657.

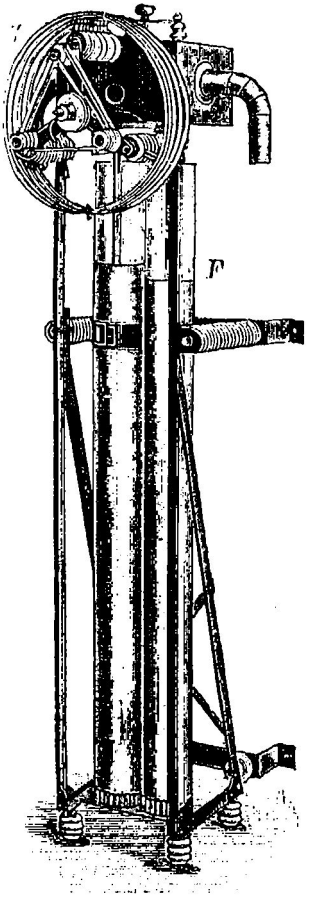


весьма большіе размѣры. На черт. 657 изображенъ подобный соленоидъ изъ посеребренныхъ мѣдныхъ трубъ, монтированный на трехъ фарфоровыхъ столбахъ. Катушка снабжена тремя передвижными контактами: два для приключенія батареи лейденскихъ банокъ и искроваго промежутка, одинъ для антенны. Смотря по тому, какое число витковъ включено въ цѣпь, антенна излучаетъ колебанія той либо другой длины волны.

Для обслуживанія станціи отправленія пользуются перемѣннымъ токомъ. Мощность станцій мѣряютъ по числу киловаттъ, которое можетъ излучить антенна. Станціи средней величины какъ на землѣ, такъ и на судахъ бываютъ мощностью отъ 1 до 2,5 киловаттъ, малыя станціи — 0,2 киловатта и больше и, наконецъ, большія доходятъ даже до 25 и больше киловаттъ.

На станціяхъ въ 1,5 киловатта, которыя устанавливаются на коммерческихъ судахъ, и вообще на небольшихъ установкахъ, въ конденсаторную цѣпь включаются двѣ лейденскія банки и катушка самоиндукціи, сконструированныя въ одинъ приборъ (черт. 658). Здѣсь F — лейденскія банки, S — катушка самоиндукціи. Перемѣнный токъ отъ альтернатора трансформируется на 8.000 вольтъ и подводится къ передатчику.

Черт. 658.

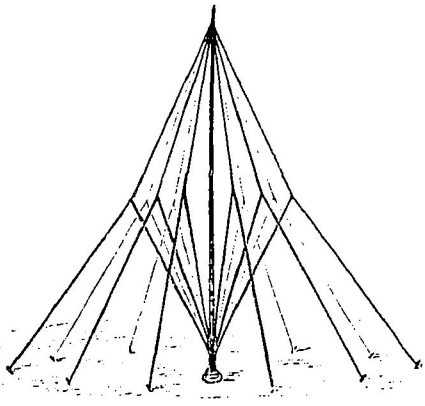


Три различныхъ зажима на катушкѣ самоиндукціи соотвѣтствуютъ тремъ постояннымъ длинамъ волны въ 300, 450 и 600 метровъ. Въ другихъ случаяхъ, на большихъ станціяхъ самоиндукцію можно измѣнять не скачками, но непрерывно, помощью такъ называемаго варіометра, о которомъ, однако, здѣсь говорить не приходится.

Съ конденсаторной цѣпи передатчика нужно передать энергію на передающую антенну. Въ системѣ поющихъ искръ антенна обыкновенно связывается довольно тѣсно, поэтому на нее можно передавать сравнительно большую энергію.

Воздушный проводъ, антенна въ настоящее время не дѣлается просто изъ одной незамкнутой проволоки; она представляетъ собою цѣлую систему проволокъ, обладающую уже сравнительно большою емкостью. Обыкновенно къ прямолинейному воздушному проводу присоединяется нѣсколько другихъ проволокъ въ различныхъ положеніяхъ; все это вмѣстѣ образуетъ большую емкость. Если, напр., эти проволоки сверху воздушнаго провода идутъ внизъ и затѣмъ протянуты вблизи земли, то емкость системы значительно увеличивается, такъ какъ проволоки и земля образуютъ конденсаторъ. Такую большую емкость примѣняютъ по большей части на неподвижныхъ станціяхъ, которыя работаютъ съ волнами весьма большой длины.

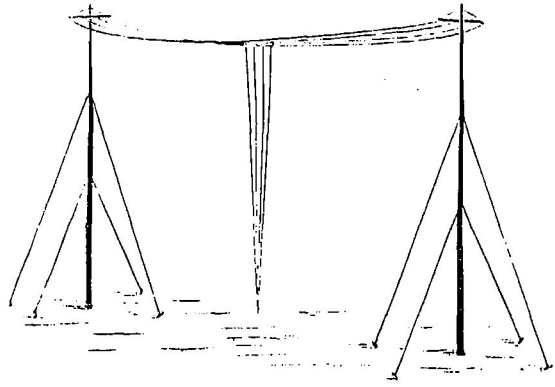
Черт. 659.



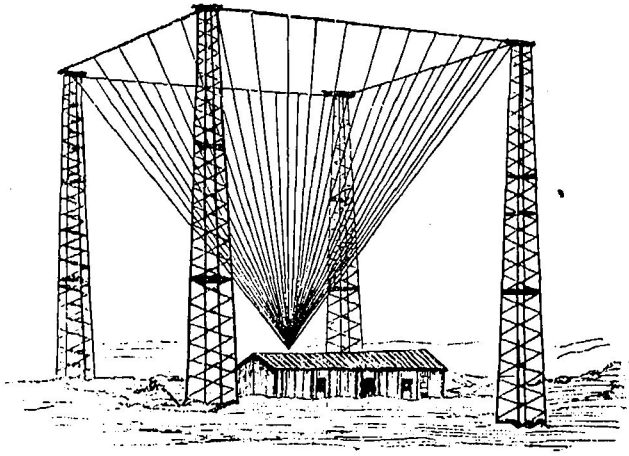
По своей формѣ антенны дѣлятся на два типа: Такъ называемыя Т-образныя и зонтичныя антенны. На черт. 659—661 приведено нѣсколько видовъ воздушной сѣти. На черт. 660 изображена Т-антенна, черт. 661 даетъ антенну второго типа, имѣющую видъ воронки; такая форма примѣняется на самыхъ большихъ станціяхъ.

Емкость антенны приведенной выше 1,5 киловаттной станціи составляетъ отъ 500 до 1000 см. Для измѣненія длины волны антенны и для согласованія ея съ длиной волны возбуждающей цѣпи въ цѣпь антенны также включаютъ самоиндукцію, т. е. одинъ или нѣсколько соленоидовъ, которые въ данномъ случаѣ называютъ удлинительными. Включеніемъ амперметра (перемѣннаго тока) въ цѣпь антенны можно опредѣлить моментъ достиженія резонанса колебаній. Именно въ этотъ моментъ сила тока въ антеннѣ наибольшая.

Черт. 660.

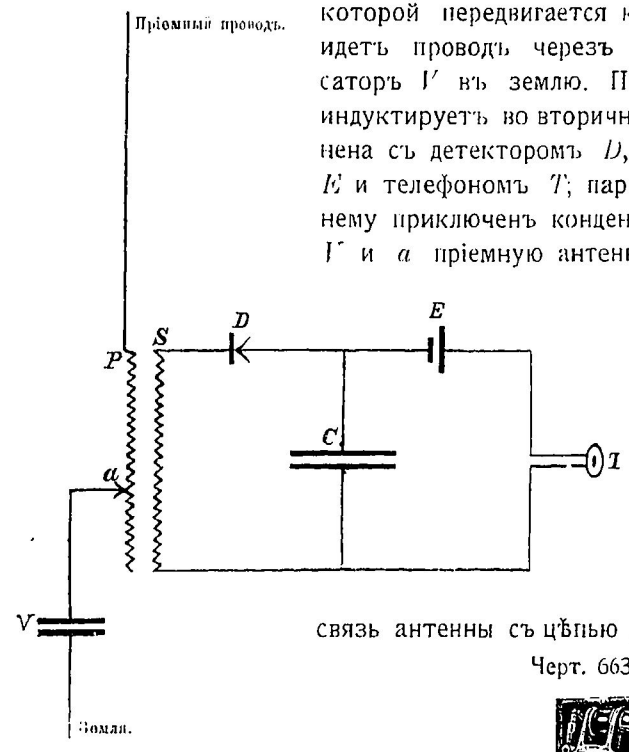


Черт. 661.



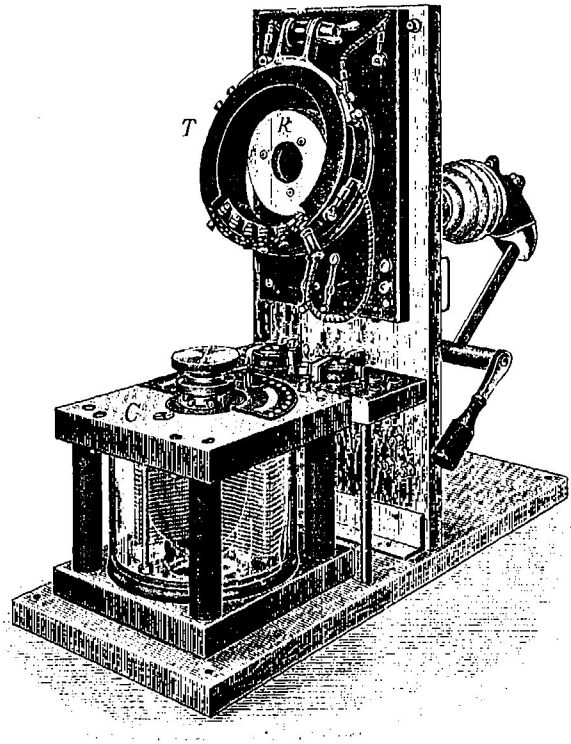
На пріемной станціи детекторы въ большинствѣ случаевъ связываются съ пріемной антенной трансформаторнымъ способомъ. Для электролитическаго детектора пригодна схема черт. 662. Въ цѣпь

Черт. 662.



антенны включается первичная обмотка P, по которой передвигается контактъ a; отъ него идетъ проводъ черезъ перемѣнный конденсаторъ V въ землю. Первичная обмотка P индуктируетъ во вторичную S, которая соединена съ детекторомъ D, сухимъ элементомъ E и телефономъ T; параллельно къ послѣднему приключенъ конденсаторъ C. Помощью V и a пріемную антенну настраиваютъ на резонансъ съ приходящими колебаніями. Наоборотъ, собственно цѣпь детектора часто, какъ и въ приведенной только-что схемѣ, вовсе не настраивается — она аперіодична. Лишь связь антенны съ цѣпью детектора, т. е. трансформаторъ PS устраивается перемѣннымъ. Этотъ пріемный трансформаторъ въ настоящее время имѣетъ форму, представленную на черт. 663. Внѣшняя катушка T можетъ поворачиваться относительно внутренней R, благодаря чему измѣняется взаимная индукція, т. е. связь цѣпей. Перемѣннымъ конденсаторомъ C служитъ тотъ же приборъ съ вращающимися пластинами, который уже описанъ выше на стр. 33. Ког-

Черт. 663.



да стали пользоваться на практикѣ мало и почти вовсе незатухающими колебаніями, оказалось возможнымъ настраивать пріемную антенну настолько точно, что всѣ приходящіе комплексы волнъ возбуждаютъ детекторъ и связанный съ нимъ телефонъ достаточно сильно, такъ что всѣ эти комплексы, состоящіе каждый изъ многихъ импульсовъ, воспроизводятся телефономъ, какъ музыкальный звукъ.

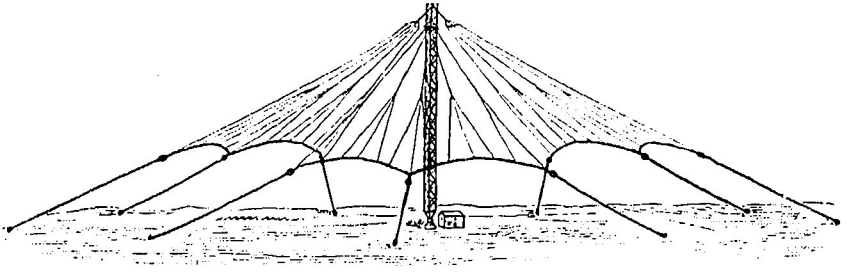
Практикою безпроволочной телеграфіи признано необходимымъ, чтобы лицо, принимающее депеши, было сначала предупреждено какимъ-либо сигналомъ о томъ, что съ нимъ будутъ говорить. При современной телефонной пріемкѣ знаковъ это не такъ-то просто устроить. Однако въ виду того, что контактные детекторы—приборы суммирующіе, затрудненіе это обошли тѣмъ, что для вызова со станціи отправленія въ теченіе 10 секундъ посылаютъ рядъ искръ. Дѣйствія большого числа появляющихся при этомъ токовъ складываются въ детекторѣ и даютъ достаточный импульсъ для отклоненія стрѣлки гальванометра Депре; благодаря движенію этой стрѣлки замыкается небольшая батарея на цѣпь звонка. По такому сигналу телеграфистъ включаетъ вмѣсто гальванометра Депре свой телефонъ и начинаетъ пріемку знаковъ.

Если въ нѣсколькихъ главныхъ чертахъ схематически представить главнѣйшіе этапы развитія безпроволочной телеграфіи, прослѣдивъ, какъ она ушла до современнаго своего развитія отъ первыхъ опытовъ Герца, то получается слѣдующая схема: 1. Примѣненіе излучающей антенны. 2. Возбужденіе волнъ большого періода (100—300 мт.) въ цѣпи лейденскихъ банокъ. 3. Связь антенны съ конденсаторною цѣпью съ одной стороны и съ пріемнымъ аппаратомъ съ другой. 4. Настройка (резонансъ) всѣхъ частей между собой какъ на станціи отправленія, такъ и на пріемной. 5. Примѣненіе суммирующихъ детекторовъ (контактныхъ детекторовъ). 6. Возможное повышеніе излучаемой энергіи. 7. Измѣнимость длины рабочей волны на станціи отправленія и удобная регулировка пріемнаго аппарата на каждую приходящую волну. 8. Примѣненіе волнъ съ возможно малымъ затуханіемъ посредствомъ возбужденія ударомъ.

Безпроволочная телеграфія при нормальныхъ условіяхъ конечно не можетъ конкурировать съ обычной телеграфіей съ проводами, да и не стремится къ этому. Она представляетъ собою лишь весьма полезное расширеніе области телеграфіи на такія условія, гдѣ соединеніе проводомъ либо невозможно, либо возможно съ большими затрудненіями. Наибольшее примѣненіе до послѣдняго времени она нашла на судахъ для сообщенія ихъ съ сушей и между собою. Антенны въ этихъ случаяхъ монтируются на судовыхъ мачтахъ и на прибережныхъ маякахъ. Съ абсолютной надежностью въ настоящее время, не-

зависимо отъ системы, даже пользуясь болѣе простыми аппаратами, можно телеграфировать на разстоянія 300—600 километровъ. Однако это не есть наибольшее достижимое или достигнутое разстояніе. Послѣднее зависитъ отъ мощности станціи и величины излучаемой энергіи. Въ Германіи наибольшая станція находится около Берлина въ Науенѣ; оборудована эта установка Обществомъ Безпроволочной Телеграфіи. Антенна ея представляетъ собою грандіозную конструкцію

Черт. 664.



(черт. 664). Средняя ея часть представляетъ собою треугольную башню высотою въ 100 мт. и шириною грани 4 мт., желѣзной конструкціи съ внутреннею лѣстницею, ведущею къ вершинѣ. Съ вершины башни расходится во всѣ стороны зонтиковая антенна, площадь которой доходитъ до 60.000 кв. мт. Размѣры аппаратовъ внутренняго оборудованія, приспособленные къ системѣ музыкальныхъ искръ, уже не такъ огромны, хотя все же достаточно внушительны. Батарея лейденскихъ банокъ, состоявшая до введенія системы музыкальныхъ искръ изъ 360 большихъ въ человѣческій ростъ банокъ, въ настоящее время содержитъ 36 банокъ, которыя однако въ секунду заряжаются 1000 разъ. Антеннѣ передается мощность колебаній въ 32.000 ваттъ. Помощью этой станціи въ настоящее время удается телеграфировать на разстояніе 4000 километровъ надъ материкомъ, а надъ водой, на пароходы даже до 5000; при этомъ, однако, предѣлъ еще не достигнутъ. Наибольшаго успѣха достигъ до сихъ поръ все же Маркони, который съ рѣдкою предусмотрительностью, искусствомъ и изобрѣтательностью вводитъ все новыя, значительныя и цѣнныя усовершенствованія въ этой области электротехники; ему же удалось осуществить грандіозный планъ регулярнаго сообщенія Англіи съ Америкой помощью безпроволочнаго телеграфа.

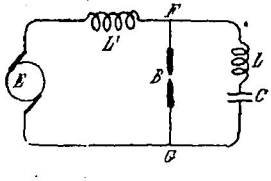
При столь большихъ разстояніяхъ, при которыхъ, вслѣдствіе кривизны земного шара, между обѣими станціями оказывается препятствіе въ километры вышиной, возникаетъ вопросъ, распространяются ли, дѣйствительно, волны только по воздуху. Такое положеніе дѣла было бы довольно неправдоподобно. Въ дѣйствительности волны распространяются большею частью вдоль поверхности земли. Этимъ легко

объясняется то обстоятельство, что безпроволочная телеграфія возможна на значительно большія разстоянія надъ поверхностью моря, чѣмъ надъ сушей. Вода моря передаетъ электрическія волны вдоль своей поверхности лучше, чѣмъ земля.

Достойно удивленія, какъ современная техника дошла до такихъ результатовъ, несмотря на то, что искра, на которой основывается весь методъ, представляетъ собою, вообще говоря, элементъ капризный, противорѣчащій, казалось, бы отвѣтственнымъ цѣлямъ техники. По этой причинѣ стремленія техниковъ долгое время были направлены также и въ сторону исканія новаго метода для возбужденія быстро перемѣнныхъ токовъ, безъ помощи ненадежной искры, которой, помимо всего прочаго, свойственъ недостатокъ излучать лишь затухающія колебанія.

Но какъ это сдѣлать? Извѣстный датскій изобрѣтатель Паульсенъ, которому техника обязана телеграфономъ (стр. 766), предложилъ оригинальный методъ возбужденія быстрыхъ незатухающихъ колебаній. Методъ этотъ основывается на принципѣ поющей дуги (стр. 769).

Черт. 665.



Если, какъ показано на черт. 665, параллельно дугѣ, питаемой постояннымъ токомъ отъ источника E, приключить емкость C и самоиндукцію L, то дуга начнетъ звучать, и въ параллельной цѣпи будетъ циркулировать перемѣнный токъ съ частотою, соотвѣтствующей току дуги. Частота тока, какъ нашелъ Паульсенъ, станетъ значительно болѣе высокой, если дуга находится не въ воздухѣ, но въ атмосферѣ водорода или газа, содержащаго водородъ, и кромѣ того помѣщена въ магнитномъ полѣ. Въ такихъ условіяхъ получается перемѣнный токъ, число періодовъ котораго достигаетъ 200.000—300.000. Этому соотвѣтствуютъ длины волнъ въ проводахъ и въ воздухѣ въ 1000—1600 мт., т. е. такія, которыя уже могутъ быть примѣнены для безпроволочной телеграфіи. Эти колебанія незатухающія, такъ какъ непрерывно, въ каждый моментъ часть энергіи постояннаго тока вольтовой дуги переходитъ въ энергію перемѣннаго тока. Причина возникновенія такихъ перемѣнныхъ токовъ заключается, вѣроятно, въ томъ, что магнитное поле постоянно стремится порвать (задуть) дугу, слѣдовательно, прервать цѣпь тока, а напряженіе цѣпи постоянно вновь ее замыкаетъ, образуя новую дугу. Когда обѣ силы приблизительно равны, то наблюдается періодическій перевѣсъ одной силы надъ другой; процессъ этотъ происходитъ тѣмъ быстрѣе, чѣмъ болѣе содѣйствуютъ магнитному задуванію дуги еще и другія обстоятельства, напримѣръ, охлажденіе дуги въ атмосферѣ водорода.

Получивъ возможность имѣть въ цѣпи подобныя незатухающія колебанія, можно такъ же, какъ и въ искровой телеграфіи, связать съ

этою цѣпью вторую систему — именно антенну; связь можетъ быть трансформаторная и автотрансформаторная, тѣсная и слабая. Изученіе волнъ въ эфирѣ происходитъ совершенно аналогично искровой телеграфіи.

Новый методъ этотъ не оправдалъ однако вполнѣ тѣхъ надеждъ, которыя за послѣдніе годы возлагали на него въ безпроволочной телеграфіи. Полученныя такимъ путемъ незатухающія колебанія недостаточно правильны, отдѣльныя волны не обладаютъ одинаковою интенсивностью. Эта неустойчивая интенсивность волнъ также вредна для настройки, какъ и затуханіе. Поэтому система Паульсена не можетъ дать больше искрового метода и обладаетъ помимо того еще нѣкоторыми недостатками въ сравненіи съ послѣднимъ.

Полученіе незатухающихъ или слабо затухающихъ колебаній практически удобнымъ способомъ безъ побочныхъ обстоятельствъ, нарушающихъ правильный ходъ явленія, осталось и по сію пору, послѣ изобрѣтенія Паульсена, недостигнутымъ идеаломъ.

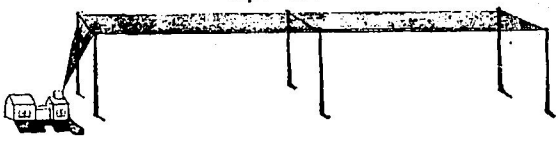
Но принципъ Паульсена далъ возможность устроить телефонное сообщеніе черезъ эфиръ на нѣкоторое разстояніе. А именно, если при такихъ незатухающихъ колебаніяхъ включить въ цѣпь антенны станціи отправленія микрофонъ и говорить въ него, то, какъ извѣстно, сопротивленіе микрофона будетъ опредѣленнымъ образомъ періодически измѣняться. По этой причинѣ будетъ мѣняться соотвѣтственнымъ образомъ и затуханіе колебаній, тѣмъ самымъ и сила излучаемыхъ волнъ. Такимъ образомъ, въ зависимости отъ воспринятыхъ микрофономъ звуковъ, передатчикъ излучаетъ волны перемѣнной силы, которыя, достигнувъ пріемной станціи, возбуждаютъ телефонъ, въ которомъ слышны тѣ же звуки. На дѣлѣ удалось уже устроить установку безпроволочнаго телефона, дѣйствующаго на разстояніе 500 километровъ. Однако, все же эти опыты не имѣютъ большого практическаго значенія и должны быть отнесены къ забавамъ. Достоинство телефона заключается именно въ возможности непосредственнаго словеснаго общенія двухъ лицъ между собою при помощи сравнительно простыхъ приборовъ. Безпроволочная телефонія требуетъ для этого вполнѣ оборудованныя станціи со всѣми относящимися сюда сложными аппаратами, которые нельзя оставить безъ постояннаго и умѣлаго ухода. При наличности такихъ станцій дѣйствительно каждый находящійся на станціи, безъ какихъ-либо спеціальныхъ знаній можетъ говорить по телефону. Но никогда нельзя будетъ смотрѣть на эту систему, какъ на могущую замѣнить обыкновенный телефонъ или даже конкурировать съ нимъ.

Наиболѣе цѣлесообразный путь устраненія искры изъ безпроволочной телеграфіи это—изобрѣтеніе машины перемѣннаго тока той высокой частоты, которая нужна для безпроволочной телеграфіи, т. е. отъ 30.000 до 100.000 періодовъ въ секунду. Изъ конструктивныхъ сообра-

женій нечего и думать достигнуть этого помощью обычныхъ машинъ перемѣннаго тока, повышая число оборотовъ и увеличивая число полюсовъ. Въ самое послѣднее время, однако, благодаря геніальному приспособленію, предложенному Гольдшмидтомъ, положено начало прогрессу безпроволочной телеграфіи и въ этомъ направленіи. Впрочемъ, приспособленіе это подлежитъ еще опытной провѣркѣ.

Весьма важная задача этой новой отросли электротехники состоитъ въ томъ, чтобы возможно тѣснѣе отграничить направленія, въ которыхъ распространяются электрическіи волны; важно, чтобы онѣ не шли одинаково во всѣ стороны отъ станціи отправленія, но преимущественно по одному направленію. Было сдѣлано много попытокъ къ разрѣшенію этой задачи, и теперь ее можно считать, если и не вполнѣ, то отчасти разрѣшенною. И здѣсь Маркони впервые ввелъ въ практику нѣкоторыя усовершенствованія, дающія возможность такъ называемой направляемой телеграфіи, по крайней мѣрѣ въ нѣкоторой степени. Наиболѣе простое средство для этого—располагать антенну станціи отправленія не вертикально, а въ большей ея части горизонтально. Такъ, антенны въ трансатлантической телеграфіи Маркони имѣютъ форму, представленную на черт. 666. Дѣйствіе такого горизонтальнаго передатчика ABC (черт. 667) больше въ направленіи AE, чѣмъ въ направленіи AD. Это объясняется тѣмъ, что волны распространяются частью въ землѣ, проводимость которой однако очень невелика. По этой причинѣ электрическіе лучи, исходящіе отъ передатчика, изгибаются, причемъ при данной формѣ антенны въ направленіи AE они изгибаются къ земной поверхности, а въ противоположномъ направленіи—отъ земной поверхности, такъ что въ первомъ направленіи излученіе оказывается болѣе интенсивнымъ. Такая же антенна на пріемной станціи отвѣчаетъ лучше на волны, приходящія по направленію BC, чѣмъ на волны, падающія съ какой-либо другой стороны.

Черт. 666.



Черт. 667.



Какое огромное значеніе получила безпроволочная телеграфія для войны, показала русско-японская война. Также и при маневрахъ она оказываетъ значительныя услуги при сношеніяхъ отдѣльныхъ частей войскъ между собою, съ главною квартирой и съ крѣпостями. Для этой цѣли конечно всѣ станціи со всѣми ихъ аппаратами приходится конструировать подвижными. Антенны при этомъ обыкновенно

подвѣшиваются къ привязнымъ воздушнымъ шарамъ. Телеграфированіе между поверхностью земли и вершиною горы или между двумя горными станціями было производимо съ удовлетворительными результатами, но пока лишь въ немногочисленныхъ опытахъ. Удавалось также достаточно успѣшно телеграфировать съ земли на дирижабль Цеппелина. Послѣ того какъ Маркони установилъ правильное искровое телеграфное сообщеніе между Европой и Америкой, открывъ этимъ серьезную конкуренцію кабельному телеграфу, работоспособность этой новой вѣтви техники окончательно доказана.

Безпроволочная телеграфія имѣетъ лишь одинъ серьезный недостатокъ по сравненію съ обыкновеннымъ телеграфомъ—она не можетъ гарантировать тайну депеши. Каждый, находящійся въ сферѣ дѣйствія передатчика, можетъ помощью достаточно чувствительнаго пріемника перехватить телеграмму. Трудно вообще себѣ представить, какимъ образомъ было бы возможно бороться съ этимъ, такъ какъ подаваемые телеграфные знаки не связаны съ какими-либо проводами, а распространяются свободно въ пространствѣ. Въ виду этого, конечно, нельзя и надѣяться, чтобы безпроволочная телеграфія совершенно вытѣснила обыкновенный телеграфъ. Станція въ Науенѣ, напримѣръ, можетъ перехватывать всѣ телеграммы, отправляемыя какою-либо изъ Марконіевскихъ станцій изъ Англіи на суда, равно какъ и наоборотъ. Съ этимъ перехватываніемъ телеграммъ по существу нѣтъ средствъ бороться—приходится въ случаяхъ необходимости тайнаго телеграфированія прибѣгать къ какому-либо секретному шифру.

Мы подошли къ концу нашей книги. Мы видѣли, какъ мало-помалу въ самыхъ разнообразныхъ областяхъ электричество порабощается человѣкомъ. Оно освѣщаетъ наши города и жилища, оно заставляетъ работать наши машины, оно движетъ вагоны, оно чиститъ платья, оно варитъ намъ пищу и отапливаетъ наши комнаты, оно передаетъ наши мысли и слова на громадныя разстоянія, оно позволяетъ намъ видѣть внутренность нашего тѣла. Въ большомъ и маломъ мы повсюду чувствуемъ благодѣтельное присутствіе этой могучей силы природы; и теперь въ заключеніе мы можемъ сказать, что только глубокое изученіе природы сдѣлало возможнымъ всѣ эти приложенія, что непредубѣжденное изслѣдованіе природы открываетъ намъ новыя силы и позволяетъ овладѣть средствами, которыя раньше считались увлекательными, но неосуществимыми мечтами безбрежной фантазіи.

Указатель.

А.

Абсолютная (c. g. s.) система 418.
Автоматическая телефонная станція 760 и сл.
Автоматическое телеграфированіе 732.
Азотистыхъ соединеній, полученіе 692.
Аккумуляторная батарея высокаго напряженія 173.
Аккумуляторные заводы (Тюдора) въ Берлинѣ и Хагенѣ 487 и сл.
Аккумуляторный вагонъ (двойной) 662.
— трамвай 659.
Аккумуляторъ 171,478, 182 и слѣд., 644.
— Эдисона 172, 494, 670.
Актиній 380.
Актиноэлектрическія явленія 413.
Алфавитъ Морзе 716.
Альфа-лучи 384 и сл., 391 и сл., 397.
Алюминія добываніе 684 и сл.
Амилацетатовая лампа 528.
Амперметръ 211 и сл., 458.
— для перемѣннаго тока 278, 471.
Амперовскіе молекулярные токи 233.
Амперовское правило пловца 181, 199.
Амперовъ станокъ 204, 225.
Амперъ 225, 233.
Амперъ (единица) 67, 155 и сл., 200, 422.
— -витокъ 191.
— -часъ 422.
Аніонъ 145.
Анодные лучи 354.
Анодъ 144.
Антенна 779 и сл., 796.
Антикатодъ 361.
Апериодическій гальванометръ 218.
Аппаратъ Морзе 710.
Араго кружокъ 253.
Ареометръ 484.
Арматура (якорь) 429, 462.
Арона счетчикъ 638.
Аронса ртутная дуговая лампа 132, 548.
Асинхронный (индукціонный) двигатель 597 и сл.
Астазирующій магнитъ 218.
Астатическая система магнитныхъ стрѣлокъ 42.
Астатическій гальванометръ 219.
— проводникъ 226.
Ауэровское Общество 570.
Ауэръ фонъ-Вельсбахъ 568.
Ацетъ 569.

Б.

Балластное сопротивленіе 99.
Баллистическій гальванометръ 222.
Барабанный якорь 438 и сл.
Батарея гальваническая 53.
Безваттный токъ 290.
Безполюсные трансформаторы 511.
Безполюсный магнитъ 180.
Безпроволочная телефонія 801.
Безпроволочный телеграфъ 772 и сл.
Безрельсовыя электрическія дороги 666.
Безъиндукціонное сопротивленіе 258, 281.
Бека лампа 546.
Беккереля лучи 379.
Белль Грэгэмъ 737.
Бергмана Электротехническіе заводы 450, 466, 598, 670.
Берлинера, универсальный передатчикъ 746.
Бета-лучи 384.
Beutelelement (S. & H.) 60.
Биркеланда печь 693.
Бифилярная обмотка 258.
Біо-Савара законъ 200, 421.
Блонделя угли 545.

Блондло вибраторъ 334.
Боасъ 266, 549.
Бранли 323, 774.
Брауновская трубка 345.
Брауновскій электрометръ 18.
Браунъ 18, 345, 773, 780.
Бремера угли 544.
Буквопечатающій аппаратъ 719.
Буксировка судовъ, электрическая 671.
Бунзеновскій элементъ 59.
Буферная батарея 501.
Быстродѣйствующая телеграфія 733.
Бѣленіе электролитическое 690 и сл.

В.

Ванна гальванопластическая 698.
Ваттметръ 291, 475, 784.
Ваттъ 420.
Веберъ, Вильгельмъ 230, 417, 707, 726
Венельта катодъ 357.
— прерыватель 267 и сл.
Вертикальный гальваноскопъ 84.
Вестона амперметръ 212.
— элементъ 110, 425.
Взрывной разрядъ 40.
Вибраторъ Блондло 334.
— Риги 775 и сл.
Видемана зеркальный гальванометръ 217.
Виллемитъ 383.
Вимшёрста статическая машина 35 и сл.
Виновская (звучащая) искра 792.
Висмутовая спираль 184.
Витстона мостикъ 80 и сл., 100 и сл.
Витстонъ (Уитстонъ) 712, 724, 732.
Вихревые токи 254.
Внутреннее сопротивленіе 72, 107.
Водяная статическая машина 34 и сл.
Водяной вольтаметръ 155.
Воздушный термометръ Рисса 15.
Воздушныхъ проводовъ, система 651.
Возстановленіе 371.
Волномѣръ 784.
Волнообразная обмотка 464.
Вольта 49 и сл.
— элементъ 51.
Вольтаметръ 155.
Вольтметръ 18, 111, 211 и сл., 457.
— для перемѣннаго тока 280, 471.
Вольтъ (единица) 16, 246, 422.
Вольфрамовыя лампы 570.
Вотановыя лампы 570.
Вращающееся зеркало 307.
— магнитное поле 302 и сл., 596, 601.
Вращеніе плоскости поляризаціи 400 и сл.
Временные магниты 180.
Всеобщая Компанія Электричества (A. E. G.), (В. К. Э.) 450, 458, 461, 466, 499, 514, 538, 541, 565, 567, 570, 588, 589, 595, 597, 607, 611, 612, 625, 644, 655, 664, 665.
Встрѣчное включеніе трехфазныхъ двигателей 600.
— телеграфированіе 727.
Вторичныя реакціи 145.
Выключатель 574.
— предохранительный 577.
Выпрямитель тока Греца 175, 518 и сл.
Выравнивающій проводъ 643.
Высасывающее дѣйствіе 34.
Вѣсы магнитные 197.
Вѣтренныя электрическія станціи 502 и сл.

Г.

Газовые іоны 371 и сл.
Газовый вольтаметръ 155.
Гальваксъ 412.
Гальвани 49.
Гальваническая батарея 53.
— цѣпь 53.
Гальваническій способъ выжиганія 124.
— элементъ 52, 160.
Гальванометръ 85, 209 и сл.
— астатическій 219.
— баллистическій 222.
— Депрэ 210, 214.
— съ подвижной катушкой 85, 210.
— съ подвижной стрѣлкой 210.
— Томсона 219.
Гальванопластика 696 и сл.
Гальваноскопъ 63, 83.
Гальваностегія 697 и сл.
Гамма-лучи 387.
Гартманъ и Браунъ 67, 85, 98, 105, 140, 155, 184, 214, 217, 232, 294, 476.
Гассіо 338.
Гауссъ 417, 707, 726.
Гейсслерова трубка 340 и сл.
Гейсслеръ 338.
Гелій 387, 395 и сл.

Гельбергера приборъ для сварки 589.
Гельмгольцъ 739.
Генри (единица) 257, 424.
Герке и Рейхенхеймъ 354.
Герцъ, Генйрихъ 48, 320 и сл., 326 и сл., 348, 410, 773.
Гефнеръ-Альтенекъ 438, 528, 534.
Гистерезисъ 190, 462, 510, 787.
Гитторфа темное пространство 342.
Гитторфъ 342.
Гольдшмидтъ 802.
Гольдштейнъ 352.
Гольцъ 35.
Гопкинсонъ 643.
Горизонтальная составляющая магнитнаго поля земли 177 и сл.
Гравировка по металлу 704 и сл.
Граммъ 430, 433.
Граммъ-эквивалентъ 152.
Греца выпрямитель тока 175, 518 и сл.
— схема включенія 519.
— элементы 175, 458.
Громоотводъ 629 и сл.
Групповой коммутаторъ 762.
Грѣлки электрическія 587 и сл.
Гуннингсъ 745.
Гюльхера термобатарея 142.

Д.

Давленіе растворенія 165.
Дальность полета 385.
Даніэля элементъ 57.
Движеніе іоновъ 149.
Двойной элементный коммутаторъ 498.
Двухпроводная система 643.
Декадный магазинъ сопротивленія 97.
Декапировка 697.
Депрэ гальванометръ 210, 214.
Депрэ Марсель 624.
Детекторы 786.
— Шлемлиха 787.
Джоуля законъ 123, 128.
Динамомашина 243, 436 и сл.
Динъ 419.
Диссоціація 148, 164.
Дифференціальный методъ при встрѣчномъ телеграфированіи 728.
Дифференціальныя лампы 535 и сл.
«Діаѣздъ»-предохранители 578.
Діэлектрическая постоянная 9, 29, 48, 224.
Длина волны электрическихъ колебаній 322, 331, 334 и сл., 777, 783, 793, 801.
— искры 263, 337.
Добавочное сопротивленіе 113, 539, 542.
Добавочные полюса 442.
Долезалека электрометръ 42.
Друде 336.
Дублетъ Зеемана 407.
Дуга вольтова, — Дэви, — электрическая } 129, 376, 524 и сл.
Дуговыя лампы продолжительнаго горѣнія 540.
Дуплексное встрѣчное телеграфированіе 730.
Дырчатый якорь 447.
Дьюара сосудъ 390.
Дѣйствующая сила тока 277.
Дѣйствующее напряженіе 280.
Дѣлитель напряженія 644.
Дэви 129.
Дюбуа-Реймона санный аппаратъ 239.

Е.

Емкость 14, 19, 27, 45, 223, 423, 425.
— аккумуляторовъ 485, 490.

З.

Задерживательная сила 189.
Зажиганіе лампы наклономъ 548.
Закатодные лучи 352 и сл., 378.
Законъ Біо-Савара 200, 421.
— Джоуля 123, 128.
— Кулона 8, 48.
— Ленца 241, 443.
— Ома 69.
— Ома для магнитизма 194.
— сохраненія энергіи 127.
— термоэлектрическаго ряда 136.
— Фарадея (объ электролизѣ) 149 и сл., 674.
Закрытыя (въ кожухахъ) электрическія машины 449, 655.
Зарядный токъ 298.
Зарядъ 7.
Затуханіе электрическихъ волнъ 790.

Звучащая искра 792.
Зеебекъ 135.
Зеемана дублетъ 407.
— явленіе 405 и сл.
Зейбта опыты 311 и сл.
Зеркало вращающееся 307.
Зеркальный гальванометръ 213 и сл., 217 и сл.
Зонтичная антенна 796.
Зубчатый якорь 447.
Зуммеръ 284.

И.

Излученіе электроновъ 370, 377.
Измѣритель твердости Бенуа 367.
Изоляторы 4, 7, 25, 46, 92.
Индукторъ 429, 463.
— для искръ 263.
Индукціонная катушка 260 и сл.
Индукціонное сопротивленіе 281.
Индукціонные моторы (двигатели) 302, 597.
— печи 689.
— токи 237 и сл.
Индукція 23 и сл.
— магнитная 179.
Инкрустаціи, металлическія 705.
Интенсивныя осрамовыя лампы 571.
Искра, электрическая 40, 303, 337, 773.
Искреніе машины 441 и сл.
Искровая телеграфія 776.
Искровой разрядъ 376.
Искромѣръ 338.

І.

Іонизаторъ 374.
Іонизація газа 355, 371, 382.
— отъ столкновенія 355, 375 и сл.
Іонъ 148, 158 и сл., 353.

К.

Кабель 724.
— искусственный 728.
Кажущееся сопротивленіе 281, 313.
Казелли 734.
Карбидъ кальція 688.
Карбиды 688 и сл.
Карборундъ 688.
Катіонъ 145.
Катодное паденіе 357.
— пространство первое и второе 341, 356.
Катодные лучи 343 и сл., 377, 415.
Катодъ 144.
Катушка для удлиненія антенны 796.
— связи 784.
Квадрантный электрометръ 42.
Кварцевая лампа 551.
Кельвинъ, лордъ 34, 42, 108, 338, 726.
Киловаттъ 420.
— -часъ 420.
Килограммометръ 419.
Кирхгофъ 83, 308.
Кларка элементъ 110, 425.
Клаузіуса-Аррениуса теорія 148.
Клингельфуса идукціонная катушка 265.
Ключъ Морзе 708.
— телеграфный 708.
Кнопка 208.
Когереръ 323, 774 и сл., 786.
Кожухъ двигателя съ вентиляціей 655.
Колебанія электрическія 305 и сл., 773 и сл.
Количество магнитизма 420.
— общее испускаемыхъ лучей 564.
— электричества 7, 422.
Коллекторные двигатели 605, 663.
Коллекторъ (коммутаторъ) 434.
Кольрауша конденсаторъ 28.
Кольраушъ, Ф. 105, 155, 232.
Кольцевой искровой промежутокъ 793.
Кольцо Грамма (граммовское) 430.
— (шпуля) самоиндукціи 784.
Комбинированная система распредѣленія 647.
Коммутаторъ (простой) 87, 752 и сл.
— групповой предварительный 762.
— линейный 751 и сл., 760 и сл.
— многократный 756.
— номерной 762.
Компаундъ-машины (динамо) 437, 454.
Компенсаціонная цѣпь 82, 118.
Компенсаціонный полюсъ 442.
— приборъ 118.
Конденсаторъ 27, 32, 262, 297, 299, 725
— съ перемѣнной емкостью 32.
Кондукторъ электрической машины 10, 37.
Контактный детекторъ 789.
— роликъ 651.

Контакты (у калильныхъ лампъ) 559.
Контактъ вилкообразный 573.
Контроллеръ 656, 669.
Коробчатое реле 715.
Короткое замыканіе 75, 107, 142, 453, 576.
Короткозамкнутый якорь 597.
Корреспондирующій выключатель 575.
Коэффиціентъ мощности 290.
— полезнаго дѣйствія машинъ 455.
— трансформаторовъ 510.
— самоиндукціи 257.
— сопротивленія 91.
Крестовые выключатели 576.
Криптоль 587.
Криптоскопъ 366.
Кружокъ Араго 253.
Круксова трубка 343 и сл., 377.
Круксъ 343, 346, 348.
Крюгера элементъ 58.
Кубическій сантиметръ 91.
Кулона законъ 8, 48.
Кулонъ (единица) 8, 422.
Куперъ Юитта ртутная лампа 548 и сл.
Кухня электрическая 585.
Кюри, г-жа 380, 390.

Л.

Лампа Нернста 565 и сл., 644.
Лампочки накаливанія 125, 555, 557 и сл.
— съ металлическою нитью 125, 568 и сл.
Лампы электрическія 531 и сл.
Лейденскія банки 30 и сл., 305 и сл., 315 и сл., 776 и сл.
Лекланше элементъ 59.
Ленарда трубка 348.
Ленца законъ 241, 443.
Лехера проволоки 355.
Лешателье термоэлектрическій пирометръ 140.
Линейная батарея 712.
Линейный громоотводъ 629.
Линіи магнитныхъ силъ 185 и сл., 245, 247.
Лодки электрическія 670.
Локомотивы электрическіе 660.
Лошадиная сила 420.
Лучи-альфа 384 и сл., 391 и сл., 397.
— Беккереля 379.
— бета 384.
— гамма 387.
— закатодные 352 и сл., 378.
— катодные 343 и сл., 377, 415.
— Рентгена 358 и сл., 378.
— урана 379.
— электрическіе 328.
Люксъ 530.

М.

Магазинъ сопротивленій 96.
— сопротивленія, декадный 97.
Магнитная индукція 179.
— проводимость (проницаемость) 193.
— силовая линія 185 и сл., 245, 247.
Магнитное поле 178.
— сопротивленіе 194.
Магнитные вѣсы 197.
Магнитный детекторъ 787.
— меридіанъ 177.
— моментъ 177, 421.
Магнитодвижущая сила 194.
Магнито-индукція 240, 428.
Магнитоэлектрическая машина 251, 429, 444.
Магнитъ 176.
— астазирующій 218.
Максвелль (Максуэллъ) 48, 248.
Маркони 773 и сл., 786, 802.
Масляные трансформаторы 513.
Матрица 705.
Машина для токовъ большой частоты 284.
— съ внѣшними полюсами 468.
Мгновенный разрядъ 40.
Междугородное телефонное сообщеніе 764.
Мезоторій 381.
Мерцающее свѣченіе 385 и сл.
Металлизированіе 703.
Микротелефонъ 751.
Микрофарада 20, 423, 426.
Микрофонъ 95, 737 и сл.
— зернистый 745.
— стержневой 745.
Миксъ и Генестъ 207, 741, 746, 756, 758.
Миллигенри 424.
Многократное телеграфированіе 730.
Многофазные токи 302.
Молекулярные токи Ампера 233.
Молоточекъ Нэфа 206.
Мостикъ Витстона 80 и сл., 100 и сл.
— Томсона 108 и сл.

Моторная лампа 541.
Моторъ-генераторъ 517.
— съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ (серіесъ моторъ) 592, 595, 655.
— съ шунтовымъ возбужденіемъ 592 и сл.
Мощность 419.
— перемѣннаго тока 288 и сл.
— тока 128.
Мѣди, полученіе 681 и сл.
Мѣдный вольтаметръ 156.
— успокоитель 218, 253.
— элементъ 58.
Мѣстная батарея 712.
Муассанъ 686 и сл.
Мультипликаторъ 42, 84, 217.
Мура свѣтъ 554 и сл.
Мягкая рентгеновская трубка 362.

Н.

Наведенная радіоактивность 387, 392 и сл.
Нагрѣвательные приборы 579 и сл.
Нагрѣватель электрическій 586.
«Надиръ»-гальванометръ 213.
Наконечникъ (башмакъ) 183.
Намагничивающая катушка 181.
Направляемая безпроволочная телеграфія 802.
Напряженіе 13, 17, 26, 44, 423.
— магнитнаго поля 178, 247, 421.
— у зажимовъ 77, 112, 445.
Нарѣзка эдисоновская 559.
Настройка цѣпи колебаній 332, 780.
Науенъ, станція 799.
Независимое возбужденіе 438, 452.
Незатухающія колебанія 791.
Неотклоняющіеся лучи 384.
Неполяризующіеся электроды 169.
Непосредственное соединеніе 311, 333.
Несамостоятельный токъ 376.
Николя призма 401.
Нормальный омъ 95.
— элементъ 109.
Нэфа молоточекъ 206.

О.

Обертонъ 740.
Обкладка лейденской банки 30.
Однородное магнитное поле 186, 191.
Однофазный двигатель 600, 663.
— токъ 464, 663.
Озонныя трубки 691.
Омнибусъ, электрическій 666 и сл.
Омъ (единица) 72, 423.
Опыты Тесла 316 и сл., 691.
Освѣщенность 529.
Осмотическое давленіе 164 и сл.
Осрамовая лампа 570 и сл.
Осциллографъ 293.
Отпечатки гальванопластическіе 704.
Отраженіе электрическихъ волнъ 330.
Отрицательное свѣченіе 342.
Отталкиваніе, электродинамическое 225 и сл.
— электростатическое 2 и сл.
Оттѣнокъ звука 739.
Очищеніе металловъ, электрическое 862.

П.

Пантелеграфъ 734.
Панцырный гальванометръ 220.
Параллельная работа машинъ перемѣннаго тока 476.
Параллельное включеніе 32, 73, 79, 125, 510, 562, 634, 647.
Параллельные токи 226.
Пародинамо 451.
Патронный предохранитель 577.
Патронъ 125, 559.
— эдисоновскій 559.
Паульсенъ 766, 800.
Пачинотти 430.
Паяльникъ электрическій 588.
Пельтье теплота 133.
Переводный множитель 221.
Передатчикъ 743.
Передача работы, электрическая 617 и сл.
Перемѣннаго тока, лампы 540.
— — машины 460 и сл.
Перемѣнный токъ 104, 233, 238, 250, 272, 273 и сл., 430, 460, 507, 662 и сл.
Періодъ перемѣнныхъ токовъ 275, 294.
— электрическихъ колебаній 307.
Перренъ 346.
Петлеобразная обмотка 463.
Печатающій телеграфъ 707.
Пиксій 429.
Пирометръ термоэлектрическій 140.

Питательный проводъ 652.
Плавильная печь, электрическая 686.
Пламенныя дуговыя лампы 544 и сл.
Плантэ, Гастонъ 479.
Плоскость поляризаціи 401.
Плотность тока 680 и сл.
— электричества 22, 26.
Плуги, электрическіе 612 и сл.
Плюккеръ 338.
Погружающіеся электроды 106.
Подвижность газовыхъ іоновъ 374.
Подвѣсныя электрическія желѣзныя дороги 667.
Подземная канализація тока 650.
Подушка электрической машины 10.
Показатель преломленія 47.
Полс въ одинъ вольтъ-сантиметръ 374.
Полезное дѣйствіе аккумулятора 486.
— — передачи 622 и сл.
Полифосъ, Эл. Общ. 270, 364, 415.
Поллакъ и Вирагъ, быстродѣйствующая телеграфія 733.
Положительное свѣченіе 340, 356.
Полоній 380, 395.
Полукруглый электромагнитъ 184.
Поля коммутаторъ 87.
Поляризаціонная батарея 171.
Поляризаціонный токъ 168, 478.
Поляризація 676 и сл.
Поляризованное релэ 714.
Поляризованный свѣтъ 402, 409 и сл.
— чернопечатающій аппаратъ 718.
Полюсъ батареи 53.
Поперечныя колебанія 331, 408.
Послѣдовательное соединеніе лейденскихъ банокъ 32.
— — проводовъ 79.
— — элементовъ 72.
Послѣдовательный выключатель 575.
Постоянные магниты 180.
Постоянный токъ (полученіе) 435.
Потенціалъ 13, 17, 26.
Потенціометръ 118.
Потери въ желѣзѣ (трансформаторовъ) 510.
— въ мѣди трансформаторовъ 510.
Потеря напряженія 77, 128, 445.
Потребленіе энергіи лампами накаливанія 561.
Правило лѣвой руки 205.
— Максвелля (Максуэлла) 248.
— пальцевъ 243.
— пловца Ампера 181, 199.
— правой руки 243, 431.
Превращеніе элементовъ 396 и сл.
Предохранители 577 и сл.
Преломленіе электрическихъ лучей 330.
Прерыватель 261 и сл.
— съ молоточкомъ 266.
Прерывистое телеграфированіе 730.
Притяженіе электродинамическое 225 и сл.
— электростатическое 2 и сл.
Пріемный трансформаторъ 797.
Проводимость земли 708.
— магнитная 193.
— удѣльная 89.
Проводникъ 4, 7.
— второго рода 56, 92, 143 и сл.
— перваго рода 56, 89, 104, 121, 143.
«Прометей» Франкфурт. Об-во 584, 689.
Проницаемость магнитная 193.
Проэкціонная лампа Нернста 567.
Просвѣчиваніе рентгеновскими лучами 366.
Пружинный гальванометръ 67.
Пусковой реостатъ 594.
Пюпинъ 765.

Р.

Работа 419.
Рабочій токъ 715.
Радій 380 и сл.
Радіоактивная постоянная 392.
Радіоактивность 378 и сл.
— наведенная 387, 392 и сл.
Радіоактивныя вещества 378 и сл.
Развѣтвленіе тока 78 и сл.
— въ видѣ мостика 80.
Раздѣляющая электрическая сила 54.
Разность напряженій 16, 51, 56, 112.
— фазъ 287, 299.
Разрядный токъ 298, 726.
Разсѣиваніе магнитныхъ линій 188, 448, 511.
Рамзай 395.
Распадъ атомовъ, теорія 391.
Распредѣленіе работы, электрическ 615, 618.
Распредѣлительная доска 498, 636.
Распредѣлительный ящикъ 637.
Распредѣлитель при многократномъ телеграфированіи 730.

Реагентная бумажка 147 и сл.
Реактивная катушка 259, 280, 282, 285, 542, 755.
Реакція якоря 434 и сл., 469.
Регулированіе рентгеновскихъ трубокъ 363.
Резонансъ 309, 332, 780 и сл.
Рейсъ, Филиппъ 737.
Рейхенхеймъ и Герке 354.
Рекордный шрифтъ 727.
Рельефно-печатающій аппаратъ 717.
Релэ 324, 712, 715, 774.
Рентгеновская трубка 362.
Рентгеновскіе лучи 358 и сл., 378.
Реостатъ съ лампами накаливанія 126.
— съ передвижными контактами 99.
Репульсіонный двигатель 605.
Рисса воздушный термометръ 15.
Роговой громоотводъ 629.
Ротаціонный прерыватель 267.
Роторъ 462.
Ртутная дуговая лампа 132, 548.
— -- — Аронса 132, 548.
Ртутный выпрямитель 520.
Рубидіевое зеркало 415.
Рубильникъ 499.
Рузерфордъ 387, 388, 392.

С.

Савара-Біо законъ 200, 421.
Самовозбуждающіяся машины перемѣннаго тока 462.
Самовозбужденіе 438.
Самоиндукція 254, 257, 423, 426.
Самостоятельный токъ 376.
Санный аппаратъ Дюбуа-Реймона 239.
Свана, патронъ 559.
Свариваніе электрическое 589.
Связь индуктивная 311, 333, 779.
— прямая 311, 779.
— слабая 333, 782 и сл.
— тѣсная 333, 782 и сл.
Свѣтовое релэ 736.
Свѣтовой эфиръ 47, 328.
Свѣча Гефнера 528.
Свѣченіе 376.
— отрицательное 342.
Секомъ 424.
Селеновый элементъ 93, 410.
Сельскохозяйственная желѣзная дорога 662.
Серебряный вольтаметръ 156 и сл.
Серіесъ-лампы 535.
Серіесъ-машины (съ послѣдовательнымъ возбужденіемъ) 437, 454.
Сила, дѣйствующая на разстояніи 47.
— магнитнаго поля 247, 421.
— тока 66, 114 и сл., 421, 425.
Силы воды, использованіе 618 и сл.
Силундумъ 689.
Сименсовскій процессъ 863.
Сименсъ, Вернеръ 96, 435, 691, 695.
Сименсъ и Гальске 60, 117, 140, 211, 215, 220, 278, 280, 282, 291, 471, 474, 499, 535, 568, 570, 649, 650 и сл., 658, 664 и сл., 671, 692, 713, 718, 733, 756, 765.
Сименсъ-Шукертъ 450, 513, 514, 537, 599, 605, 612, 629, 645, 656, 671.
Симона говорящая вольтова дуга 760.
— прерыватель 270.
Синхронизмъ 720.
Система абсолютная (c. g. s.) 418.
Система Морзе 708.
Сифонрекордеръ 726.
Скольженіе 598.
Скользящая дуга 653.
Скорость 418.
— распространенія электрическихъ движеній 321 и сл., 327.
Скрещенные токи 228.
Слаби 773.
Слои 340, 357.
Собиратель 27.
Собирательныя шины 469, 476, 636, 703.
Собиратель тока 434.
Содди 389, 391.
Соединеніе звѣздой 303.
— съ землей 4, 25.
— треугольникомъ 303.
Соединительная коробка (штёпсельная розетка) 573.
Сопротивленіе 69, 70 и сл., 88, 423, 425.
— балластное 99.
— безъиндукціонное 258, 281.
— магнитное 194.
Сопротивленіе перехода 174.
— удѣльное 71, 89.
Сопряженный многофазный токъ 303.
Сохраненія энергіи, законъ 127.
Спинтероскопъ 386.
Станція, областная 612, 631, 661.

Статическая машина 34 и сл.
— — высокаго напряженія 38.
Статоръ 462.
Стентортелефонъ 741.
Стефани законъ 564.
Стоксъ 370.
Стоячія волны 780.
Строуджера, система 760 и сл.
Струнный гальванометръ 224.
Сульфатированіе 485.
Сухой столбъ 62.
— элементъ 61.
Суммирующіе детекторы 790.
Схема моста при встрѣчномъ телеграфированіи 729.
Счетчики-двигатели 639.
— электрическіе 638.
— Арона 638.
— «Стіа» 641.
— Томсонъ-Гоустона 639.

Т.

Танталовая лампа 569 и сл.
Твердая рентгеновская трубка 362.
Телаутографъ Корна 734.
Телеграфія по кабелю 725 и сл.
Телеграфонъ 766 и сл.
Телеграфъ Бодо 730.
— со стрѣлкой 708.
Телефонъ 252, 737 и сл.
— ложкообразный 741.
— ящичный 741.
Телефункенъ, общество 773, 793.
Темное пространство 340, 342.
Теорія Клаузіуса-Аррениуса 148.
— распада атомовъ 391.
Теплеръ 35.
Тепловые измѣрительные приборы 472.
Теплота Пельтье 133.
— реакціи 163, 678 и сл.
Термодетекторъ 789.
Термоэлектрическая батарея 138.
— игла 139.
Термоэлектрическій пирометръ 140.
— рядъ 134, 135.
— токъ 135 и сл.
Термоэлементъ 135.
Тесла трансформаторъ 316.
Тимаръ-Дрегера, лампа 546.
Тихій разрядъ 40.
Токи вихревые 254.
— высокаго напряженія 624 и сл.
— разряда 298, 726.
— Фарадея 239.
— Фуко 254.
Токъ замыканія 259.
— насыщенія 372 и сл., 375, 379.
— размыканія 260.
— термоэлектрическій 135 и сл.
Томсона гальванометръ 219.
— мостикъ 108 и сл.
Торій 379.
Трамвай, электрическій 649 и сл.
Транслаціонныя станціи 715.
Трансформаторъ 260, 461, 505 и сл., 543.
— съ оболочкой 512.
— съ сердечникомъ 512.
— Тесла 316, 779.
Трехпроводная система 643.
— динамомашина 645.
Трехфазные двигатели 595 и сл.
— трансформаторы 514 и сл.
Трехфазный токъ 303, 461 и сл., 595, 646 и сл.
Трехфазныя машины 464 и сл.
Триплетъ Зеемана 407.
Троллея, система 651 и сл.
Трубка Брауна 345.
— Гейсслера 340 и сл.
— Крукса 343 и сл., 377.
— Ленарда 348.
Трубки, имѣющія фокусъ 361.
Турбинный прерыватель 266.
Турбоальтернаторъ (турбогенераторъ) 468.
Турбодинамо 452.

У.

Увіоловая лампа 550.
Угли съ фитилями 525.
Угольный элементъ 60.
Ударникъ 776.
Ударное возбужденіе 792.
Удѣльная проводимость 89.
Удѣльное сопротивленіе 71, 89.
Удѣльный зарядъ 351, 385, 410.
Уитстона мостикъ 80 и сл. 100 и сл.
Ультрафіолетовые лучи 412, 550.
Умформеры 518.
Универсальный гальванометръ 102, 114.
— мостикъ 105.
Уравнитель 37.

Урановые лучи 379.
Ускореніе 418.

Ф.

Фаза перемѣнныхъ токовъ 275.
Фазовые указатели (лампочки) 476.
Фарада 19, 423.
Фарадеевское темное пространство 342.
Фарадей 9, 11, 29, 47, 144, 149, 188, 204, 229, 235 и сл., 254, 400, 429.
Феддерсенъ 307.
Физо конденсаторъ 262.
Флюоресцирующіе экраны 366.
Фокусъ катодныхъ лучей 343.
Фосфоресценція 344.
Фотометрія 527.
Фотометръ Вебера 530.
Фриттеръ 324.
Фуко коммутаторъ 88.
— токи 254.

Х.

Хагенъ Готтфридъ, аккумуляторный заводъ 493.
Холостая работа 592.

Ц.

Центральная батарейная система 755.
— телефонная станція 754 и сл.
Цилиндръ Фарадея 347.
Цѣпи колебаній 310, 776 и сл.
Цѣпь гальваническая 53.

Ч.

Частотомѣръ 294.
Чернопечатающій аппаратъ 717.
Число магнитныхъ силовыхъ линій 247.

Ш.

Шарообразный панцырный гальванометръ 220.
Шёнхерра печь 694.
Шоттъ и К° въ Іенѣ 550, 641.
Штейнгейль 707, 708.
Шунтовой регуляторъ 456.
Шунтовыя лампы 533 и сл.
— машины (динамо) 437, 453, 455 и сл., 496, 703.
Шунтъ 116.

Э.

Эдельманъ 108, 214, 225.
Эдисонъ 124, 557 и сл., 562, 577, 643.
Эквивалентный вѣсъ 150.
Экранъ, покрытый сѣрнистымъ цинкомъ 385, 390.
Экснера электроскопъ 18.
Экстратокъ 255.
Электризація при соприкосновеніи 54.
Электрическая машина 9.
Электрическіе локомотивы (электровозы) 660.
— лучи 328.
Электрическій вѣтеръ 23.
— звонокъ 207.
— токъ 41, 62.
Электричество въ сельскомъ хозяйствѣ 610 и сл.
Электродвижущая сила 52, 77, 109 и сл., 422, 425.
Электродинамика 225 и сл.
Электродинамическое вращеніе 229.
Электродинамометръ 231, 277 и сл.
Электродъ 43, 106, 130, 144, 339.
Электро-индукція 240 и сл.
Электролизеръ 690.
Электролизъ 143 и сл., 674 и сл.
Электролитическая ванна 152.
— мѣдь 681.
Электролитическій детекторъ 788.
— прерыватель 267 и сл.
Электромагнитизмъ 176 и сл.
Электромагнитная система единицъ 421.
Электромагнитное вращеніе 202, 205.
Электромагнитъ 181 и сл.
Электрометаллургія 673 и сл.
Электрометръ 18, 42.
— Брауна 18.
— Долезалека 42.
Электромобиль 668 и сл.
Электромоторы 209, 591 и сл.
Электронное лучеиспусканіе 370, 377.
Электронъ 12, 46, 159, 349, 377, 407.
Электроскопъ 5, 18.
— съ золотыми листочками 5.
Электросталь 690.
Электростатическая единица 8, 33.
Электростатическій вольтметръ 474.
Электрохимія 673 и сл.
Элементарный электрическій зарядъ 160, 386.

Элементный коммутаторъ 498.
Элементъ Бунзена 59.
— вторичный 170, 478.
— гальваническій 52, 160.
— Даніэля 57.
— Кларка 110, 425.
Эльморовскій способъ приготовленія мѣдныхъ трубъ 862.
Эманація 388.
Энергія заряженнаго проводника 21.
Эргъ 16, 419.
Эрликонъ 461, 595, 625.
Эрстедтъ 198.
Эталонъ самоиндукціи 258.
Эфирное лучеиспусканіе 370.

Ю.

Юзъ 719, 742 и сл., 745.

Я.

Явленіе Зеемана 405 и сл.
Якоби 696.
Якорь магнита 180.
— электрической машины 429, 462.
Януса система 758 и сл.
Ящикъ сопротивленій 96.
Ящичныя (коробчатыя) пластины 488.