478417

IV
2995

ВВЕДЕНІЕ ВЪ УЧЕНІЕ ОБЪ ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ.

IV. 2995

Чтенія

Б. Ю. Кольбе,

преподавателя физики въ училищѣ Св. Анны
въ С.-Петербургѣ.

II.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.

Съ 75 рисунками въ текстѣ.

14772.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Изданіе К. Л. Риккера.
Невскій проспектъ, 14.
1896.

Проверено
1918 19

Цѣна 1 р. 40 к.

Изданія К. Л. Риккера въ С.-Петербургѣ.

Невскій проспектъ, № 14.

Введеніе въ ученіе объ электричествѣ.

Чтенія **Б. Ю. Кольбе**, препод. физики въ училищѣ Св. Анны въ СПБ. I часть. Статическое Электричество. Съ 75 рис. 1893. Цѣна 1 р. 20 к., въ перепл. 1 р. 60 к.

Рекомендовано Ученымъ Комитетомъ Мин. Нар. Просв. *для основныхъ и ученическихъ библіотекъ мужскихъ и женскихъ гимназій, реальныхъ училищъ, учительскихъ институтовъ и семинарій.*

Изложеніе лекцій настолько хорошо и популярно, что, по прочтеніи ихъ, составляется полное представленіе о предметѣ. Книга эта можетъ служить прекраснымъ пособіемъ для изученія электричества и доступна всѣмъ, интересующимся электричествомъ, лицамъ. Издана книга отлично и рисунки исполнены очень отчетливо. «Смоленскій Вѣстникъ», 1893, № 44.

Читая Введеніе Б. Ю Кольбе, мы не могли не почувствовать глубокаго различія между популярно элементарною книжкою-сборникомъ общихъ фразъ — и талантливымъ учебникомъ, научнымъ и въ то же время вполнѣ начальнымъ, автору котораго удается вложить въ умъ читателя, научить его. Журналъ «Электричество», 1893, № 15, 16.

Практическое руководство къ примѣненію электричества въ промышленности.

Единицы измѣренія.—Батареи и электрическія машины.—Электрическое освѣщеніе.—Электрическая передача работы.—Гальванопластика и металлургія.—Телефонія. Составили **Е. Кадіа** и **Л. Дюбостъ**. Съ 257-ю чертежами въ текстѣ. Перев. съ 4 го франц. изданія **К. де-Шаріеръ**. Русское изданіе 3-е. 1894. Цѣна 5 р., въ перепл. 5 р. 75 к.

Заслуживаетъ вниманія то обстоятельство, что на русскомъ языкѣ предстоящая книга, чисто спеціальная по содержанію—выдерживаетъ уже третье изданіе. Такой успѣхъ, очевидно, кромѣ интереса, внушаемаго самымъ предметомъ, не въ малой мѣрѣ зависитъ и отъ присущихъ книгѣ Кадіа и Дюбоста достоинствъ. И въ самомъ дѣлѣ, по широтѣ программы, точности и обстоятельности изложенія—трудно что-нибудь требовать болѣе отъ спеціальнаго руководства. Кромѣ подробнаго изложенія всѣхъ основныхъ понятій и фактовъ, необходимыхъ для полнаго уразумѣнія практическихъ примѣненій электричества, книга содержитъ описаніе всѣхъ способовъ этихъ примѣненій — освѣщенія, передачи работы, гальванопластики, электро-металлургіи и телефоніи. По мѣрѣ накопленія новостей во всѣхъ областяхъ примѣненія электричества, авторъ немедленно заноситъ ихъ въ новыя изданія своей книги, которая въ ея нынѣшнемъ видѣ представляетъ полный и добросовѣстный сводъ нов. данныхъ, добытыхъ наукою и практикою. Вообще книга Кадіа и Дюбоста одно изъ самыхъ существенно полезныхъ пріобрѣтеній нашей литературы въ технической области. Желаемъ ей прежняго неизмѣннаго успѣха. «Трудъ», томъ XXII, № 5.

Практическое руководство къ построенію динамо-машинъ

съ постояннымъ токомъ. Инженеръ-Технолога **Л. А. Боровича.** 2-е, исправл. и значительно дополненное изданіе. Съ 164 рис. 1894. Цѣна 3 р., въ переплетѣ 3 р. 50 к.

IV. 2995

ВВЕДЕНІЕ ВЪ УЧЕНІЕ ОБЪ ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ.

Чтенія

Б. Ю. Кольбе,

преподавателя физики въ училищѣ Св. Анны
въ С.-Петербургѣ.

74874

II.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.

V45

Съ 75 рисунками въ текстѣ.

14792

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Изданіе К. Л. Риккера.
Невскій проспектъ, 14.
1896.

58

Центральная Научная Библиотека
при Харьковском Гос. Университете

Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 10 мая 1896 года

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Первая часть этихъ чтеній, посвященная статическому электричеству, или электричеству отъ тренія, появилась въ 1893 году отдѣльно, такъ какъ нездоровье и служебныя обязанности помѣшали автору заняться обработкою второй части для печати. Къ сожалѣнію, по тѣмъ же самымъ причинамъ, выходъ второй части, разсматривающей «динамическое электричество», затянулся дольше, нежели предполагалось; но это запозданіе послужило къ пользѣ дѣла, такъ какъ были испробованы и включены въ текстъ нѣкоторые новые опыты (напр. наглядное демонстрированіе дѣйствія телефона по Босхарду, рис. 74).

Такъ какъ, при обиліи матерьяла, необходимо было исключить все менѣе важное, то изъ магнитизма взято лишь нужное для пониманія электромагнитныхъ явленій, а нѣкоторыя подробности и практическія указанія даны въ прибавленіи. Въ самомъ изложеніи авторъ придерживался, по возможности, историческаго развитія предмета. Чтобы установить болѣе тѣсную связь между статическимъ и динамическимъ электричествомъ, первые опыты надъ паденіемъ электрическаго потенціала въ проводникѣ и надъ зависимостью между проводимостью и поперечнымъ сѣченіемъ проводника производятся съ электрофорной машиною (какъ то между прочимъ рекомендуетъ Поске въ журналѣ Zeitschr. f. den phys. und chem. Unterricht). Пользуясь при этомъ приборомъ,

Поправка.

Стр. 61, 18-я строка снизу, слѣдуетъ: «Я обматываю два одинаковыхъ подковообразныхъ желѣзныхъ стержня»... На той же страницѣ строки 10—7 снизу должно замѣнить слѣдующими: «Электромагнитъ съ гальваническимъ элементомъ обнаруживаетъ подъемную силу свыше 2 килограммовъ, а съ электрофорной машиной едва $^1/_{10}$ грамма, такъ какъ притянутый кусочекъ тонкой желѣзной проволоки не вѣситъ и 110 миллиграммовъ».

СОДЕРЖАНІЕ.

Стр.

Чтеніе I. Важнѣйшія магнитныя явленія; сравненіе магнитныхъ явленій съ электростатическими; электрофорная машина какъ источникъ электричества; измѣненіе степени электризаціи вдоль полупроводника, соединяющаго полюсы машины; аналогія между гидродинамическими и электродинамическими явленіями; понятіе объ электродвижущей силѣ; паденіе электрическаго уровня въ замкнутой цѣпи; зависимость паденія отъ длины проводника; причина электрическаго тока; зависимость паденія электр. уровня отъ проводящей способности проводника. . . . . 1—19

Чтеніе II. Электризованіе металловъ при соприкосновеніи съ жидкостями; дѣйствіе двухъ погруженныхъ въ жидкость металловъ; Вольтовъ элементъ; электрическая разность полюсовъ; причина электродвижущей силы элемента; химическая теорія; историческія свѣдѣнія; контактная теорія Вольты; постоянные элементы; соединенія паралельное и послѣдовательное; электродвижущая сила батареи при томъ и другомъ; сравненіе электродвижущей силы нѣкоторыхъ постоянныхъ элементовъ. . . . . 20—37

Чтеніе III. Паденіе электрическаго уровня при гальваническомъ токѣ; обратитель тока (коммутаторъ); взаимное притяженіе и отталкиваніе проводниковъ, по которымъ идетъ токъ; Амперовъ станокъ; направляющая сила, дѣйствующая на подвижные токи; взаимодѣйствіе между друмя токами; дѣйствіе магнита на подвижной токъ; соленоидъ; электромагниты; отклоненіе магнитной стрѣлки гальваническомъ токомъ; правило Ампера; правило, дающее направленія тока; Амперова гипотеза магнитизма; опытъ Лоджа; различіе между показаніями гальваноскопа и электрометра; мультипликаторъ. . . . 38—61

Чтеніе IV. Градуированіе гальваноскопа; гальванометръ. Дѣйствіе послѣдовательнаго и параллельнаго соединеній при очень короткой и очень длинной проводной проволокѣ, а также при включеніи въ цѣпь столба жидкости; понятіе о силѣ тока; сравненіе гидродинамическихъ и электродинамическихъ явленій; внѣшнее и внутреннее сопротивленія; выводъ закона Ома; слѣдствія изъ закона Ома.—Удѣльная проводящая способность разныхъ тѣлъ, практическая единица сопротивленія, «омъ»; практическая единица силы тока, «амперъ».—Опредѣленіе внутренняго сопротивленія элемента или батареи; сила тока въ развѣтвленіяхъ; измѣреніе сильныхъ токовъ . . 62—95

Стр.

Чтеніе V. Тепловое дѣйствіе гальваническаго тока; калильныя лампы; электролизъ воды; гремучегазовый и водородный вольтаметры; мѣдный вольтаметръ; вольтъ, омъ и амперъ, единицы электродвижущей силы, сопротивленія и силы тока; электрохимическіе эквиваленты; градуированіе электрометра въ вольтахъ; сравненіе градуированной шкалы гальванометра съ градусною; тангенсъ-буссоль; переводный множитель буссоли.—Гальванопластика и гальванотипія; телеграфъ (Лесажъ, Зёммерингъ, Шиллингъ, Гауссъ и Веберъ, Штейнгейль, Витстонъ, Морзъ); поляризаціонные токи; вторичные элементы; аккумуляторы; термоэлектрическіе токи. . . . . 96—121

Чтеніе VI. Основной опытъ Фарадэя.—Мультипликаторъ для лекціонныхъ опытовъ; астатическая стрѣлка; апериодическое колебаніе магнитной стрѣлки.—Возникновеніе магнито-электрическихъ индукціонныхъ токовъ при движеніи проводника въ магнитномъ полѣ; направленіе индукціонныхъ токовъ (правила Ленца и Фарадэя).—Индукціонное дѣйствіе колеблющейся магнитной стрѣлки на мѣдный кружокъ (успокоеніе колебаній стрѣлки гальванометра).—Самоиндукція въ проволочной катушкѣ (экстратокъ); индукціонная катушка (дѣйствіе перемѣнныхъ токовъ на трубки Гейслера и Пулуя). Магнито-электрическія машины. — Динамо-электрическая машина Сименса.—Вліяніе мягкаго желѣза въ магнитномъ полѣ на ходъ магнитныхъ силовыхъ линій; кольцо Пачинотти и Грамма; барабанный индукторъ Гефнеръ-Альтенека.—Различные способы соединенія проводниковъ въ динамо-машинѣ.—Примѣненія динамо-электрическихъ токовъ; электрическая передача работы.—Телефонъ; микрофонъ.—Заключеніе. 122—166

Прибавленіе. (Дополненія и практическія указанія).

1. Діамагнатизмъ.—2. Вольтовъ рядъ.—3. Хромовый растворъ.—4. Тонкая металич. полоска (Lametta) и ея замѣна.—5. Къ открытію отклоненія магнитной стрѣлки гальван. токомъ.—6. Нормальный элементъ Флеминга; короткое замыканіе.—7. Къ градуировкѣ гальванометра.—8. Къ изобрѣтенію эл. калильной лампы.—9. Демонстраціонный гальванометръ, какъ синусъ-буссоль.—10. Къ изобрѣтенію электромагнитнаго телеграфа.—11. Универсальный станокъ, какъ тангенсъ-буссоль (по Гельмгольцу и Гогену), и какъ чувствительный гальванометръ съ астатическою стрѣлкою и мѣднымъ успокоителемъ.—12. Нѣкоторыя свойства перемѣнныхъ токовъ. . . . . 167—176

Книги, рекомендуемыя для дальнѣйшаго знакомства съ электрическимъ токомъ 177

Цѣны приборовъ, служащихъ для описанныхъ въ книгѣ опытовъ. 178

Алфавитный указатель содержанія. 180

Чтеніе I.

Важнѣйшія магнитныя явленія; сравненіе магнитныхъ явленій съ электростатическими; электрофорная машина какъ источникъ электричества; измѣненіе степени электризаціи вдоль полупроводника, соединяющаго полюсы машины; аналогія между гидродинамическими и электродинамическими явленіями; понятіе объ электродвижущей силѣ; паденіе электрическаго уровня въ замкнутой цѣпи; зависимость паденія отъ длины проводника; причина электрическаго тока; зависимость паденія электр. уровня отъ проводящей способности проводника.

Въ статическомъ электричествѣ или «электричествѣ отъ тренія», мы познакомились съ рядомъ явленій, которыя частью такъ сходны съ магнитными, что мы невольно приходимъ къ мысли о существованіи тѣсной связи между тѣми и другими. Однако при болѣе подробномъ знакомствѣ мы встрѣтимъ и важныя различія. Поэтому полезно будетъ сопоставить между собою главнѣйшія магнитныя и электростатическія явленія. Такъ какъ магниты съ ихъ главными свойствами вамъ уже извѣстны, то мы можемъ ограничиться только тѣмъ, что намъ необходимо для послѣдующаго.

Вотъ кусокъ магнитной желѣзной *руды*, состоящей изъ химическаго соединенія желѣза съ кислородомъ (Fe_3O_4). Съ двухъ противоположныхъ сторонъ куска отшлифованы двѣ площадки. Я беру кусокъ за средину и погружаю его въ мелкія желѣзныя опилки. Какъ видите, опилки пристаютъ къ нему, но неравномѣрно (*A* рис. 1). Плотнѣе всего кучки у конечныхъ площадокъ, въ особенности же на ихъ ребрахъ. Посрединѣ между обѣими площадками мы видимъ вокругъ поясъ, гдѣ совсѣмъ нѣтъ желѣзныхъ опилокъ, — поясъ безразличія (*ii*). Площадки, на которыхъ магнитное притяженіе всего сильнѣе, мы называемъ полюсными площадками, или полюсами (*p*, *p*),

Если я приближу полюсную площадку (очистивъ ее отъ приставшихъ опилокъ) къ кусочку желѣза, то онъ сильно притянется ею и, со своей стороны, получитъ способность притягивать желѣзо (*B* рис. 1). Такимъ образомъ я могу подвѣсить къ каждому полюсу по цѣпочкѣ изъ кусочковъ желѣза; конечные члены ихъ также взаимно притягиваются и пристаютъ другъ къ другу при соприкосновеніи.

Магнитное притяженіе обнаруживается уже по близости полюсной площадки. Я укрѣпляю кусокъ мягкаго желѣза на подставкѣ и держу надъ нимъ одну изъ полюсныхъ площадокъ (*A* рис. 2). Теперь я могу подвѣсить къ нему другой кусочекъ

Рис. 1.
Магнитное притяженіе (1/10 естеств. вел.).

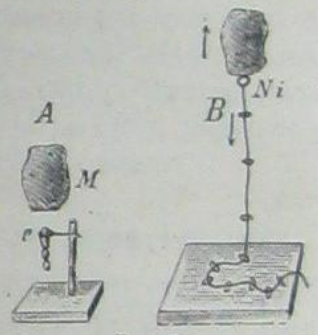


Рис. 2.
A — магнитное вліяніе. *B* — различіе въ притяженіи магнитомъ желѣза и никкеля.

желѣза, а къ этому третій. Но лишь только я удалю магнитъ, всѣ подвѣшенные желѣзные кусочки отпадаютъ, точно такъ, какъ еслибы я въ предыдущемъ опытѣ, удерживая верхній кусочекъ желѣза, отнялъ отъ него магнитъ. Это намагничиваніе чрезъ приближеніе магнита называется магнитнымъ вліяніемъ. (Мы къ нему еще вернемся).

Магнитное притяженіе обнаруживается въ желѣзѣ очень сильно, въ кобальтѣ и въ никкелѣ слабѣе, а въ другихъ тѣлахъ можетъ быть замѣчено лишь при помощи очень сильныхъ магнитовъ. Чтобы показать вамъ разницу между желѣзомъ и никкелемъ, я беру одинаковые куски того и другого металла, округленные и снабженные крючечками; къ нимъ я подвѣшиваю шелковинку, къ который на одинаковыхъ разстояніяхъ прикрѣплены равной величины свинцовые грузики (*B* рис. 2). Прикасаясь къ желѣзному куску полюсной площадкою магнита, я могу поднять цѣпочку изъ 10 свинцовыхъ грузиковъ, между

тѣмъ какъ кусокъ никкеля отпадаетъ, лишь только начнетъ подыматься четвертый свинцовый грузикъ.

Мы видѣли, что прикосновеніе къ магниту, и даже приближеніе къ нему, дѣлаетъ мягкое желѣзо само магнитнымъ, но магнитизмъ въ немъ исчезаетъ тотчасъ по удаленіи магнита. Повторенное натираніе магнитомъ ничего не измѣняетъ въ этомъ отношеніи; напротивъ, стальной брусокъ остается намагниченнымъ. Это даетъ намъ возможность изготовлять искусственные магниты удобной формы.

Очень пригодна для данной цѣли вязальная спица. Я разламываю ее пополамъ и получаю двѣ стальныхъ палочки, которыя я намагничиваю помощью естественнаго магнита. Для этого, взявъ палочку за средину, я накладываю ее около самыхъ пальцевъ на полюсную площадку магнита и провожу ею по магниту отъ средины къ концу. Это я повторяю разъ 20—30. Другую половину палочки я натираю точно такимъ же образомъ, но лишь о противоположную полюсную площадку магнита. Теперь обѣ палочки намагничены настолько сильно, что могутъ удерживать куски желѣза, вѣсящіе больше самихъ магнитныхъ палочекъ. Съ помощью намагниченныхъ вязальныхъ спицъ мы можемъ изучить важнѣйшія свойства магнитовъ.

На двухъ подставкахъ, находящихся другъ отъ друга на разстояніи около 2 м., подвѣшены на тонкихъ некрученыхъ шелковинкахъ маленькіе крючки изъ алюминіевой проволоки, въ которые я вкладываю намагниченныя спицы такъ, чтобы онѣ держались горизонтально. Какъ видите, обѣ спицы, послѣ нѣсколькихъ качаній въ обѣ стороны, устанавливаются параллельно другъ другу. Солнечные часы, имѣющіеся у окна, показываютъ намъ, что одинъ конецъ каждой спицы направленъ какъ разъ къ сѣверу *).

---

*) Отклоненіе магнитной стрѣлки отъ астрономическаго меридіана въ С.-Петербургѣ въ настоящее время почти=0 (именно, около $^1/_2$ минуты къ западу), и имъ можно для нашихъ цѣлей совершенно пренебречь. Это «склоненіе» магнитной стрѣлки значительно больше для мѣстностей лежащихъ къ востоку или западу.

Для отличенія концовъ спицы другъ отъ друга прикрѣпимъ къ полюсу, указывающему на сѣверъ, или, короче, «сѣверному полюсу», конусъ изъ легкой сердцевины подсолнечника, окрашенный въ красный цвѣтъ, а къ другому концу — зеленый шарикъ изъ того же матерьяла. Такимъ образомъ, красный конусъ будетъ отмѣчать собою сѣверный полюсъ намагниченной спицы, а зеленый шарикъ—южный.

Намъ представляется теперь вопросъ: какъ будетъ относиться такой подвижный магнитъ къ куску желѣза и къ другому магниту при ихъ приближеніи? Я приближаю къ спицѣ желѣзный ключъ: одинъ полюсъ къ нему притягивается, но и другой тоже, т. е. *оба полюса магнита притягиваются ненамагниченнымъ желѣзомъ*, точно какъ, какъ прежде оба полюса магнита притягивали желѣзо.

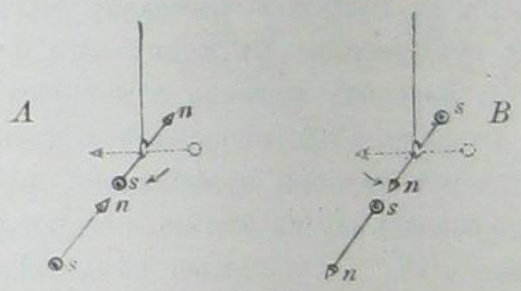


Рис. 3.
Магнитное притяженіе и отталкиваніе ($^1/_{10}$ естеств. велич.).

Я снимаю одну изъ спицъ съ крючка и приближаю ее сѣвернымъ полюсомъ къ другой (подвижной) спицѣ: послѣдняя тотчасъ же поварачивается и, послѣ нѣсколькихъ колебаній, устанавливается южнымъ полюсомъ противъ сѣвернаго полюса поднесенной мною спицы (*A* рис. 3). Стоитъ лишь перевернуть эту спицу, поднося ее южнымъ полюсомъ,— и подвижная обратится къ южному полюсу своимъ сѣвернымъ концомъ (*B* рис. 3).

Когда подвѣшенная спица успокоится и снова приметъ свое направленіе съ юга на сѣверъ, приблизимъ къ ея южному полюсу южный конецъ другой спицы: мы замѣтимъ сильное отталкиваніе; то же произойдетъ между обоими сѣверными полюсами. Слѣдовательно, *разноименные магнитные полюсы взаимно притягиваются, одноименные отталкиваются.*

Можно ли отдѣлить оба полюса другъ отъ друга? Я разламываю одну изъ спицъ посрединѣ и приближаю мѣсто излома той половины, которая снабжена краснымъ конусомъ (обозначающимъ сѣверный полюсъ), къ подвижной спицѣ: здѣсь появился южный полюсъ; точно также мѣсто излома другой половины покажетъ намъ сѣверный полюсъ. Итакъ, *каждая изъ половинъ опять представляетъ собою полный магнитъ.* Я продолжаю ломать магниты дальше, пока вся спица не раздѣлится на 8 приблизительно одинаковыхъ частей. Положивъ ихъ затѣмъ въ тонкую стеклянную трубку такъ, чтобы сѣверный полюсъ одной прикасался къ южному слѣдующей, подвѣсимъ трубочку на свободномъ крючкѣ: мы увидимъ, что всѣ 8 магнитиковъ вмѣстѣ обнаружатъ свойства цѣльнаго магнита.

Если будемъ мысленно продолжать дѣленіе намагниченной спицы все дальше и дальше, то ничто не мѣшаетъ намъ допустить, что каждая молекула *) стали имѣетъ сѣверный и южный полюсы, т. е. что *магнитъ состоитъ изъ молекулярныхъ магнитовъ (магнитныхъ элементовъ), частью направленныхъ одинаковыхъ образомъ* (Веберъ).

Что произойдетъ, если эти молекулярные магниты будутъ направлены не одинаково, а будутъ занимать всевозможныя положенія? Вотъ пробирный цилиндрикъ изъ очень тонкаго стекла, не плотно наполненный стальными опилками и запертый пробкою. Продолжительнымъ натираніемъ трубочки полюсами сильнаго магнита удается намагнитить стальную массу, состоящую изъ многихъ тысячъ кусочковъ стали, такъ, что на концахъ будутъ удерживаться кусочки желѣза. Я немного высвобождаю пробку и сильно встряхиваю пробирку, чтобы перемѣшать стальныя опилки: магнитизмъ исчезаетъ почти безъ остатка.

Молекулярные магниты.

Судя по предыдущему, можно принять, что ненамагниченный кусокъ стали или желѣза также состоитъ изъ молекулярныхъ магнитовъ, которые однако занимаютъ всевозможныя отно-

*) Подъ молекулами разумѣютъ малѣйшія однородныя другъ съ другомъ частицы, изъ которыхъ состоитъ каждое тѣло. Недѣлимыя элементарныя части молекулъ называются атомами.

сительныя положенія. Слѣдовательно, намагнитить значитъ заставить молекулярные магниты расположиться параллельно и одноименными полюсами въ одну сторону. Предѣлъ намагничиванія (никогда не достигаемый въ дѣйствительности) мы имѣли бы въ томъ случаѣ, когда всѣ молекулярные магниты были бы направлены одинаково. Легкое, но лишь временное намагничиваніе желѣза могло бы быть слѣдствіемъ способности магнитныхъ элементовъ желѣза легко поворачиваться, тогда какъ молекулы стали, благодаря присутствію углеродныхъ атомовъ, быть можетъ, поворачиваются труднѣе, но за то, разъ будучи направлены опредѣленнымъ образомъ, сохраняютъ свое положеніе. Въ пользу нашей гипотезы говоритъ то, что кусокъ стали быстрѣе намагничивается, если онъ во время намагничиванія подвергается сотрясенію, и что стальной магнитъ теряетъ часть своего магнитизма при толчкахъ или паденіи.

Намъ остается еще рѣшить вопросъ: какой полюсъ появляется на концѣ стальной спицы, который натирается полюсомъ магнита? — Вотъ ненамагниченный еще кусокъ вязальной спицы. Я беру его за одинъ конецъ и провожу по сѣверному полюсу магнита отъ этого конца къ другому (свободному). Проба показываетъ, что на свободномъ концѣ спицы появился южный полюсъ. Точно также натираніе южнымъ полюсомъ возбуждаетъ сѣверный полюсъ въ томъ мѣстѣ стальной палочки, которое послѣднимъ коснулось полюса. Для этого не нужно даже непосредственнаго прикосновенія: намагничиваніе удается, хотя и слабѣе, также въ томъ случаѣ, если между спицой и магнитомъ помѣстить тонкую слюдяную пластинку. Даже гвоздь изъ твердаго (неотожженаго) желѣза, одинъ конецъ котораго я держу по близости магнитнаго полюса, обнаруживаетъ чрезъ нѣкоторое время немного остаточнаго магнитизма, и именно на ближайшемъ къ магниту концѣ появляется разноименный полюсъ, а на противоположномъ одноименный. Это явленіе мы назовемъ магнитнымъ вліяніемъ (см. выше, стр. 2) и можемъ сказать: намагничиваніе натираніемъ или приближеніемъ къ магниту есть намагничиваніе чрезъ вліяніе.

Намагничиваніе чрезъ вліяніе.

Наконецъ, если мы попробуемъ «разрядить» магнитъ прикосновеніемъ различныхъ тѣлъ, то увидимъ, что это не удается. Слѣдовательно, магнитизмъ нельзя отвести чрезъ прикосновеніе подобно электрическому заряду. Но магнитъ (почти) теряетъ свой магнитизмъ при накаливаніи въ пламени.

Сопоставимъ теперь важнѣйшія магнитныя явленія съ извѣстными уже намъ электростатическими (см. ч. I, стр. 5).

Магнитныя явленія:	Электростатическія явленія:
1. Существуетъ только одно магнитное состояніе, нераздѣльныя формы котораго мы называемъ сѣвернымъ и южнымъ магнитизмомъ.	1. Существуютъ два различныхъ электрическихъ состоянія, которыя мы называемъ стеклянным и смолянымъ электричествами (или + E и — E).
2. Намагниченное тѣло (при правильномъ намагничиваніи) имѣетъ два противоположныхъ полюса (сѣверный и южный), между которыми находится поясъ безразличія.	2. Каждое наэлектризованное (прикосновеніемъ или треніемъ) тѣло содержитъ или положительное электричество, или отрицательное.
3. Одноименные магнитные полюсы отталкиваются, разноименныя притягиваются.	3. Одноименно наэлектризованныя тѣла отталкиваются, разноименно наэлектризованныя притягиваются.
4. При разламываніи стального магнита на любое число частей, каждая часть дѣлается полнымъ магнитомъ, съ сѣвернымъ и южнымъ полюсами.	(Аналогіи нѣтъ).
5. Свободно вращающаяся магнитная стрѣлка устанавливается въ магнитномъ меридіанѣ, т. е. подвержена дѣйствію направляющей силы.	5. Свободно вращающаяся электрическая стрѣлка (ч. I, стр. 12) при отсутствіи на электризованнаго тѣла (или проводника) не подвержена дѣйствію направляющей силы.
6. Только немногія тѣла могутъ замѣтно намагничиваться, или дѣйствуютъ на магнитную стрѣлку (желѣзныя руды, никкель, кобальтъ и пр.).	6. Всѣ тѣла могутъ наэлектризовываться, если они надлежащимъ образомъ изолированы.
7. У магнита каждая молекула есть магнитъ, т. е. содержитъ оба полюса, сѣверный и южный (см. 4). Слѣдовательно, намагнитить значитъ: заставить большее или меньшее число молекулярныхъ магнитовъ расположиться параллельно и одноименными полюсами въ одну сторону.	7. На изолированномъ проводникѣ электрическій зарядъ располагается на наружной поверхности; на непроводникѣ же въ томъ мѣстѣ, которое было потерто или коснулось къ наэлектризованному тѣлу. Наэлектризовать значитъ: вызвать въ тѣлѣ избытокъ или недочетъ электричества сравнительно съ окружающей средою

	(по унитарной гипотезѣ) или: вызвать въ тѣлѣ свободное + Е или — Е (по дуалистической).
8. Прикосновеніемъ нельзя отнять магнитизма отъ магнита.	8. Чрезъ прикосновеніе къ неизолированному проводнику наэлектризованный проводникъ разряжается.
9. Натираніемъ помощью магнита (дѣйствіе чрезъ вліяніе, см. выше) можно намагнитить любое число стальныхъ палочекъ, безъ ослабленія силы магнита.	9. Чрезъ вліяніе можно вызвать любыя количества + Е и – Е, безъ потери электрическаго заряда вліяющимъ тѣломъ (электрофоръ, электрофорная машина).

Отсюда мы видимъ, что между магнитными и электростатическими явленіями въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ существуетъ большое сходство, въ другихъ—замѣчательное различіе Послѣднее въ особенности сказывается, такъ сказать, на неподвижности (связанности) магнитизма, т. е. на невозможности намагнитить тѣло чрезъ сообщеніе или, правильнѣе, на счетъ магнитизма другого тѣла, а также на невозможность «разрядить» магнитъ прикосновеніемъ. Кромѣ того, обыкновенно наблюдаемое магнитное состояніе ограничивается очень немногими тѣлами (приб. *1*). Напротивъ, электричество (по крайней мѣрѣ въ проводникахъ) подвижно и можетъ быть вызвано треніемъ въ каждомъ хорошо изолированномъ твердомъ или жидкомъ тѣлѣ. Спрашивается, можно ли свести оба ряда столь различныхъ явленій къ одной общей причинѣ? Ниже мы увидимъ, что можно.

Такимъ образомъ, мы сдѣлали краткій обзоръ тѣхъ магнитныхъ явленій, которыя намъ необходимы для послѣдующаго, и обращаемся теперь снова къ электрическимъ явленіямъ.

* * *

Въ шести первыхъ бесѣдахъ мы познакомились съ явленіями статическаго (т. е. находящагося въ равновѣсіи или «покоящагося») электричества. Это названіе очень употребительно, но не характерно, ибо такъ называемое «покоящееся» электричество можно было отводить; оно могло, выражаясь образно, перетекать по проволокѣ съ одного тѣла на другое или въ землю, т. е. нѣкоторымъ образомъ двигаться. Мы часто пользовались именно этою подвижностью статическаго электриче-

ства, но всегда наблюдали лишь конечный результатъ, т. е. опять нѣкоторое состояніе равновѣсія. Теперь мы обратимъ вниманіе на самый процессъ электрическаго разряда, т. е. на такъ называемое «электрическое теченіе» — на явленія, которыя называются явленіями *динамическаго электричества*.

Чтобы познакомиться съ явленіями движущагося электричества, мы должны имѣть достаточно обильный электрическій источникъ. Электрофорная машина, часто употреблявшаяся нами прежде, можетъ показать намъ прежде всего, въ чемъ дѣло.

Я привожу машину въ дѣйствіе, прицѣпляю къ ея раздвинутымъ кондукторамъ (*A* рис. 4), съ помощью петель, концы толстаго пеньковаго шнурка (полупроводникъ) и привязываю его къ шелковинкѣ (s), спускающейся съ потолка

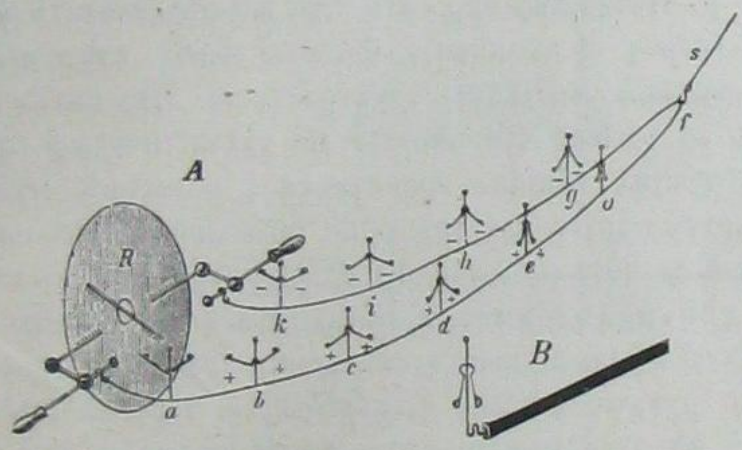


Рис. 4.
Паденіе степени электризаціи въ проводникѣ (1/20). *B* — пробный электроскопъ (1/10).

такъ, чтобы шнурокъ былъ достаточно натянутъ и образовалъ замкнутую цѣпь, когда машина находится въ дѣйствіи.

Укрѣпленный на эбонитовой палочкѣ простой пробный электроскопъ (*B* рис. 4) съ бумажными листочками я помѣщаю на шнурокъ, вблизи отъ кондуктора. Чтобы я могъ передвигать пробный электроскопъ вдоль шнурка, я прошу кого-нибудь изъ васъ продолжать вращеніе рукоятки электрофорной машины медленно и равномѣрно. Вы видите, что листочки (въ положеніи *a* рис. 4) сильно расходятся. Приближая пробный электроскопъ къ стоящему на другомъ концѣ

стола обыкновенному электроскопу, заряженному положительно. мы находимъ, что шнурокъ въ точкѣ *a* заряженъ положительнымъ электричествомъ, чего и надо было ожидать.

Теперь я постепенно передвигаю пробный электроскопъ вдоль шнурка, испытывая въ разныхъ мѣстахъ знакъ заряда. Какъ видите, зарядъ все еще положителенъ, но непрерывно убываетъ до нѣкоторой точки о (рис. 4), въ которой листочки совсѣмъ спадаются, т. е. зарядъ электроскопа=0. При дальнѣйшемъ передвиженіи листочки снова подымаются, но зарядъ отрицателенъ и постепенно возрастаетъ по мѣрѣ приближенія къ отрицательному кондуктору (*f—i*, рис. 4). Слѣдовательно, *степень электризаціи, или разность потенціаловъ* *) *проводника и земли, непрерывно убываетъ* (по абсолютной величинѣ) *отъ обоихъ полюсовъ къ точкѣ о.* Въ самой точкѣ *o* степень электризаціи = 0. Интересно спросить: что же происходитъ въ проводникѣ (или у проводника?), пока по немъ, какъ мы выражаемся образно, протекаетъ электричество? Что именно течетъ и течетъ ли вообще что нибудь? По дуалистической гипотезѣ, обѣ «жидкости» (fluida) появляются у полюсовъ машины и текутъ другъ другу навстрѣчу по проводнику. Но тогда оба электричества должны были бы, встрѣчаясь (напр. въ точкѣ *o*), взаимно нейтрализоваться. Какъ объяснить въ этомъ случаѣ постепенную убыль степени электризаціи проводника до точки *o*? Или надо думать, что оба электричества текутъ одно мимо другого и на пути постепенно нейтрализуются? Все это совершенно противорѣчитъ сдѣланнымъ выше наблюденіямъ. Вы согласитесь, что дуалистическая гипотеза не объясняетъ намъ внутреннихъ процессовъ такъ называемаго «электрическаго теченія». Однако силою привычки выраженія «электрическое

---

*) Разность электрическихъ потенціаловъ двухъ проводниковъ мы измѣряемъ механической работою, которая необходима, чтобы электростатическую единицу положительнаго электричества перевести съ низшаго электрическаго уровня къ высшему. Слѣдовательно, выраженная въ единицахъ работы разность электрическихъ потенціаловъ проводника и земли есть механическая мѣра степени электризаціи (см. ч. I, стр. 130).

теченіе» (или, короче, электрическій токъ), а также «+E и —E» утвердились, и мы—за неимѣніемъ лучшихъ—постоянно пользуемся этими выраженіями, точно такъ, какъ мы все еще говоримъ о восходѣ или закатѣ солнца, хотя уже со времени Коперника знаемъ иное.

Какъ же представится дѣло по унитарной гипотезѣ? Позвольте мнѣ сперва выяснить на одномъ примѣрѣ изъ механики жидкостей тѣ явленія, которыя аналогичны электродинамическимъ, составляющимъ предметъ нашего изученія.

Представимъ себѣ горизонтальный кольцеобразный каналъ (*A* рис. 5), наполненный до половины своей высоты водою. Въ мѣстѣ M пусть имѣется плотина, а въ ней труба, въ ко-

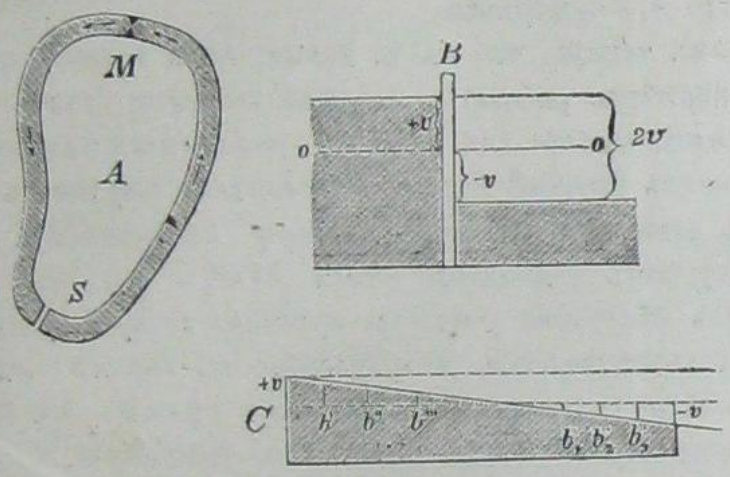


Рис. 5.
Гидродинамическія явленія.

торой можетъ вращаться пароходный винтъ, приводимый въ дѣйствіе машиной. Въ другомъ мѣстѣ (s) устроена запруда, которая пусть пока будетъ заперта.

Что произойдетъ, если привести пароходный винтъ въ дѣйствіе? Очевидно, винтъ погонитъ воду въ каналѣ впередъ (напр. по направленію стрѣлокъ рисунка). Вслѣдствіе этого вода будетъ перетекать въ лѣвую половину канала, и уровень ее здѣсь поднимется, тогда какъ въ правой половинѣ уровень воды понизится. У запруды появится разность уровней (*B* рис. 5), величина которой будетъ зависить отъ силы, съ которой вода гонится впередъ, — отъ «вододвижущей силы» машины. Разность уровней будетъ возрастать до тѣхъ

поръ, пока обратное давленіе воды на винтъ не уравновѣситъ вододвижущей силы машины; послѣ этого работа машины будетъ служить лишь для поддержанія этой разности. Слѣдовательно, разность уровней у запруды можетъ служить мѣрою вододвижущей силы машины. Такъ какъ разность уровней, выраженную въ единицахъ работы, мы называемъ разностью потенціаловъ, то можемъ сказать, что *разность потенціаловъ въ конечныхъ точкахъ канала есть мѣра вододвижущей силы*. Если повышеніе уровня (въ механическихъ единицахъ) съ одной стороны запруды $= + V$ (см. *B* рис. 5), а пониженіе съ другой $= - V$, то полная разность уровней или потенціаловъ $= + V - (-V) = 2 V$, что, впрочемъ, прямо видно и изъ чертежа.

Положимъ теперь, что въ то время, какъ машина продолжаетъ равномѣрно работать, запруда открыта, такъ что въ каналѣ представляется для воды непрерывный замкнутый путь. Разность уровней будетъ стремиться выравняться, но такъ какъ движущее дѣйствіе машины продолжается, то по обѣимъ сторонамъ подводнаго винта будетъ поддерживаться въ уровняхъ нѣкоторая разность, величина которой будетъ зависить отъ сопротивленія, встрѣчаемаго въ каналѣ водою, и будетъ вообще гораздо меньше, чѣмъ прежде. Въ каналѣ скоро установится состояніе подвижнаго равновѣсія, при которомъ къ каждому мѣсту притекаетъ столько же воды, сколько утекаетъ. При одинаковомъ повсюду поперечномъ сѣченіи канала, паденіе уровня вездѣ должно быть одно и то же. [*C*, рис. 5, представляетъ вертикальное сѣченіе вдоль оси канала; средняя пунктирная прямая соотвѣтствуетъ начальному уровню воды въ состояніи покоя (нулевой уровень)].

Отсюда выходятъ два слѣдствія:

1) Представимъ себѣ внутри нашего кольцеобразнаго канала прудъ, уровень воды въ которомъ одинаковъ съ первоначальнымъ уровнемъ воды въ каналѣ; сравнивая высоту воды или степень наполненія канала со степенью наполненія пруда, мы видимъ, что степень наполненія лѣвой части канала больше нежели пруда, а правой меньше. Разность уровней въ каналѣ и прудѣ постепенно убываетъ (если начнемъ

слѣва отъ подводнаго винта), дѣлается въ нѣкоторой точкѣ=0, а потомъ переходитъ въ непрерывно возрастающую отрицательную разность. Сравнительно съ нулевымъ уровнемъ мы имѣемъ въ лѣвой половинѣ канала положительную степень наполненія, а въ правой отрицательную.

2. Между двумя равноотстоящими точками пути (повсюду одинаковаго) паденіе уровня, или паденіе степени наполненія, одинаково, т. е. паденіе уровней постоянная величина. *Во всякой точкѣ пути уровень ниже, чѣмъ въ предшествовавшихъ* (противъ теченія), *т. е. степень наполненія, по сравненію съ выше лежащими точками, отрицательна*; напротивъ, степень наполненія *положительна* по сравненію съ точками, лежащими по теченію ниже.

* * *

Вернемся къ электрическимъ явленіямъ. Аналогію съ первымъ слѣдствіемъ изъ гидродинамическихъ законовъ мы уже нашли (рис. 4): степень электризаціи (или электрическій потенціалъ) въ проводникѣ непрерывно убываетъ, дѣлается нулемъ, а затѣмъ принимаетъ возрастающее отрицательное значеніе.

Теперь мы излѣдуемъ еще паденіе электрическаго уровня между двумя точками замкнутой цѣпи.

Я ставлю бумажный электрометръ (*E* рис. 6) съ металлической оправою (ящикомъ) на кусокъ параффина. [При всѣхъ опытахъ съ электрометромъ на экранъ отбрасывается сильно увеличенное изображеніе его шкалы и листочка. См. ч. I, рис. 15]. На эбонитовой палочкѣ (l) насажены два передвигающіеся латунные зажима, къ которымъ припаяны двѣ толстыя нейзильберныя проволоки (m_1 m_2), загнутыя крючками. Къ зажимамъ я прикрѣпляю по очень тонкой мѣдной проволокѣ, которыя подвѣшиваю на шелковыхъ нитяхъ при помощи двухъ деревянныхъ палочекъ и крючечковъ. Конецъ одной проволоки я присоединяю къ зажимному винту оправы электрометра, а конецъ другой проволоки—къ его стержню.

Теперь я прошу опять медленно и равномѣрно вращать

машину и накладываю проволочную вилку на пеньковый шнурокъ, какъ показываетъ рис. 6. Вы тотчасъ же замѣчаете на электрометрѣ отклоненіе листочка, которое почти не измѣняется, когда я передвигаю вилку взадъ и впередъ или провожу ею по всей длинѣ шнурка. Электрометръ, сообщенный съ нейзильберной проволокою m_2, лежащей по направленію тока ниже m_1, показываетъ, какъ свидѣтельствуетъ проба, постоянно — E.

Я перевертываю эбонитовую палочку такъ, чтобы m_1 и m_2 помѣнялись мѣстами: теперь проволока m_2 лежитъ по на-

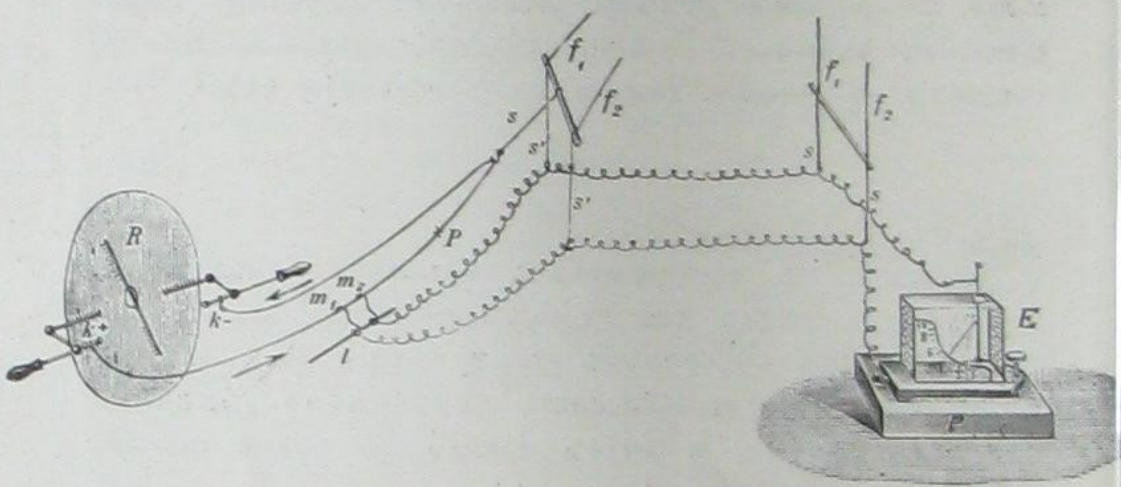


Рис. 6.
Паденіе электрическаго уровня въ цѣпи (1/20).

правленію тока выше m_1 — и электрометръ, показывая приблизительно такое же отклоненіе, заряженъ + E. Отклоненіе и теперь почти не измѣняется, если передвигать проволочную вилку по шнурку. Если принять во вниманіе, что электрофорная машина, вѣроятно, дѣйствуетъ не вполнѣ равномѣрно, и что шнурокъ можетъ имѣть неодинаковую толщину и различную плотность въ разныхъ мѣстахъ, то можно допустить, что при совершенно постоянномъ источникѣ электричества и въ однородномъ проводникѣ паденіе электрическаго уровня во всей цѣпи постоянно.

Зависимость между паденіемъ электр. уровня и длиной проводника.

Повторимъ опытъ съ маленькимъ измѣненіемъ. Длина шнура 210 см. На разстояніи 70 см. отъ положительнаго кондуктора, т. е. на 1/3 длины шнурка, отмѣчена краснымъ карандашомъ точка (P рис. 6). Я насаживаю сюда винтовой зажимъ, соеди-

ненный проволокою съ земнымъ отводомъ. Слѣдовательно, эта точка P проводника, по приведеніи машины въ дѣйствіе, останется при степени электризаціи земли, т. е. при нулевомъ потенціалѣ. Въ самомъ дѣлѣ, вы видите, что вспомогательный электроскопъ не даетъ здѣсь никакого отклоненія; между P и $+K$ онъ вездѣ показываетъ $+E$, а между P и $-K$ вездѣ $-E$. Я накладываю проволочную вилку на шнурокъ: явленіе то же, что и прежде, даже когда соединенная съ электрометромъ проволока m_2 приходитъ въ точку P. Но при этомъ наблюдается слѣдующая замѣчательная особенность: въ каждой изъ двухъ неодинаковой длины частяхъ шнурка (т. е. между $+K$ и P и между P и $-K$) электрометръ даетъ почти неизмѣняющееся отклоненіе, но въ болѣе короткой части оно составляетъ 3,4, а въ болѣе длинной 1,8 дѣленій шкалы, т. е. въ болѣе короткой части проводника паденіе электрическаго уровня почти вдвое сильнѣе, чѣмъ въ болѣе длинной. А такъ какъ эта послѣдняя часть вдвое длиннѣе первой, то мы видимъ, что въ однородныхъ проводникахъ неодинаковой длины разность уровней въ двухъ равноотстоящихъ точкахъ обратно пропорціональна длинѣ проводника.

Электродвижущая сила.

Причина, производящая электрическій зарядъ машины, какъ мы знаемъ (ч. 1, стр. 92), есть мышечная сила руки, которая вращала машину. Такъ какъ электричество приводится въ движеніе по проводнику дѣйствіемъ машины, то мы можемъ приписать ей нѣкоторую *электродвижущую силу*, точно такъ, какъ мы прежде назвали вододвижущей ту силу, которая приводила въ движеніе воду. Мы нашли, что мѣрою вододвижущей силы служитъ разность водяныхъ уровней, которая устанавливается у закрытой запруды, т. е. въ случаѣ прерваннаго водяного тока. Точно также мы будемъ считать мѣрою электродвижущей силы разность электрическихъ уровней (разность потенціаловъ) на несообщенныхъ между собою полюсахъ электрическаго источника.

Итакъ, чтобы опредѣлить электродвижущую силу электрофорной машины, мы должны были бы измѣрить разность электрическихъ потенціаловъ у свободныхъ полюсовъ (въ то

время, какъ машина равномѣрно работаетъ). Къ сожалѣнію, имѣющіяся въ нашемъ распоряженіи средства для этого недостаточны. Шкала нашего электрометра простирается лишь до 10 вольтовъ *) при употребленіи нормальнаго конденсатора, или (т. к. сгущающая способность послѣдняго около 200) до 2,000 вольтовъ безъ конденсатора. Здѣсь же мы имѣемъ дѣло, смотря по длинѣ искры, съ разностями потенціаловъ въ 40—50 тысячъ вольтовъ. Потому для нашихъ дальнѣйшихъ опытовъ мы возьмемъ другіе источники электричества.

Бросимъ сперва взглядъ назадъ. Въ статическомъ электричествѣ, или электричествѣ отъ тренія, мы нашли, что наэлектризованный изолированный проводникъ на всей своей поверхности и внутри имѣетъ одинаковую степень электризаціи, т. е. *постоянный электр. потенціалъ*. Здѣсь же, напротивъ, мы наблюдаемъ въ проводникѣ паденіе потенціала, которое, ради наглядности, мы назвали паденіемъ электрическаго уровня, хотя совершенно не знаемъ, что движется въ проволокѣ, служащей проводникомъ. Въ чемъ же состоитъ различіе между статическимъ (покоящимся) и динамическимъ (движущимся) электричествомъ?

Для введенія въ ученіе о динамическомъ электричествѣ я нарочно взялъ электрическій источникъ, который мы уже раньше употребляли для полученія статическаго электричества. Поэтому вы прямо согласитесь, что въ обоихъ случаяхъ дѣйствовало одно и то же электричество. Если мы въ нижеслѣдующемъ увидимъ, что другіе источники электричества—какого бы рода они ни были — показываютъ въ существенныхъ чертахъ тѣ же явленія, то должны будемъ принять, что существуетъ, такъ сказать, только одинъ сортъ электричества. Слѣдовательно, различіе между электростатическими и электродинамическими явленіями зависитъ только отъ различія въ дѣйствіяхъ *одного и того же электричества*, находящагося въ состояніи покоя или въ состояніи движенія. При этомъ совершенно безразлично, чѣмъ именно

*) Вольтъ — практическая единица разности электр. потенціаловъ и вмѣстѣ съ тѣмъ практическая единица степени электризаціи. Вольтъ = $^1/_{300}$ электростатической единицы потенціала (см. ч. I, стр. 131).

электричество приводится въ движеніе въ проводникѣ (т. е. какою причиною возбуждается «электрическій токъ»).

Если я напр. буду водить наэлектризованной флинтгласовой палкой надъ незаряженнымъ электроскопомъ (ч. I, стр. 37), то во время приближенія стеклянной палки къ шарику электроскопа разноименное электричество будетъ притянуто въ шарикъ, а одноименное по стержню оттолкнуто въ листочки. По мѣрѣ удаленія вліяющаго тѣла электричество стекаетъ обратно съ обоихъ концовъ стержня. Слѣдовательно, мы имѣемъ въ этомъ случаѣ въ обѣихъ половинахъ стержня электрическіе токи того и другого направленія. Точно также, когда мы прикасаемся къ наэлектризованному проводнику другимъ, сообщеннымъ съ землею, электричество со всѣхъ частей проводника перетекаетъ въ точку прикосновенія, и проводникъ разряжается. Обратное происходитъ при заряженіи проводника. Поэтому мы можемъ сказать, что *электрическій токъ возникаетъ въ проводникѣ всякій разъ, какъ измѣняется электрическое состояніе (электр. потенціалъ) въ какой нибудь его точкѣ.*

* * *

Выше (при опытѣ рис. 6) мы приняли, что въ проводникѣ «течетъ» одно электричество, и процессъ выравниванія болѣе высокаго и болѣе низкаго электрическихъ уровней назвали электрическимъ токомъ. По этому взгляду, взятому изъ унитарной гипотезы, наблюденныя явленія хорошо объяснялись. Однако, ради удобства, мы сохранимъ выраженіе — Е, но подъ направленіемъ тока будемъ разумѣть направленіе, по которому въ проводникѣ течетъ положительное электричество. То, что мы, по общепринятому, считаемъ положительнымъ *стеклянное электричество* (Франклинъ), совершенно произвольно; весьма возможно и даже, судя по новѣйшимъ изслѣдованіемъ, вѣроятно, что существуетъ только одно электричество, именно то, которое мы называемъ отрицательнымъ.

Посмотримъ теперь еще, какое дѣйствіе оказываетъ толщина шнурка на паденіе электрическаго уровня. Для этой цѣли я

Центральная Научная Библиотека при Харьковскомъ Госуниверситете

обложилъ концы трехъ пеньковыхъ шнурковъ (рис. 7) листовымъ оловомъ и обвязалъ ихъ толстыми мѣдными проволоками, которыя оканчиваются крючками; за эти крючки я могу прицѣпить ихъ къ полюсамъ электрической машины. Всѣ три шнурка одинаковой длины. Первый одиночный, второй двойной,

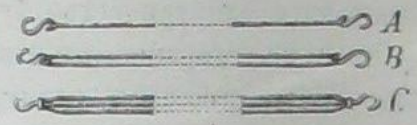


Рис. 7.
Электропроводимость шнурковъ различной толщины (1/5).

а третій тройной; шнурки взяты отъ одного и того же куска, т. е. по возможности одинаковые. Я присоединяю шнурки одинъ за другимъ къ машинѣ (см. рис. 6) и опредѣляю для каждаго изъ нихъ разность электрическихъ уровней въ точкахъ прикосновенія проволочной вилки, которой концы, конечно, остаются въ неизмѣнномъ разстояніи другъ отъ друга. Если вращать машину, по возможности, равномѣрно, то мы получаемъ слѣдующія отклоненія на электрометрѣ: при *A* 8,5, при *B* 5,5, при *C* 2,7. Отсюда мы видимъ, что разность электрическихъ уровней въ двухъ равноотстоящихъ точкахъ проводника уменьшается при увеличеніи поперечнаго сѣченія проводника.

Я ставлю передъ вами заряженный бумажный электроскопъ (рис. 8), беру одиночный шнурокъ (*A*) за крючки и

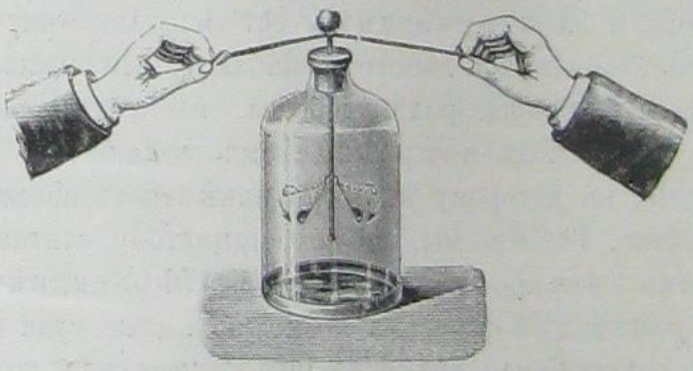


Рис. 8.

касаюсь его срединою къ электроскопу. Какъ видите, листочки спадаются медленно Я повторяю опытъ съ двойнымъ шнуркомъ: листочки спадаются замѣтно быстрѣе; еще быстрѣе это

происходитъ при тройномъ шнуркѣ (C). Слѣдовательно, тройной шнурокъ проводитъ электричество лучше двойного, а двойной лучше одиночнаго.

Теперь мы можетъ точнѣе формулировать результатъ сдѣланнаго выше наблюденія:

Для даннаго промежутка пути, по которому идетъ токъ, разность электрическихъ уровней въ конечныхъ точкахъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше электропроводимость пути.

Интересны нѣкоторыя слѣдствія, связанныя съ нашими наблюденіями. Что произойдетъ, если вмѣсто шнурка взять хорошій проводникъ, напр. мѣдную проволоку? Очевидно, что разность электрическихъ уровней на концахъ нашей вилки должна сдѣлаться незамѣтно малою. Опытъ это вполнѣ подтверждаетъ. Вы теперь понимаете, почему именно я пользовался шнуркомъ. — Если же я соединю полюсы машины непроводникомъ (изоляторомъ), то вся электродвижущая сила проявляется разностью электрическихъ уровней на полюсахъ, и изоляторъ дѣйствуетъ здѣсь подобно закрытой запрудѣ въ водяномъ каналѣ.

Этимъ мы сегодня закончимъ.

Чтеніе II.

Электризованіе металловъ при соприкосновеніи съ жидкостями; дѣйствіе двухъ погруженныхъ въ жидкость металловъ; Вольтовъ элементъ; электрическая разность полюсовъ; причина электродвижущей силы элемента; химическая теорія; историческія свѣдѣнія: контактная теорія Вольты; постоянные элементы; соединенія параллельное и послѣдовательное; электродвижущая сила батареи при томъ и другомъ; сравненіе электродвижущей силы нѣкоторыхъ постоянныхъ элементовъ.

Оглянемся назадъ, чтобы еще разъ отмѣтить самые важные пункты нашей первой бесѣды и лучше запомнить ихъ.

Взглядъ на пройденное.

1) Магнитные и электростатическіе законы притяженія и отталкиванія, а равно и вліянія обнаруживаютъ замѣчательное сходство; но наблюдаются и большія различія между магнитными и электрическими явленіями. Такъ, магнитъ всегда имѣетъ оба противоположные полюса, а каждый кусокъ переломленнаго магнита опять есть полный магнитъ съ двумя полюсами. Далѣе, только немногія тѣла (желѣзо и его руды, никкель и нѣкоторыя другія) явственно магнитны, тогда какъ всѣ твердыя тѣла, надлежащимъ образомъ изолированныя, могутъ электризоваться.

2) Между электрическимъ токомъ въ проводникѣ и теченіемъ воды въ каналѣ существуетъ явная аналогія, которая сохраняется и тогда, когда проводникъ прерванъ (запруда въ каналѣ заперта). Въ этомъ случаѣ на полюсахъ электрической машины поддерживается разность электрическихъ уровней, зависящая отъ электродвижущей силы аппарата и могущая служить ея мѣрою.

3) Если въ точкахъ A и B возникаетъ (и поддерживается) электрическая разность уровней, то при соединеніи точекъ A и B проводникомъ электричество стремится къ выравниванію разности. Процессъ такого выравниванія мы называемъ электрическимъ токомъ. Въ проводникѣ, со-

единяющемъ оба полюса аппарата, степень электризаціи (электрическая разность уровней проводника и земли) различна. У положительнаго полюса она имѣетъ наибольшую положительную величину, затѣмъ все убываетъ, достигаетъ въ одной точкѣ нулевого значенія, а затѣмъ къ отрицательному полюсу принимаетъ все бо́льшія отрицательныя величины. Слѣдовательно, мы имѣемъ въ проводникѣ паденіе электрическаго уровня. Если путь тока однороденъ, то паденіе—величина постоянная, т. е. электрическая разность уровней въ двухъ равноотстоящихъ точкахъ проводника вездѣ одинакова. Въ двухъ равноотстоящихъ точкахъ проводника электрическая разность уровней тѣмъ больше, чѣмъ меньше проводящая способность взятаго матерьяла.

* * *

Теперь мы познакомимся съ новымъ источникомъ электричества, который съ перваго взгляда кажется незначительнымъ и скуднымъ, на самомъ же дѣлѣ можетъ давать больше электричества, чѣмъ лучшая электрофорная машина, и находитъ въ техникѣ важныя примѣненія.

Къ электрометру съ алюминіевыми листочками (рис. 9) я привинчиваю цинковую пластинку и кладу на нее крестъ-накрестъ два очень тонкихъ квадратныхъ слюдяныхъ листа (*g*), края которыхъ со всѣхъ сторонъ выставляются надъ краями цинковой пластинки. Каждая изъ слюдяныхъ пластинокъ съ одной стороны покрыта (шеллаковымъ) лакомъ, а съ другой имѣетъ ободокъ изъ такого же лаку; пластинки накладываются одна на другую лакированными сторонами. На слюду я помѣщаю кусокъ пропускной бумаги (*f*), смоченной нѣсколькими каплями разведенной сѣрной кислоты.

Взявъ гибкую цинковую проволоку (*d*) *), снабженную двумя изолирующими рукоятками изъ сургуча (*i*), я касаюсь ея концами къ цинковой пластинкѣ (*Zn*), и къ влажной пропускной бумагѣ (*f*). По удаленіи цинковой проволоки и снятіи верхней слюдяной пластинки (вмѣстѣ съ бумагою),

*) Или узенькую полоску листового цинка.

электрометръ показываетъ слабый зарядъ — E (на рис. 9 положеніе листочка обозначено пунктиромъ), тогда какъ на влажной бумагѣ оказывается + E; послѣднее можно обнаружить, положивъ снятую пластинку на кружокъ алюминіеваго электрометра *). Повторяя опытъ съ мѣдной пластинною и мѣдной проволокой, мы опять получимъ на электрометрѣ — E, но зарядъ будетъ замѣтно слабѣе; съ платиной мы получили бы + E. Если вмѣсто разведенной сѣрной кислоты взять воду или соляные растворы, то результатъ будетъ въ случаѣ различныхъ металловъ нѣсколько иной, какъ по силѣ, такъ и по знаку электрическаго заряда; но изъ всѣхъ

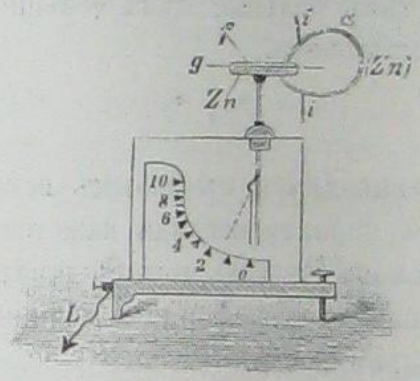


Рис. 9.
Обнаруженіе электризаціи металловъ при соприкосновеніи съ жидкостями, по Буффу (1/10).

металловъ *цинкъ* при соприкосновеніи съ надлежащими жидкостями сильнѣе всего *электризуется отрицательно*.

Что будетъ, если привести въ соприкосновеніе съ одною жидкостью два различныхъ металла?

Вотъ нѣсколько брусочковъ изъ разныхъ металловъ и изъ твердаго ретортнаго угля (кокса), съ прикрѣпленными на концахъ гибкими мѣдными проволоками. Эти проволоки на цинковомъ брускѣ обмотаны зеленымъ шелкомъ, а на остальныхъ краснымъ. На каждый брусокъ надѣто по два узкихъ резиновыхъ кольца (куски тонкой резиновой трубки), такъ

*) Здѣсь и дальше, при всѣхъ опытахъ съ электрометромъ, его металлическая оправа (ящикъ) сообщается съ земнымъ отводомъ (проволокою L на рис. 9). См. ч. I, стр. 42. Кромѣ того, сильно увеличенное изображеніе шкалы и листочка отбрасывается на бѣлый экранъ (ч. I, рис. 15).

что пару брусковъ можно сложить вмѣстѣ безъ того, чтобы они касались другъ друга.

Вольтовъ элементъ.

Я погружаю мѣдно-цинковую пару въ толстостѣнную пробирку (рис. 10), наполненную до половины разведенной сѣрной кислотою, устанавливаю пробирку въ отверстіи деревяшки, — и такъ называемый Вольтовъ элементъ готовъ.

Къ концамъ проводныхъ проволокъ (d_1 d_2) припаяны болѣе толстые куски нейзильберной проволоки, которые сперва согнуты въ петлю (o), а на концахъ заострены. Если конецъ одной нейзильберной проволоки вставить въ петлю, сдѣлан-

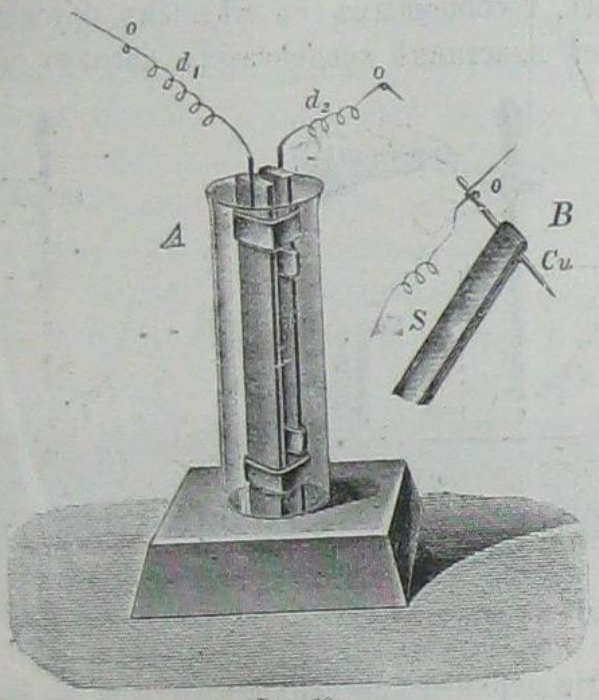


Рис. 10.

A—маленькій Вольтовъ элементъ (1/2). *B*—способъ соединенія полюсной проволоки съ изолированной проводной проволокою.

ную на проволокѣ другого элемента, то установится надежное металлическое сообщеніе (контактъ) между соотвѣтствующими металлическими брусками. Это, какъ вы скоро увидите, здѣсь очень важно. Сперва въ петли полюсныхъ проволокъ элемента я вставляю проволочные штифты, нѣсколько заостренные съ концовъ и укрѣпленные посрединѣ въ кускѣ сургуча (*B* рис. 10). Берясь за такую изолирующую ручку (*S*), я могу прикладывать штифтъ къ электрометру, не прикасаясь рукою къ проводной проволокѣ элемента.

Этой предосторожности я буду держаться при всѣхъ опытахъ съ электрометромъ, если даже о ней не упоминается.

Теперь мы посмотримъ, какъ дѣйствуетъ нашъ «элементъ». Я касаюсь проводными проволоками къ шарику алюминіеваго электрометра: дѣйствія не замѣчается. Нашъ элементъ или вовсе не производитъ электричества, или же электрометръ не достаточно чувствителенъ. Поэтому попробуемъ повторить тотъ же опытъ съ конденсаторомъ (ч. I, стр. 63).

Замѣнивъ шарикъ электрометра конденсаторной пластинкою, я прикасаюсь къ отводящей проволокѣ электрометра проводникомъ, сообщеннымъ съ мѣднымъ брускомъ элемента, а къ верхней пластинкѣ конденсатора касаюсь рукою (*A* рис.

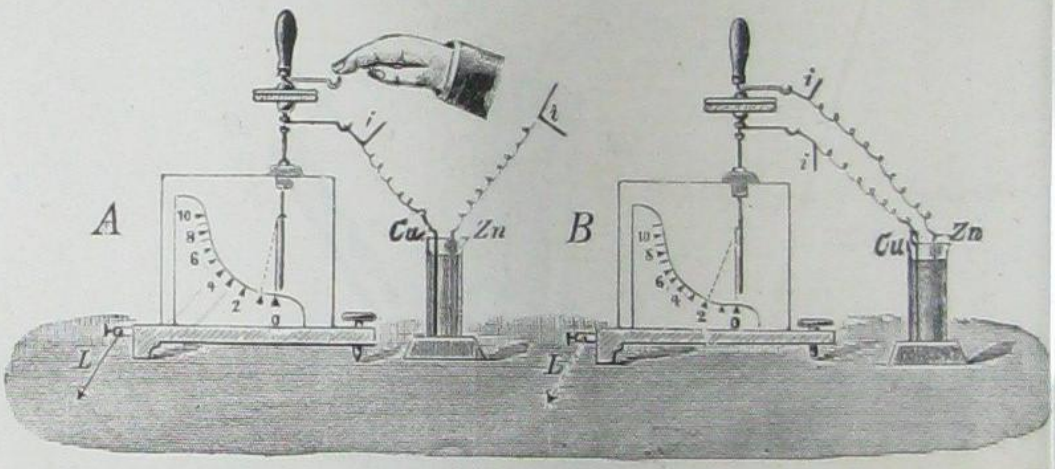


Рис. 11.
Обнаруженіе электризаціи на полюсахъ Вольтова элемента (1/10).

11). По снятіи верхней пластинки, электрометръ даетъ маленькое отклоненіе (около 0,9 дѣленія шкалы). Проба показываетъ, что проволока отъ мѣднаго бруска зарядила электрометръ + *E*. (При этомъ проволока цинковаго бруска оставалась въ воздухѣ, т. е. была изолирована). Для контроля перемѣстимъ полюсныя проволоки, т. е. коснемся къ отводящей проволокѣ электрометра концомъ отъ цинковаго бруска: электрометръ зарядится — *E*.

Въ предыдущемъ опытѣ (рис. 9), касаясь жидкости цинкомъ или мѣдью въ отдѣльности, мы получали на металлахъ — *E*, здѣсь же на мѣди находимъ + *E*. Но мы уже знаемъ, что въ жидкости появляется противоположный

зарядъ. (Въ случаѣ цинка, рис. 9, около + 1,1, а мѣди около + 0,3). Мы можемъ допустить лишь то, что избытокъ (1,1—0,3 = 0,8) какъ-либо переходитъ чрезъ жидкость на мѣдный брусокъ, вслѣдствіе чего послѣдній получаетъ разностный зарядъ + E = 0,8, а на цинкѣ появляется соотвѣтственный зарядъ — E = 0,8. Нѣкоторое различіе между этимъ зарядомъ и полученнымъ нами (0,9) можетъ быть объяснено неизбѣжными погрѣшностями наблюденія.

Я повторяю опытъ, но отвожу свободную проволоду элемента въ землю, присоединяя ее къ земному отводу, или, что еще лучше, прикасаюсь этой проволокою одновременно къ верхней пластинкѣ электрометра (B рис. 11). По удаленіи проволокъ и снятіи верхней пластинки, электрометръ даетъ вдвое большее отклоненіе (1,7). Это не удивительно, если припомнить, что электрическій уровень мѣднаго полюса (+ e) выше нулеваго уровня (земли), а цинковаго (—e) настолько же ниже, и мы во второмъ случаѣ измѣряемъ полную электрическую разность уровней мѣдь/цинкъ, т. е. + e — (—e) = 2 e, а раньше, когда другой полюсъ былъ изолированъ, мы наблюдали только электрическую разность мѣдь/земля или земля/цинкъ.

Отсюда мы видимъ, что при одновременномъ погруженіи двухъ различныхъ металловъ въ жидкость (надлежащимъ образомъ выбранную), на выставляющихся концахъ ихъ появляется и поддерживается электрическая разность уровней, причемъ одинъ металлъ (здѣсь мѣдь) заряжается + E, другой (цинкъ) — E. Слѣдовательно, такой «элементъ» есть въ маломъ видѣ самодѣйствующая электрическая машина. Выставляющіеся изъ жидкости концы металловъ, заряженные разноименно, представляютъ полюсы элемента; поэтому прикрѣпленныя къ нимъ проволоки мы для краткости называемъ полюсными проволоками.

Электрическая разность полюсовъ.

Электрическая разность уровней на полюсахъ такого элемента или, короче, электрическая разность полюсовъ, очень мала; но за то достаточно мгновеннаго прикосновенія полюсныхъ проволокъ къ пластинкамъ большого кон-

денсатора, чтобы сообщить имъ ту же электрическую разность уровней, какая имѣется на полюсахъ. Если теперь вы припомните, какъ медленно заряжался конденсаторъ помощью стеклянной палки или даже электрической машины, то поймете, что мы имѣемъ здѣсь источникъ электричества весьма низкаго электрическаго уровня, но дающій, сравнительно съ электростатическими источниками, большія количества электричества; это вамъ станетъ еще понятнѣе послѣ. Выражаясь образно, можно сравнить электрическій токъ отъ электрофорной машины со множествомъ водяныхъ капель, выбрасываемыхъ подъ большимъ давленіемъ (т. е. съ большой скоростью) изъ рукава пожарной трубы, тогда какъ въ случаѣ нашихъ элементовъ электрическій токъ въ проволокѣ, соединяющей полюсы, соотвѣтствуетъ большому количеству воды, текущему подъ едва замѣтнымъ паденіемъ. Струя изъ парового пожарнаго насоса можетъ разрушить кирпичную кладку, но не была бы въ состояніи — по причинѣ дѣйствующаго лишь на малую площадь давленія — двигать мельничное колесо. — Поэтому можно ожидать, что наши «элементы», при извѣстныхъ условіяхъ, произведутъ гораздо бо́льшія динамическія дѣйствія, чѣмъ электрофорная машина; подтвержденіе этого мы скоро увидимъ.

Прошедшій разъ мы узнали, что электрическая разность на свободныхъ полюсахъ электрическаго источника даетъ намъ мѣру электродвижущей силы аппарата. Съ помощью того же конденсатора, который служилъ для нормированія шкалы электрометра, мы нашли для нашего Вольтова элемента (мѣдь /цинкъ) электрическую разность полюсовъ въ 1,7 дѣленій шкалы. Спустя нѣсколько минутъ, я повторяю опытъ и нахожу только 1,3. Я соединяю указаннымъ выше образомъ (*B* рис. 10) полюсныя проволоки между собою, такъ что образуется замкнутая цѣпь (мѣдь—проволока—цинкъ—разведенная сѣрная кислота — мѣдь), и измѣряю чрезъ нѣсколько минутъ: отклоненіе составляетъ едва 0,5. Если я снова замкну цѣпь (минутъ на 10), то электрическая разность полюсовъ будетъ всего лишь 0,3. Слѣдовательно, электродвижущая сила нашего

элемента очень быстро падаетъ: дѣйствіе элемента не постоянно. Какъ вообще возникаетъ токъ, и почему дѣйствіе ослабѣваетъ? Чтобы рѣшить этотъ вопросъ, мы должны попытаться раскрыть внутренній процессъ въ элементѣ или, по крайней мѣрѣ, изслѣдовать, происходятъ-ли измѣненія съ погруженными въ жидкость частями металловъ, и какія именно.

Плоскій стеклянный сосудъ (*G* рис. 12), состоящій изъ куска резиновой трубки (*g*) и двухъ пластинокъ зеркальнаго стекла, которыя скрѣплены двумя резиновыми кольцами (*r*), можетъ быть наполняемъ помощью пипетки разведенной сѣрной кислотою. Я беру двѣ спаянныхъ между собою проволоки изъ мѣди и цинка, отчищаю ихъ наждачной бумагою и, согнувъ ихъ посрединѣ такъ, чтобы обѣ части ихъ были параллельны, втыкаю ихъ въ пробку, которую кладу на края на-

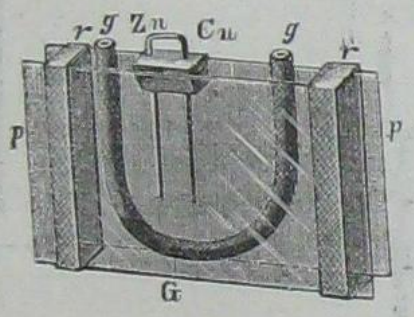


Рис. 12.
Маленькій элементъ для проекціи на экранѣ (1/3).

званнаго сосуда (*Cu*, *Zn*, рис. 12). Все приспособленіе я помѣщаю, вмѣсто электрометра, на проекціонномъ столикѣ (*G* рис. 13). Лишь только я вливаю разведенную кислоту въ плоскій сосудъ *G*, вы видите на экранѣ сильное движеніе въ жидкости и замѣчаете на мѣдной проволокѣ образованіе газовыхъ пузырьковъ, которые скоро покрываютъ всю проволоку и потомъ опускаются внизъ (конечно, опусканіе лишь кажущееся, потому что изображеніе на экранѣ обращенное: на самомъ дѣлѣ пузырьки подымаются, въ чемъ вы можете убѣдиться, подходя ближе). Спустя нѣкоторое время, я вынимаю проволоки и ополаскиваю ихъ водою; мѣдная проволока осталась неизмѣнившеюся, а цинковая оказы-

вается разъѣденной и мѣстами почернѣвшею. (Почернѣніе есть слѣдствіе металлическихъ примѣсей въ продажномъ цинкѣ). Я амальгамирую цинкъ, т. е. покрываю его ртутью; для этого, погрузивъ его сперва въ кислоту, я смачиваю его каплей ртути, которую растираю, такъ что поверхность цинка (той его части, которая должна погружаться) является теперь какъ бы посеребренною. Затѣмъ я повторяю опытъ. Результатъ тотъ же; но цинкъ теперь остается блестящимъ. Однако при болѣе продолжительномъ дѣйствіи мы все-таки замѣтили бы, что цинковый брусочекъ дѣлается замѣтно тоньше, — что онъ расходуется. Что же здѣсь происходитъ?

Химическія изслѣдованія показали, что пузыри, собираю-

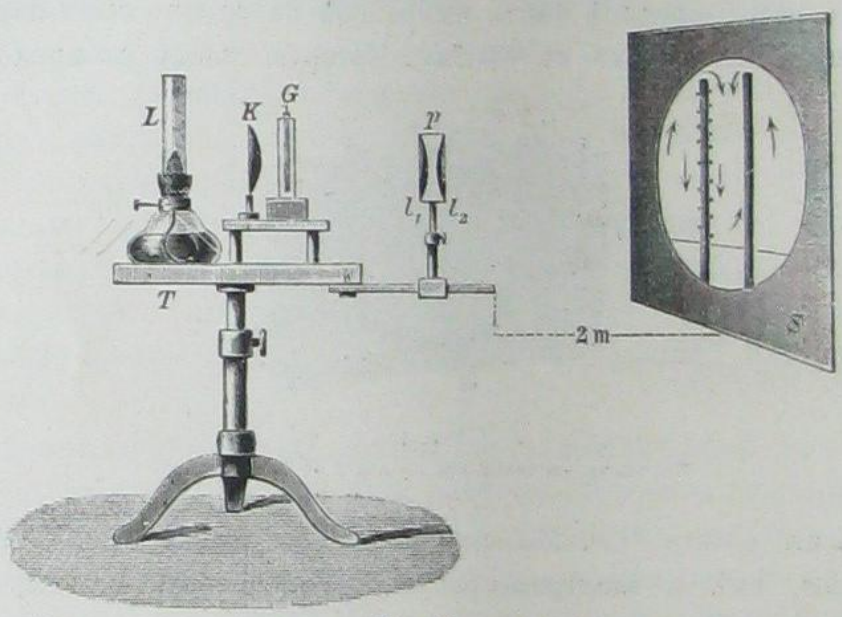


Рис. 13.
Проектированіе Вольтова элемента на экранѣ (1/13; экранъ 1/20).
[Обѣ заслонки (при L и p) опущены].

щіеся на мѣдной пластинкѣ и облѣпляющіе ее мало по малу почти всю, состоятъ изъ водорода, въ жидкости же появляется растворенный цинковый купоросъ (сѣрноцинковая соль, $ZnSO_4$). Слой водорода мало по малу отдѣляетъ мѣдную пластинку отъ жидкости. Вслѣдствіе этого появляется, какъ увидимъ ниже (въ чтеніи V), противоположная электродвижущая сила, ослабляющая дѣйствіе элемента.

Откуда же берется электрическій токъ, доставляемый элементомъ?

Въ нашемъ случаѣ цинкъ расходовался, а именно превращался дѣйствіемъ кислоты въ цинковый купоросъ. Точно также опыты надъ различными комбинаціями другихъ паръ металловъ съ разными жидкостями показали, что электрическій токъ возникаетъ только въ томъ случаѣ, если между однимъ изъ металловъ и жидкостью происходитъ химическое взаимодѣйствіе, и тотъ металлъ всегда заряжается—Е на своемъ выставляющемся концѣ, который сильнѣе подвергается дѣйствію кислоты. Такъ какъ, кромѣ того, оказалось, что произведенное количество электричества тѣмъ больше, чѣмъ больше израсходовано металла, подвергающагося химическому дѣйствію жидкости (каковымъ большею частью служитъ цинкъ), то мы можемъ принять, что причина возбужденія электричества заключается въ химическомъ взаимодѣйствіи жидкости и металла; именно, химическая энергія, расходуемая при раствореніи цинка въ кислотѣ, есть причина электродвижущей силы или, правильнѣе, источникъ электрической энергіи. Этотъ взглядъ, который и мы принимаемъ, носитъ названіе химической теоріи электрическаго тока (Деларивъ и Фарадэй, 1836).

Историческія свѣдѣнія: Гальвани.

Въ 1789 году Гальвани, профессоръ въ Болоньи, случайно подтвердилъ наблюденіе, сдѣланное уже раньше (1756) Кольдани (или открылъ фактъ снова?), что свѣже-обезглавленная лягушка вздрагиваетъ, если по близости разряжается электрическая машина. Занявшись этимъ явленіемъ, Гальвани подвѣшивалъ препарированныя бедра лягушки на мѣдной проволокѣ къ желѣзной рѣшеткѣ своего балкона. Когда колеблемыя вѣтромъ лягушечьи бедра прикасались къ желѣзному пруту рѣшетки, они судорожно сокращались. Отсюда Гальвани заключилъ о существованіи особаго животнаго электричества, нѣкоторой «жидкости», текущей отъ нервовъ въ мышцы. Но это заключеніе оказалось ошибочнымъ.

Контактная теорія Вольты.

Послѣ изложеннаго выше, вы легко можете понять сами, что здѣсь главную роль играло сообщеніе двухъ разнород-

ныхъ металловъ при посредствѣ влажной мышечной массы лягушки. Указаніе на это составляетъ заслугу Вольты, профессора въ Павіи (1793), изобрѣтателя конденсатора. Онъ нашелъ, что достаточно простого прикосновенія двухъ различныхъ металловъ, чтобы они зарядились противоположными электричествами. Такимъ образомъ, истинной причиною электродвижущей силы является прикосновеніе («контактъ») двухъ разныхъ металловъ; жидкость же въ элементѣ играетъ второстепенную роль. Эта «теорія прикосновенія» (контактная теорія), послѣ жестокаго спора, при которомъ множество лягушекъ должны были лишиться жизни, одержала побѣду надъ теоріей Гальвани и имѣетъ еще и нынѣ (хотя и въ измѣненномъ видѣ) многихъ сторонниковъ. Однако новѣйшія наблюденія (Экснера, Оствальда и др.) показали, что при кажущемся прямомъ соприкосновеніи двухъ разнородныхъ металлическихъ пластинокъ («основной опытъ» Вольты; см. приб. 2) существенное значеніе имѣетъ микроскопическій слой влажности или слой сгущенныхъ газовъ, и что природа окружающихъ пластинки (до соприкосновенія) газовъ оказываетъ вліяніе не только на величину заряда пластинки, но и на его знакъ. Поэтому мы будемъ придерживаться химической теоріи, не распространяясь болѣе о теоріи прикосновенія. Сдѣлать это тѣмъ легче, что химическая теорія проще, и что выборъ теоріи не имѣетъ значенія для пониманія послѣдующаго.

Получаемое съ помощью элементовъ динамическое электричество было въ честь Гальвани названо «*гальваническимъ электричествомъ*» или «*гальванизмомъ*» (хотя правильнѣе было бы назвать его вольтаическимъ электричествомъ, какъ и дѣлаютъ нѣкоторые ученые). Прежде появленія химической теоріи его называли также «электричествомъ чрезъ прикосновеніе» (контактнымъ электричествомъ). Это выраженіе часто встрѣчается еще и нынѣ.

* * *

Вернемся снова къ нашимъ опытамъ.

Мы наблюдали вредное дѣйствіе водорода, отлагающагося на мѣди. Нельзя ли помѣшать образованію этого газа или, по

крайней мѣрѣ, его накопленію? Можно, — и необходимыя для того средства намъ даетъ химія. Возьмемъ мѣдный купоросъ (сѣрномѣдную соль, $CuSO_4$), соль, легко растворяющуюся въ водѣ. Если мы погрузимъ мѣдь въ растворъ мѣднаго купороса и отдѣлимъ послѣдній какою либо пористою перегородной отъ разведенной сѣрной кислоты, въ которой находится цинкъ, то водородныхъ пузырей болѣе не образуется; вмѣсто того изъ мѣднаго купороса выдѣляется мѣдь, осаждающаяся на мѣдной пластинкѣ. (Къ этому мы еще вернемся). На рис. 14 (*A*) изображенъ такой элементъ по Даніелю (1836), гдѣ

Элементъ Даніеля.

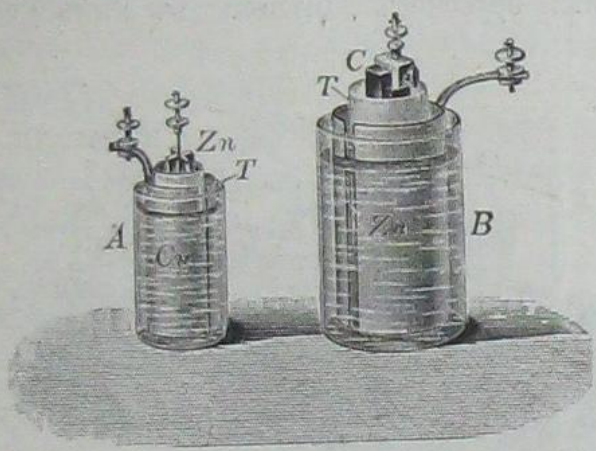


Рис. 14.

A — Даніелевъ элементъ: цинкъ (Zn) въ 10% растворѣ сѣрной кислоты (или въ растворѣ цинковаго купороса); мѣдь (Cu) въ насыщенномъ растворѣ мѣднаго купороса. (1/10).
B — Бунзеновъ элементъ съ хромовой кислотою (1/10). Уголь (C) въ растворѣ двухромо-натріевой соли и сѣрной кислоты; цинкъ (Zn) въ разведенной сѣрной кислотѣ.

обѣ жидкости отдѣлены пористымъ глинянымъ стаканомъ *T*. Этотъ элементъ очень постояненъ, въ особенности если цинкъ амальгамированъ (см. выше) и помѣщенъ въ водный растворъ цинковаго купороса (вмѣсто разведенной сѣрной кислоты).

Элементъ съ хромовой кислотой.

Сильнѣе этого элемента Бунзеновъ элементъ съ хромовой кислотою (*B* рис. 14). По наружному виду онъ похожъ на предыдущій; но, вмѣсто мѣди, въ немъ взятъ брусокъ изъ плотнаго ретортнаго угля (кокса), который погруженъ въ жидкость, приготовленную смѣшеніемъ раствора двухромонатріевой соли и сѣрной кислоты; цинкъ же находится въ разведенной сѣрной кислотѣ. (Большею частью къ цинковому цилиндру (*Zn*) придѣлывается мѣдная полоска, на концѣ

которой находится зажимный винтъ для присоединенія проволоки). Такъ какъ хромовый растворъ содержитъ и сѣрную кислоту (см. приб. 3), то достаточно погрузить обѣ пластинки (*Zn* и *C*) прямо въ такой растворъ, чтобы въ теченіе нѣкотораго времени токъ поддерживался болѣе или менѣе постояннымъ. Такимъ образомъ можно изготовить очень удобные подъемные элементы, которыми мы часто будемъ пользоваться.

Вотъ маленькая подъемная батарея (рис. 15), отдѣльные элементы которой сходны съ описанными выше (рис. 10); только мѣдный брусочекъ замѣненъ въ нихъ угольнымъ *).

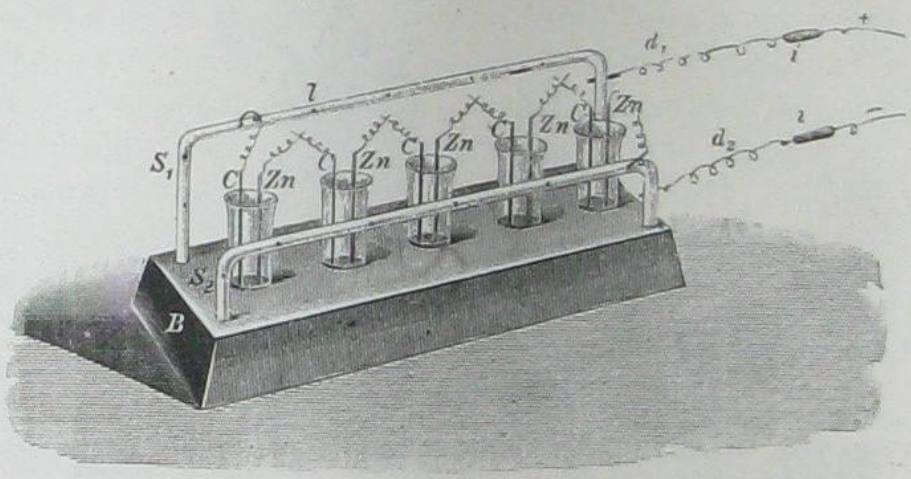


Рис. 15.
Простая маленькая подъемная батарея (1/2).

Въ доскѣ B сдѣланы отверстія, въ которыя вставляются толстостѣнные пробирные цилиндры. Въ изогнутыхъ латунныхъ пруткахъ (S_1, S_2), къ которымъ присоединены двѣ проводныхъ проволоки (d_1, d_2), имѣется по 6 отверстій для присоединенія полюсныхъ и проводныхъ проволокъ.

Изолировка деревомъ при гальваническихъ токахъ.

Какъ видите, мѣдныя стойки отдѣлены здѣсь только слоемъ дерева, и этого слоя совершенно достаточно при гальва-

*) Угольные бруски съ верхняго конца миллиметровъ на 8 покрываются слоемъ мѣди (гальваническимъ путемъ); къ такому слою, послѣ совершеннаго высыханія, проволоки легко припаиваются. Для паянія лучше употреблять здѣсь, какъ и для проволокъ, чистое олово (т. е. безъ примѣси свинца), хотя паяніе оловомъ и немного труднѣе. Тогда (ополоснутое) мѣсто спайки не чернѣетъ.

ническомъ токѣ для изолировки ихъ другъ отъ друга. Въ случаѣ источниковъ электричества съ очень высокою степенью электризаціи, какъ напр. электрофорной машины и индукціонныхъ токовъ, съ которыми мы познакомимся ниже, изолирующая способность дерева была бы для данной цѣли очень недостаточна, такъ какъ «напоръ» электрическаго теченія тѣмъ сильнѣе, чѣмъ выше степень электризаціи.

Какъ и въ нашемъ Вольтовомъ элементѣ, проволока отъ цинка обмотана зеленымъ шелкомъ, а другая краснымъ. Точно также проводныя проволоки (d_1, d_2, рис. 15) съ ихъ сургучными изоляторами (i, i) различаются краснымъ и зеленымъ цвѣтомъ. Поэтому вы можете съ мѣста видѣть, какъ именно я соединяю элементы.

Сперва измѣримъ на алюминіевомъ электрометрѣ электрическую разность полюсовъ, или электродвижущую силу отдѣльныхъ элементовъ (рис. 15); мы находимъ 1,95; 1,93; 1,95; 1,96; 1,94, т. е. эти свѣже-собранные элементики, состоящіе изъ совершенно одинаковыхъ матерьяловъ, имѣютъ всѣ одинаковую электродвижущую силу (если не считать неизбѣжныхъ погрѣшностей опредѣленія).

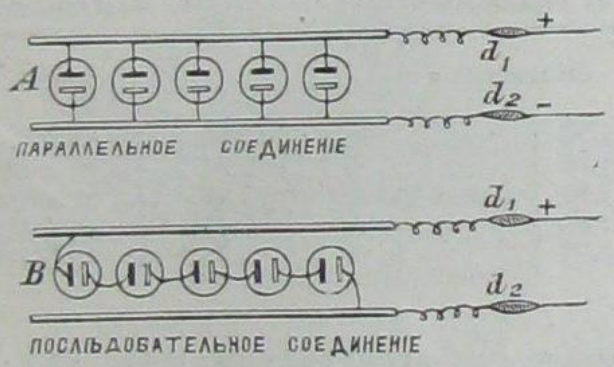


Рис. 16.
Различное соединеніе элементовъ въ батареѣ.

Является вопросъ: измѣнится ли электродвижущая сила, если мы соединимъ элементы по два, по три и т. д.?

Самое соединеніе можно сдѣлать двояко: или сообщить между собою, съ одной стороны, всѣ угольныя палочки, съ другой—всѣ цинковыя (A рис. 16), или же соединить цинкъ пер- **Параллельное и послѣдовательное соединенія.**

ваго элемента съ углемъ второго, цинкъ второго съ углемъ третьяго и т. д. (*B* рис. 16). Первое соединеніе называется параллельнымъ, потому что соотвѣтствуетъ (въ нашей гидродинамической аналогіи) ряду параллельныхъ каналовъ, изливающихся въ общій потокъ. Второе соединеніе, при которомъ электрическій токъ (идущій въ проводной проволокѣ отъ угля къ цинку) долженъ пройти послѣдовательно чрезъ всѣ элементы (въ самихъ элементахъ, слѣдовательно, проходить отъ цинка чрезъ жидкость къ углю), называется послѣдовательнымъ. Такъ или иначе соединенные между собою элементы образуютъ гальваническую батарею или цѣпь.

Сообщимъ наши элементы сперва параллельно, а потомъ послѣдовательно, и посмотримъ, какое будетъ дѣйствіе батареи на электрометръ. При этомъ, для наглядности, напишемъ результаты въ видѣ таблицы. Отклоненіе листочка электрометра вы ясно видите на экранѣ (см. ч. I, рис. 15). Для краткости обозначимъ электродвижущую силу буквой *E*.

Электрическая разность полюсовъ, показываемая электрометромъ:

Число элементовъ.	СОЕДИНЕНІЕ: a) параллельное.		b) послѣдовательное.
	Отклоненіе:		Отклоненіе:
1	1,95	Одно и тоже.	1,95 ; $E_1 = 1$ (положимъ).
2	1,95		3,94 ; $E_2 = 2$ (точно).
3	1,94		5,85 ; $E_3 = 3$ (точно).
4	1,95		7,75 ; $E_4 = 4$ (приблизит.).
5	1,94		9,75 ; $E_5 = 5$ (точно).

Отсюда видно, что электродвижущая сила при параллельномъ соединеніи не измѣняется, а при послѣдовательномъ возрастаетъ вмѣстѣ съ числомъ элементовъ, притомъ пропорціонально числу ихъ.

Мы брали здѣсь совершенно одинаковые элементы. Быть можетъ, получится иное, если соединять элементы разнородные?

На рис. 17 представленъ простой даніелевскій элементикъ. Стеклянная *U*-образная трубка установлена на деревяшкѣ и въ

мѣстѣ изгиба содержитъ слой стеклянной ваты (*G W*) или азбеста, такъ что жидкости могутъ проникать сквозь него, но не смѣшиваются при спокойномъ стояніи. Въ одну вѣтвь трубки я наливаю растворъ мѣднаго купороса, въ другую растворъ цинковаго купороса и вставляю съ помощью пробокъ мѣдную и цинковую палочки. Полюсныя проволоки снабжены изолирующими ручками. Точно такой же сосудъ служитъ намъ для элемента съ хромовой кислотою по Бунзену (см. выше).

На электрометрѣ мы получаемъ, какъ мѣру электродвижущей силы, слѣдующія показанія:

Эл. Даніеля = 1,10; хромовый эл. = 1,95; при парал-

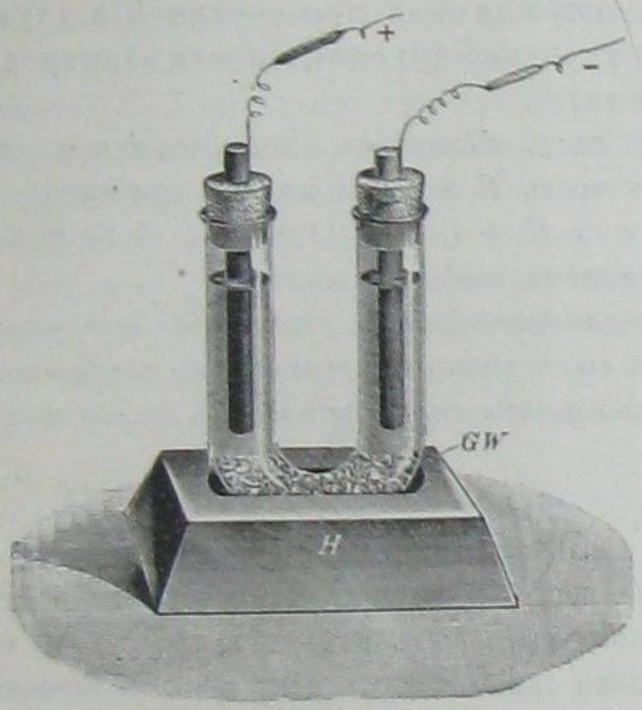


Рис. 17.
Малый постоянный элементъ (3/4).

лельномъ соединеніи обоихъ мы получаемъ 1,8; при послѣдовательномъ 3,04 (=1,1+1,95).

При параллельномъ соединеніи разнородныхъ элементовъ электродвижущая сила достигаетъ почти той величины, какъ у болѣе сильнаго элемента; при послѣдовательномъ же она равна суммѣ электродвижущихъ силъ отдѣльныхъ элементовъ.

Что произойдетъ, если соединить оба элемента другъ противъ

друга, т. е. такъ, чтобы одинъ элементъ противодѣйствовалъ другому? (Для этого опыта нужны очень постоянные элементы, почему я здѣсь и не могу пользоваться описанными выше подъемными элементами). Я соединяю цинковую палочку даніелевскаго элемента съ цинковой хромоваго элемента (оба той U-образной формы, какая выше описана) и прикасаюсь проволокой отъ угля къ кружку электрометра, а проволокой отъ мѣди къ верхней пластинкѣ (конденсатора). По снятіи верхней конденсаторной пластинки, электрометръ показываетъ лишь 0,84, и притомъ $+ E$, какъ свидѣтельствуетъ наэлектризованная флинтгласовая палка. Но $0{,}84 = 1{,}95 - 1{,}10$, т. е. электродвижущая сила при соединеніи двухъ элементовъ другъ противъ друга=разности электродвижущихъ силъ каждаго.

А такъ какъ, обозначивъ электродвижущія силы обоихъ элементовъ чрезъ E и e, мы можемъ написать:

$E - e = E + (-e) = 1{,}95 + (-1{,}1) = 0{,}85$ (найдено 0,84), то можемъ вообще сказать:

При послѣдовательномъ соединеніи элементовъ электродвижущая сила батареи равняется алгебрической суммѣ электродвижущихъ силъ отдѣльныхъ элементовъ.

* * *

Число различныхъ гальваническихъ элементовъ очень велико. Я не могу представить вамъ образцы всѣхъ или даже самыхъ употребительныхъ изъ нихъ; мы будемъ пользоваться исключительно даніелевскимъ и хромовымъ элементами. Такъ какъ однако форма сосудовъ здѣсь не имѣетъ значенія, то я составилъ, при помощи U-образныхъ трубокъ съ пробкой изъ стеклянной ваты внутри, маленькія модели важнѣйшихъ постоянныхъ элементовъ, чтобы можно было сравнить ихъ электродвижущія силы съ даніелевскою (рис. 17).

1) Элементъ Лекланше: уголь въ смѣси порошковъ перекиси марганца и кокса, цинкъ (амальгамированный) въ растворѣ нашатыря (который пропитываетъ собою и массу въ другой вѣтви трубки).

2) Элементъ Грове: платина въ крѣпкой азотной кислотѣ,

амальгамированный цинкъ въ разведенной сѣрной. (Такъ какъ азотная кислота портитъ обыкновенныя пробки, то здѣсь лучше брать резиновыя).

3) Элементъ Бунзена: плотный уголь вмѣсто платины; остальное, какъ въ элементѣ Грове.

4) Элементъ Латимеръ-Кларка (часто употребляющійся въ качествѣ «нормальнаго»): платина въ растворѣ цинковаго купороса, химически чистый цинкъ (не-амальгамированный) въ густой смѣси изъ сѣрнортутистой соли ($Hg_2 SO_4$) и цинковаго купороса. (Пористая перегородка не нужна).

Чтобы получить сравнимые результаты, дадимъ предварительно всѣмъ элементамъ нѣкоторое время дѣйствовать, соединивъ ихъ полюсы проволоками; токъ будетъ проходить, и мало-по-малу установится въ элементахъ нѣкотораго рода равновѣсіе.

Послѣ этого приступимъ къ измѣренію, соблюдая однако одну предосторожность: мы всегда будемъ соединять проволоку отъ положительнаго полюса съ самымъ электрометромъ (а другую съ конденсаторной пластинкою), такъ какъ при измѣняющемся зарядѣ конденсаторныхъ пластинокъ результаты получаются ненадежные.

Электродвижущая сила нѣсколькихъ «постоянныхъ» элементовъ.

	a) На электрометрѣ	b) Эл. Даніеля = 1.
Эл. Даніеля	1,1	1
» Грове	2,0	1,8 Даніеля
» Бунзена	1,95	1,8 »
» Кларка	1,5	1,36 »
» Лекланше	1,3	1,2 »

Числа эти могутъ служить вамъ для приблизительнаго сужденія объ электродвижущей силѣ. Условія, которыми опредѣляется практическая приложимость элементовъ, суть: болѣе или менѣе сильное дѣйствіе, удобство въ обращеніи и дешевизна. Въ техникѣ чаще всего употребляются видоизмѣненные элементы Даніеля и элементы Лекланше.

* * *

Такимъ образомъ мы сегодня познакомились со свойствами «незамкнутыхъ» элементовъ (т. е. полюсы которыхъ не сообщены проводникомъ) и въ слѣдующій разъ перейдемъ къ разсмотрѣнію замкнутой цѣпи.

Чтеніе III.

Паденіе электрическаго уровня при гальваническомъ токѣ; обратитель тока (коммутаторъ); взаимное притяженіе и отталкиваніе проводниковъ, по которымъ идетъ токъ; Амперовъ станокъ; направляющая сила, дѣйствующая на подвижные токи; взаимодѣйствіе между двумя токами; дѣйствіе магнита на подвижной токъ; соленоидъ; электромагниты; отклоненіе магнитной стрѣлки гальваническимъ токомъ; правило Ампера; правило, дающее направленія тока; Амперова гипотеза магнитизма; опытъ Лоджа; различіе между показаніями гальваноскопа и электрометра; мультипликаторъ.

Въ прошедшей бесѣдѣ мы познакомились съ новымъ источникомъ электричества: мы узнали, что при извѣстныхъ условіяхъ металлы при соприкосновеніи съ жидкостями могутъ наэлектризовываться, и что электрическій зарядъ поддерживается въ нихъ. Но доставляемыя при этомъ степени электризаціи такъ незначительны, что мы должны были прибѣгнуть къ алюминіевому электрометру съ конденсаторомъ, чтобы обнаружить существованіе электрическаго заряда на выставляющихся концахъ (полюсахъ) элемента. Мы видѣли, что,

Взглядъ на пройденное.

1) При соприкосновеніи металла съ подходящей жидкостью, выставляющійся изъ нея конецъ металла заряжается (большею частью) отрицательно (сильнѣе всего цинкъ), а жидкость пріобрѣтаетъ противоположный зарядъ. При одновременномъ погруженіи въ жидкость двухъ различныхъ металловъ одинъ изъ нихъ заряжается $+E$, другой $-E$. Эта электрическая разность полюсовъ при сообщеніи ихъ другъ съ другомъ тотчасъ снова возстановляется и сохраняется все время, пока длится, не ослабѣвая, химическое дѣйствіе между жидкостью и металлами; поэтому мы видимъ въ химическомъ дѣйствіи причину электрическаго возбужденія въ гальваническомъ элементѣ.

2) Электрическая разность уровней на свободныхъ полюсахъ гальваническаго элемента служитъ намъ мѣрою электродвижущей силы. Если степень электризаціи одного свободнаго полюса $+ e$, другого $- e$, то полная электрическая разность $e - (- e) = 2 e$ является на одномъ полюсѣ, если другой отведенъ къ землѣ, т. е. имѣетъ нулевой электрическій уровень.

3) Если нѣсколько постоянныхъ гальваническихъ элементовъ соединить параллельно, то электродвижущая сила батареи будетъ та же, что и отдѣльнаго элемента; напротивъ, при послѣдовательномъ соединеніи она возрастаетъ вмѣстѣ съ числомъ элементовъ. Если взять элементы съ неодинаковой электродвижущей силою, то при послѣдовательномъ соединеніи электродвижущая сила цѣпи будетъ равна алгебрической суммѣ электродвижущихъ силъ всѣхъ элементовъ въ отдѣльности (даже для того случая, когда нѣкоторые элементы введены противъ другихъ).

* * *

Наши опыты ограничивались до сихъ поръ лишь обнаруживаніемъ электрическаго заряда на полюсахъ гальваническаго элемента. Теперь мы — какъ это было сдѣлано выше при электрофорной машинѣ — прослѣдимъ паденіе электрическаго уровня въ замкнутой цѣпи.

Такъ какъ электрическая разность полюсовъ сильно падаетъ, когда между ними устанавливается проводящее сообщеніе и возникаетъ токъ, и такъ какъ, кромѣ того, электрическая разность на полюсахъ гальваническаго элемента вообще очень мала сравнительно съ электрической машиной, то мы должны взять батарею изъ многихъ элементовъ. Мы воспользуемся батарейками изъ даніелевскихъ элементовъ (см. рис. 17). Десяти батарей по 5 элементовъ будетъ достаточно, такъ какъ при послѣдовательномъ соединеніи всѣхъ элементовъ мы будемъ имѣть 50-кратную электродвижущую силу. Такая батарейка изображена на рис. 18. Помощью проволокъ (d_1 d_2), вложенныхъ въ отверстія латунныхъ стоекъ, мы соединяемъ между собою эти пятерныя батареи. (Общая деревянная подставка

H дѣлаетъ батарею устойчивою и переносною, а вмѣстѣ съ тѣмъ позволяетъ, по желанію, пользоваться группами параллельно соединенныхъ элементовъ).

Теперь нуженъ еще подходящій проводникъ. Вы видите здѣсь, надъ столомъ для опытовъ, деревянную раму (*R* рис. 19) подвѣшенную на двухъ шнуркахъ; въ нее вбито сверху 10,

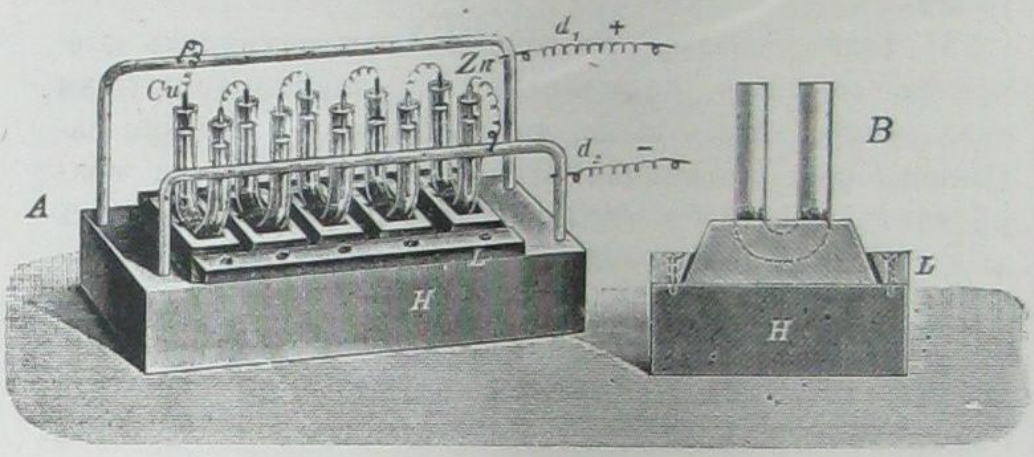


Рис. 18.
Маленькая батарея изъ 5 Даніелевыхъ элементовъ (*A*—1/3, *B*—1/2).

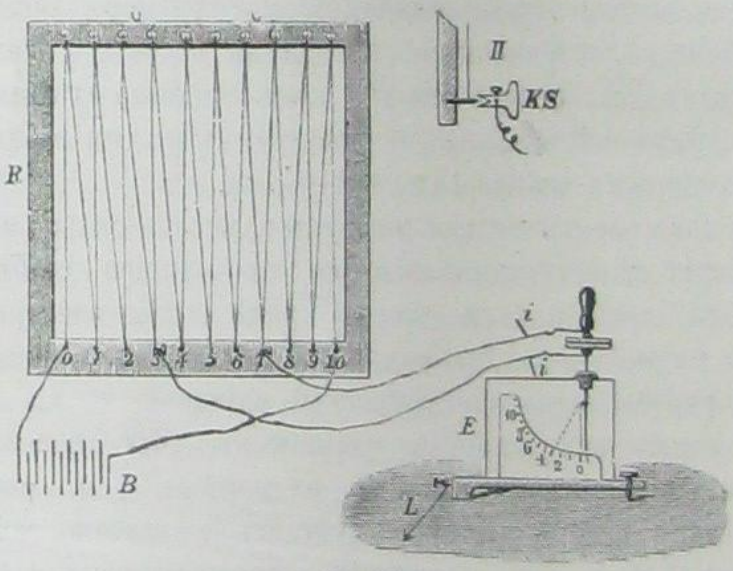


Рис. 19.
Обнаруженіе паденія электрическаго уровня въ проводникѣ (1/15). *R*—проводникъ, *B*—батарея изъ 50 элементовъ, *E*—электрометръ, *П*—контактный ключъ.

а снизу 11 нейзильберныхъ штифтовъ, выставляющіеся концы которыхъ немного заострены, такъ что приходятся въ отвер-

стіе контактнаго ключа (*KS* II). Очень длинную и тонкую нейзильберную проволоку я раздѣлилъ, по возможности, точно на 10 равныхъ частей, намоталъ ее въ мѣстахъ дѣленія на нижніе штифты (0, 1, 2, 3 ... 10), а промежуточныя части, свернувъ ихъ въ спирали, подвѣсилъ за средину на соотвѣтственные верхніе штифты. Такимъ образомъ вся проволока представляетъ собою очень длинный проводникъ. Штифты 0 и 10 я соединяю посредствомъ гибкихъ, толстыхъ проволокъ съ полюсами нашей батареи изъ 50 элементиковъ.

Помощью двухъ тонкихъ изолированныхъ проволокъ, одинъ конецъ которыхъ снабженъ контактнымъ ключомъ, а другой изолирующею рукояткой (*i i*), я могу сообщать пластинки конденсатора на одно мгновеніе съ парою штифтовъ для опредѣленія электрической разности въ соотвѣтствующихъ имъ точкахъ проводника. Между штифтами 0 и 10 (см. рис. 19) мы получаемъ отклоненіе листочка въ 8, 2 дѣленій. Такъ какъ вся проводная проволока между этими точками раздѣлена на 10 равныхъ частей, то мы можемъ ожидать, что въ точкахъ 0 и 1, 1 и 2 и т. д. окажется электрическая разность въ одну десятую долю полной разности (см. выше, стр. 14). Это оправдывается на дѣлѣ: электрометръ даетъ намъ 0,79; 0,80; 0,80; 0,81 и т. д.; слѣдовательно въ однообразномъ проводникѣ электрическая разность уровней въ двухъ равноотстоящихъ точкахъ постоянна. (Опытъ, вслѣдствіе участія въ немъ конденсатора, не безупреченъ; но онъ все же даетъ вамъ предварительное понятіе о томъ, что и здѣсь существуетъ паденіе электрическаго уровня). Довольно затруднительно, при недостаточномъ для данной цѣли числѣ элементовъ, доказать, что свободный электрическій зарядъ постепенно ослабляется отъ одного полюса (0) къ другому (10) но мы однако это попробуемъ. Я соединяю пластинку электрометра (рис. 19) со штифтомъ 0, отводя въ то же время верхнюю пластинку къ землѣ. По снятіи верхней пластинки, электрометръ показываетъ $+E=3,3$; у штифта же 10 мы находимъ $-E=3,5$; между крайними точками заряды отъ 1 до 5 штифтовъ положительны и постепенно ослабѣваютъ, а отъ 6 до 10 отрицательны и усиливаются. Слѣдовательно,

нулевая точка находится въ нейзильберной проволокѣ между 5 и 6.—Вы видите, что въ случаѣ гальваническаго тока мы въ существенныхъ чертахъ имѣемъ тѣ же явленія, какъ и при электрофорной машинѣ.

* * *

Теперь мы сдѣлаемъ шагъ впередъ и спросимъ: какія дѣйствія производитъ электрическій токъ въ окружающемъ его пространствѣ?

Сперва посмотримъ, не происходитъ ли притяженія и отталкиванія между проводниками, по которымъ проходитъ токъ, подобно тому, какъ это наблюдалось съ двумя наэлектризованными тѣлами (напр. электрическими маятниками). Для этого необходимо устроить легко-подвижные проводники,

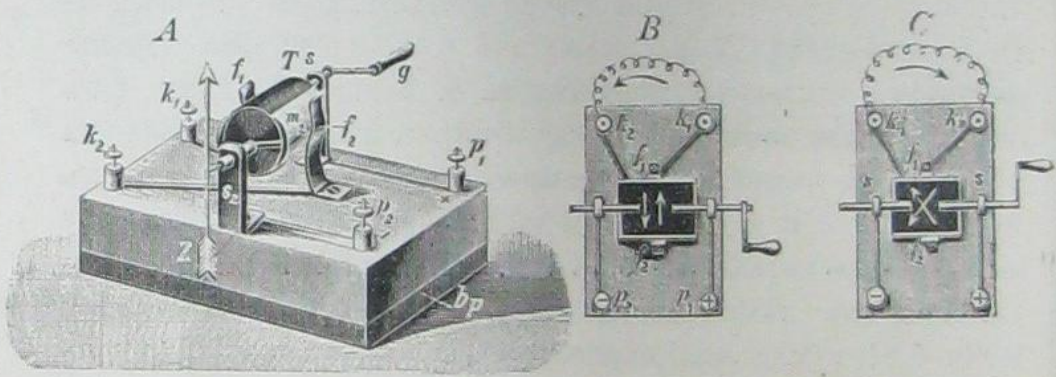


Рис. 20.
Коммутаторъ Румкорфа, съ указателемъ направленія тока (Z) (1/4).

чтобы можно было видѣть, не происходитъ ли между ними при прохожденіи тока какихъ-либо взаимодѣйствій.

Такъ какъ намъ и потомъ часто придется обращать направленіе тока въ опредѣленной части проводящаго пути, то мы воспользуемся вспомогательнымъ приборомъ, который позволяетъ это сдѣлать, не перемѣщая полюсныхъ проволокъ. Такой обратитель тока или коммутаторъ представленъ на рис. 20.

Маленькій эбонитовый цилиндръ (T) можетъ вращаться помощью рукоятки (g) между двумя латунными стойками (S_1 S_2) на оси, состоящей изъ двухъ частей, которыя внутри не доходятъ другъ до друга (слѣдовательно, изолированы одна отъ другой). Стойки сообщены мѣдными полосками съ зажим-

ными винтами p_1 и p_2. Отъ обѣихъ частей оси идутъ мѣдные прутки къ двумъ металлическимъ накладкамъ (m_1 m_2), придѣланнымъ къ поверхности цилиндра такъ, что онѣ находятся прямо другъ противъ друга и при извѣстномъ положеніи коммутотора нажимаютъ на упругія латунныя полоски (f_1 f_2) которыя, въ свою очередь, сообщены съ зажимными винтами k_1 и k_2. Если зажимные винты p_1 p_2 соединить съ проволоками отъ полюсовъ гальваническаго элемента, а между k_1 и k_2 ввести проводникъ, то при одномъ положеніи коммутатора (*B* рис. 20) токъ пойдетъ отъ p_1 чрезъ k_1 къ k_2, а при другомъ положеніи цилиндра (*C* рис. 20) — отъ p_1 чрезъ k_1 къ k_2; слѣдовательно, въ части проводника между зажимными вин-

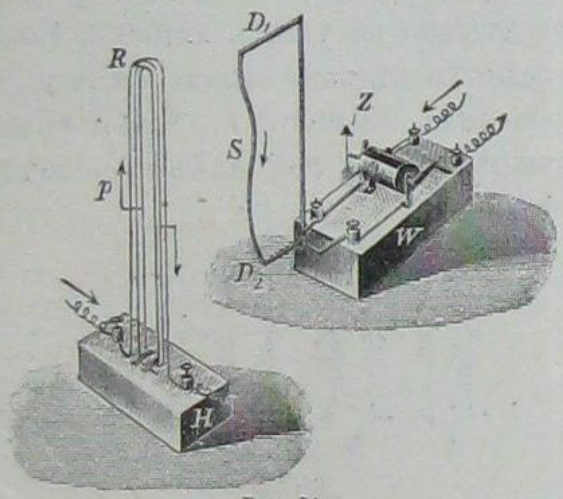


Рис. 21.
Подвижный проводникъ (*S*) по Мюленбейну, измѣненный и упрощенный (1/9).

тами k_1 и k_2 направленіе тока будетъ измѣняться, когда рукоятка (*g*) сдѣлаетъ полоборота. Въ среднемъ положеніи цилиндра металлическія накладки не прикасаются къ латуннымъ пружинамъ (f_1 f_2) — тогда токъ разомкнутъ. Удлиненная съ одной стороны ось цилиндра снабжена осевымъ отверстіемъ, въ которое вставляется штифтъ съ припаянной къ нему нейзильберной стрѣлкою (*Z*). Если вставить этотъ штифтъ, то стрѣлка будетъ вращаться вмѣстѣ съ цилиндромъ, указывая всякій разъ направленіе тока въ части k_1 k_2 (см. *A* рис. 20), и вы увидите это съ вашихъ мѣстъ.

Подвижный проводникъ можно сдѣлать изъ узкой полоски

очень тонкаго листового олова (станніоль), около 28 см. длины и 5 мм. ширины; я прикрѣпляю ее къ концамъ двухъ изогнутыхъ толстыхъ латунныхъ проволокъ (D_1 D_2 рис. 21), присоединенныхъ къ коммутатору; оловянная полоска должна висѣть совершенно свободно *). Если соединить два другіе зажимные винта коммутатора, которые помѣчены знаками + и —, съ соотвѣтствующими полюсами бунзеновскаго элемента съ хромовою кислотою (см. рис. 41), то токъ пойдетъ по оловянной полоскѣ въ направленіи, указываемомъ стрѣлкою (Z). Неподвижнымъ проводникомъ послужитъ толстая изолированная (шелкомъ или провощенной бумажной нитью) мѣдная проволока, согнутая 5—10 оборотами въ рамку (R рис. 21), которую я устанавливаю прямо вверхъ на деревяшкѣ (H), связавъ ее предварительно на углахъ нитками. Концы этой проволоки я присоединяю къ зажимнымъ винтамъ, сообщающимся съ другимъ хромовымъ элементомъ. Чтобы видѣть направленіе тока, я прикрѣпляю къ сторонамъ проволочной рамки двѣ бумажныя стрѣлки.

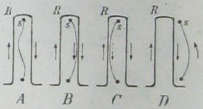


Рис. 22.
Дѣйствіе неподвижнаго тока на подвижный (1/18).

Затѣмъ я надвигаю проволочную рамку R на оловянную полоску, на которую я прошу теперь обратить вниманіе. Я замыкаю токъ посредствомъ коммутатора. Оловянная полоска, висѣвшая до тѣхъ поръ свободно (A рис. 22), изгибается и приближается то къ одной, то къ другой сторонѣ проволочной рамки (B и C рис. 22), когда я измѣняю направленіе тока. Впечатлѣніе такое, какъ будто оловянная полоска притягивалась то правою, то лѣвою половиною рамки. Одинъ

*) Концы латунныхъ проволокъ D_1 и D_2 пропилены ножовкою на глубину около 1 см., въ разрѣзъ вложены концы оловянной полоски, сложенные вдвое или втрое, а затѣмъ выдающіяся части проволокъ стянуты гибкой мѣдной проволокою.

взглядъ на стрѣлку, дающую намъ направленіе тока, показываетъ, что подвижный проводникъ притягивается къ той сторонѣ рамки, въ которой токъ имѣетъ то же самое направленіе.

Я видоизмѣняю опытъ, ставя проволочную рамку около оловянной полоски (*D* рис. 22) и потомъ замыкая токъ: те-

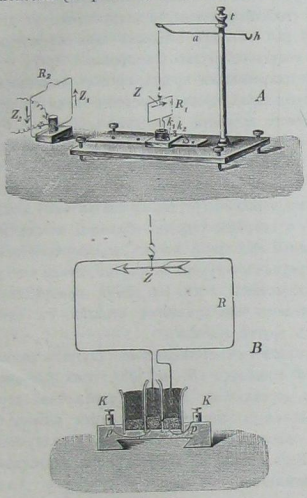


Рис. 23.
Измѣненный и упрощенный Амперовъ станокъ ($^1/_{10}$). *B*—контактная чашка съ ртутью ($^1/_2$).

перь тоже замѣчается притяженіе при одинаковомъ направленіи тока и отталкиваніе при противоположныхъ направленіяхъ. Итакъ, мы получаемъ правило:

Токи одинаковаго направленія притягиваются, противоположнаго—отталкиваются.

Если наше наблюденіе вѣрно, то мы должны ожидать, что

подвижный проводникъ будетъ стремиться стать параллельно другому, находящемуся вблизи него, при пропусканіи чрезъ проводники гальваническаго тока. Испытаемъ это на дѣлѣ.

Проволочная рамка (R рис. 23) съ несомкнутыми концами подвѣшена на тонкомъ волосѣ (или некрученой шелковинкѣ) такъ, что свободные концы ея погружаются въ двѣ чашки со ртутью (B рис. 23), изъ которыхъ одна окружаетъ собою другую. Оба сосуда со ртутью изолированы другъ отъ друга, но соединены платиновыми проволоками съ зажимными винтами, которые я сообщаю, чрезъ посредство коммутатора, съ полюсами хромоваго элемента. Вращеніемъ барабана t можно укорачивать и удлинять поддерживающую нить, которая на него намотана въ нѣсколько оборотовъ. Поворачиваніе вѣтви a допускаетъ боковое перемѣщеніе нити и рамки, а дощечку съ контактными чашками (ртутными контактами) можно передвигать взадъ и впередъ; такимъ образомъ всегда можно установить прямой свободный конецъ проволочной рамки отвѣсно надъ внутреннимъ сосудомъ со ртутью, послѣ чего рамку опускаютъ и замыкаютъ токъ. Къ рамкѣ прикрѣпляется служащая указателемъ тока бумажная стрѣлка, съ одной стороны красная, съ другой зеленая.

Неподвижнымъ проводникомъ служитъ рамка изъ толстой мѣдной проволоки (R_2 рис. 23), прикрѣпленная къ вращающемуся деревянному пеньку и снабженная двумя бумажными стрѣлками-указателями. Эта рамка можетъ быть болѣе или менѣе приближена къ подвижной—по направляющей дощечкѣ S. Весь аппаратъ, который здѣсь видоизмѣненъ и упрощенъ, называется, по имени изобрѣтателя, Амперовымъ станкомъ.

Я соединяю также зажимные винты неподвижной рамки (R_2) съ полюсами хромоваго элемента (другого), устанавливаю надлежащимъ образомъ стрѣлки и придвигаю эту рамку къ подвижной рамкѣ R_1 одной вертикальной стороною впередъ (A рис. 24). Какъ видите, подвижной проводникъ поворачивается и устанавливается такъ, что въ обращенныхъ другъ къ другу частяхъ токъ идетъ по одному и тому же направ-

ленію. Я повертываю неподвижную рамку на 180°: подвижный проводникъ тотчасъ же поворачивается и устанавливается опять соотвѣтственно тому же правилу. Теперь прервемъ токъ коммутаторомъ, приблизимъ неподвижную рамку къ подвижной на столько, чтобы средины ихъ совпали, и замкнемъ токъ: подвижной проводникъ тотчасъ дѣлаетъ взмахъ, качается нѣкоторое время въ обѣ стороны и становится въ такое положеніе, при которомъ токи въ обращеннымъ другъ къ другу частямъ обѣихъ рамокъ параллельны и одинаково направлены (Амперъ).

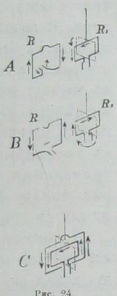


Рис. 24.
Направляющее дѣйствіе неподвижнаго тока на подвижный (1/10).

Я сообщаю оба хромовые элемента (соединенные параллельно) съ коммутаторомъ, т. е. съ подвѣшенной рамою, и пропускаю токъ соотвѣственно направленію стрѣлки: рамка медленно поворачивается и устанавливается такъ, что стрѣлка указываетъ на востокъ. Это не случайное явленіе: если я поверну стрѣлку на 180° и дамъ току обратное направленіе (которое, слѣдовательно, опять указывается стрѣлкою), то результатъ получится тотъ же. Итакъ, въ обоихъ случаяхъ токъ идетъ **в**верху къ **в**остоку, или, если смотрѣть съ сѣвера,

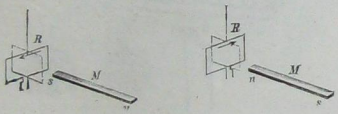


Рис. 25.
Дѣйствіе магнита на подвижный токъ (1/10).

—по направленію, обратному стрѣлкѣ часовъ. Отчего это? Проволочная рамка, по которой пропускается сравнительно сильный токъ, подвержена дѣйствію какой-то направляющей силы, подобно магнитной стрѣлкѣ, съ тою лишь разницею, что рамка устанавливается своею плоскостью по направленію

отъ запада къ востоку. Направляющая сила можетъ исходить— такъ какъ нѣтъ другихъ причинъ — только изъ дѣйствія земного магнитизма. Если это такъ, то приближеніе магнита къ подвижной рамкѣ (по которой проходитъ токъ) тоже должно дѣйствовать на нее направляющимъ образомъ. Испытать это просто. Я приближаю южный конецъ магнита къ одной изъ сторонъ рамки (*A* рис. 25). Вы видите, что рамка тотчасъ же дѣлаетъ четверть оборота и становится къ магниту той плоскостью, которая прежде была обращена на сѣверъ. Обратное произойдетъ, если я поднесу сѣверный полюсъ магнита (*B* рис. 25). Это замѣчательное явленіе съ несомнѣнностью свидѣтельствуетъ, что между электрическими токами и магнитами существуетъ нѣкоторая связь. Нашей задачею будетъ теперь ближе познакомиться съ нею.

Дѣйствіе магнита на подвижный токъ.

Соленоидъ.

Я замѣняю подвижную рамку нашего прибора спиралью изъ жесткой мѣдной проволоки (рис. 26), которая свита такъ, что концы ея, не касаясь оборотовъ, близко между собою сходятся; здѣсь они вставлены въ кусокъ пробки и изогнуты

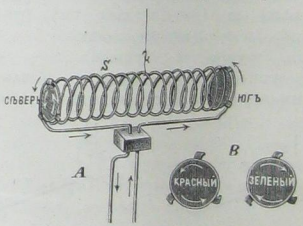


Рис. 26.
Соленоидъ съ обозначеніемъ направленія тока (1/2).

такъ, чтобы ихъ можно было погрузить въ чашки съ ртутными контактами. Чтобы видно было направленіе тока, я прикрѣпляю къ концамъ такого «соленоида» (названіе прибора) по цвѣтному бумажному кружку. На красномъ кружкѣ стрѣлки направлены противъ стрѣлки часовъ, на зеленомъ по на-

правленію стрѣлки часовъ. Я замыкаю токъ такъ, чтобы онъ шелъ по направленію, указываемому этими стрѣлками: соленоидъ тотчасъ же поворачивается и устанавливается съ сѣвера на югъ; токъ опять идетъ *вверху къ востоку*.

Я перемѣщаю бумажные кружки съ одного конца на другой и перемѣняю направленіе тока: красный конецъ опять покажетъ на сѣверъ, и токъ проходитъ, какъ легко видѣть, опять соотвѣтственно направленію стрѣлокъ. Я беру магнитъ и приближаю его къ соленоиду сѣвернымъ полюсомъ: соленоидъ, послѣ нѣсколькихъ сильныхъ качаній, поворачивается къ магнитному полюсу зеленымъ концомъ, гдѣ токъ идетъ по направленію стрѣлки часовъ. Обратное будетъ при приближеніи южнаго полюса магнита. Для повѣрки, я быстро приближаю сѣверный полюсъ магнита къ красному концу соленоида: онъ отталкивается, равно какъ зеленый конецъ отъ южнаго полюса. Отсюда слѣдующій выводъ:

Между магнитомъ и соленоидомъ, по которому проходитъ токъ, наблюдаются точно такія же явленія полярнаго притяженія и отталкиванія, какъ и между магнитами,

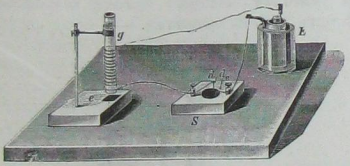


Рис. 27.
Магнитное дѣйствіе спиральнаго тока (1/8). *S*—ртутный замыкатель.

а именно: тотъ конецъ соленоида, въ которомъ токъ идетъ по направленію стрѣлки часовъ, играетъ роль южнаго полюса, другой конецъ его, въ которомъ направленіе тока противоположно стрѣлкѣ часовъ, является сѣвернымъ полюсомъ (Амперъ).

Что соленоидъ при прохожденіи по немъ тока дѣлается настоящимъ магнитомъ—въ этомъ можно убѣдиться слѣду-

ющимъ образомъ. Я беру стеклянную трубку (g, рис. 27), обмотанную приблизительно 20 оборотами изолированной мѣдной проволоки (около 1 мм. толщины), концы которой я соединяю съ полюсами хромоваго элемента, включивъ еще въ цѣпь «замыкатель тока» (контактный ключъ), чтобы удобно было, по желанію, замыкать и размыкать токъ. Этотъ замыкатель (S) состоитъ изъ деревяшки съ углубленіемъ въ видѣ чашечки, которое наполнено ртутью. Двѣ стальныя проволоки (d_1 d_2) укрѣплены такъ, что одна постоянно погружена въ ртуть, а другая, загнутая крючкомъ, оканчивается надъ самой поверхностью ртути и можетъ быть опущена въ нее надавливаніемъ пальца, причемъ токъ замыкается.

Я помѣщаю проволочную спираль g надъ кусочкомъ жести (e) и замыкаю токъ: желѣзо притягивается, но тотчасъ же отпадаетъ при размыканіи тока. Я приближаю спираль къ магнитной стрѣлкѣ: концы послѣдней притягиваются и отталкиваются совершенно такъ, какъ если-бы я приближалъ магнитъ, но только въ то время, какъ по спирали проходитъ токъ. Слѣдовательно, проволочная спираль, по которой проходитъ гальваническій токъ, въ самомъ дѣлѣ обладаетъ свойствами магнита, которыя однако исчезаютъ, какъ только токъ будетъ прерванъ.

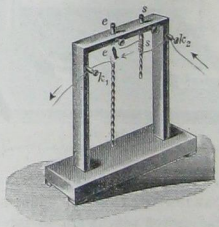


Рис. 28.
Намагничиваніе мягкаго желѣза (e) и стали (s) гальваническимъ токомъ (1/5).

Естественно спросить: нельзя-ли съ помощью электрическаго тока прямо изготовлять стальные магниты?

Мы уже знаемъ (стр. 3), что желѣзо и сталь неодинаково относятся къ намагничиванію. Поэтому сдѣлаемъ опытъ одновременно съ желѣзомъ и сталью. Въ отверстія съ верхней стороны деревянной рамки (рис. 28) я вставляю два одинаковой величины стерженька изъ мягкаго желѣза (e) и стали (s), закрѣпивъ ихъ винтами. Оба стержня я обматываю 15 оборотами изолированной мѣдной проволоки и присоединяю концы ея къ зажимнымъ винтамъ (k_1 k_2), которые сообщаются — при посредствѣ замыкателя (см. S рис. 27) — съ полюсами хромоваго элемента. При замыканіи тока оба стержня намагничиваются; но при этомъ желѣзный (e, рис. 28) удерживаетъ цѣлый рядъ кусочковъ желѣза, тогда какъ стальной сперва не удерживаетъ и двухъ. Спустя нѣкоторое время, мнѣ удается прибавить еще одинъ или два, но подъемная сила стального стержня всегда остается значительно меньше, чѣмъ стержня изъ мягкаго желѣза. Я прерываю токъ: отъ желѣзнаго стержня отпадаютъ всѣ кусочки, кромѣ верхняго, а отъ стального — ни одного.

Различіе въ намагничиваніи желѣза и стали.

Оторвемъ желѣзные кусочки отъ обоихъ стержней и потомъ снова приложимъ ихъ: стальной стержень сохранилъ магнитную силу, а желѣзный повидимому совершенно лишился ея. Повторимъ опытъ, предварительно наклеивъ на полюсныя плоскости стержней по кусочку тонкой бумаги. Оба стержня при пропусканіи тока проявляютъ теперь нѣсколько меньшую подъемную силу; при размыканіи тока, отъ желѣзнаго стержня отпадаютъ всѣ кусочки, а у стального всѣ остаются висѣть. Итакъ, мягкое желѣзо сильно намагничивается обходящимъ вокругъ него токомъ, но лишь пока длится токъ; напротивъ, сталь сохраняетъ (по крайней мѣрѣ въ значительной степени) пріобрѣтенный ею магнитизмъ.

Магниты, состоящіе изъ мягкаго желѣзнаго стержня («сердечника»), обвитаго изолированной проволокою, по которой пропускается токъ, называются электромагнитами. Ихъ подъемная сила увеличивается сперва вмѣстѣ съ возрастаніемъ силы тока и превосходитъ подъемную силу всякихъ другихъ магнитовъ. Дѣйствіе, какъ и при стальныхъ магнитахъ, усиливается, если оба полюса прикасаются къ приклады-

ваемой желѣзной пластинкѣ, такъ называемому якорю. Рис. 29 изображетъ такіе подковообразные электромагниты въ двухъ типическихъ формахъ. У одного изъ нихъ (*B*) полюсныя плоскости широки и очень близки другъ къ другу; такъ какъ, кромѣ того, электромагнитъ изготовленъ изъ очень мягкаго желѣза, то, хотя онъ и обмотанъ всего 10 оборотами толстой мѣдной проволоки, онъ обладаетъ весьма большой подъемной силой. Экземпляръ, который передъ нами, вѣситъ всего 890 граммовъ (2 фунта слишкомъ). Испытаемъ его подъемную силу. Я пропускаю по обмоткѣ токъ отъ большого элемента съ хромовой кислотою, и якорь удерживается съ такой силою, что его оторвать одному едва удается. Я прибавляю еще второй элементъ (па-

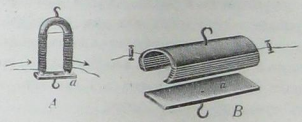


Рис. 29.
A—подковообразный электромагнитъ. *B*—электромагнитъ Джоуля ($^1/_{10}$).

раллельно): теперь хватитъ работы и двоимъ. Опытъ, сдѣланный предварительно съ этимъ небольшимъ электромагнитомъ, показалъ, что онъ можетъ въ данномъ случаѣ удерживать больше 120 кгр. (около 8 пудовъ), т. е. грузъ, болѣе чѣмъ въ 100 разъ превышающій его собственный вѣсъ. Вы видите, какія огромныя динамическія дѣйствія можетъ производить нашъ незамѣтный источникъ электричества, и легко поймете, что электромагниты должны играть важную роль въ техникѣ. Но объ этомъ послѣ. Здѣсь я упомяну еще лишь о томъ, что съ помощью большихъ электромагнитовъ удалось, между прочимъ, обнаружить магнитныя свойства въ такихъ тѣлахъ, которыя обыкновенно являются совершенно немагнитными и поэтому долго считались вообще неспособными намагничиваться, каковы дерево, стекло и т. д. (приб. 1).

* * *

Мы видѣли, что магнитъ дѣйствуетъ направляющимъ

образомъ на подвижный проводникъ, по которому проходитъ токъ. Не будетъ ли, обратно, электрическій токъ оказывать такое же дѣйствіе на подвижную магнитную стрѣлку? Мы уже наблюдали отклоненіе магнитной стрѣлки дѣйствіемъ соленоида; но здѣсь, быть можетъ, оказывала вліяніе спиральная форма проводника.

Въ широкой стеклянной трубкѣ (g, рис. 30), посредствомъ пробокъ я укрѣпляю толстую изолированную мѣдную проволоку (L) такъ, чтобы она образовала петлю, одна сторона которой была бы прямолинейна. Къ этой части я приклеиваю воскомъ красную бумажную стрѣлку (p) и сообщаю свободные концы проволоки съ полюсами гальваническаго элемента такъ, чтобы токъ проходилъ по петлѣ въ указываемомъ стрѣлкою направленіи. Я беру этотъ проводникъ и приближаю его, стрѣлкою

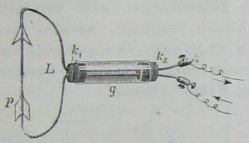


Рис. 30.
Проводникъ для опытовъ надъ отклоненіемъ магнитной стрѣлки электрическимъ токомъ (1/8).

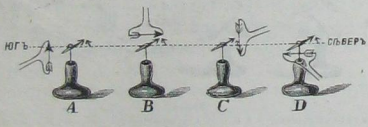


Рис. 31.
Отклоненіе магнитной стрѣлки электрическимъ токомъ.

вертикально вверхъ, къ южному концу магнитной стрѣлки (A, рис. 31): стрѣлка измѣняетъ свое направленіе, именно сѣверный полюсъ ея (отмѣченный красной бумажкою) отклоняется къ западу. Я обвожу проводникъ, не измѣняя направленія тока, вокругъ стрѣлки въ одной и той же (вертикальной) плоскости: во всѣхъ случаяхъ стрѣлка остается отклоненной въ

ту же сторону (рис. 31). Затѣмъ я повторяю опытъ, но держу проволочную петлю такъ, чтобы стрѣлка, а слѣдов. и токъ, имѣли противоположное направленіе: теперь при всѣхъ положеніяхъ проводника сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки отклоняется къ востоку, тогда какъ прежде онъ направлялся къ западу.

Для контроля помѣщаю проволочную петлю такъ (*A*, рис. 32), чтобы ея плоскость былъ направлена отъ юга къ сѣверу и чтобы токъ, который я теперь замыкаю, обходилъ вокругъ всей стрѣлки, и именно шелъ надъ нею къ сѣверу. Вы видите, что сѣверный полюсъ, какъ прежде, отклоняется къ западу. Если же повернуть проволочную петлю на 180°, т. е. такъ, чтобы токъ надъ стрѣлкою шелъ къ югу, то сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки отклонится къ востоку (*B*, рис. 32). Для всѣхъ наблюденныхъ нами случаевъ мы можемъ слѣдующимъ образомъ выразить правило отклоненія: если представить себя плывущимъ по направленію тока съ обращеннымъ къ магнитной стрѣлкѣ лицомъ, то сѣверный полюсъ ея будетъ отклоненъ влѣво (Амперъ).

Амперово правило.

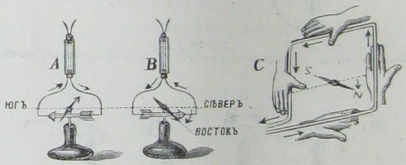


Рис. 32.
Амперово правило. *A* и *B*—1/10. *C*—схематическое изображеніе правила.

Это, какъ вы увидите, чрезвычайно важное явленіе отклоненія магнитной стрѣлки электрическимъ токомъ было открыто въ началѣ нашего столѣтія (до 1804 г.) Романози *), а по-

*) Открытіе вообще приписывается Эрстеду, ибо оно было имъ опубликовано, между тѣмъ какъ Романози повидимому самъ не печаталъ о своемъ открытіи; по крайней мѣрѣ, о немъ лишь мимоходомъ упоминаетъ одинъ современникъ (см. приб. 5).

томъ (1820) вторично датскимъ ученымъ Эрстедомъ (Oersted). Правило отклоненія дано французскимъ ученымъ Амперомъ, по имени котораго оно и называется. Удобнѣе это правило въ слѣдующей формѣ: если держать *правую* руку, ладонью къ стрѣлкѣ, такъ, чтобы токъ шелъ по направленію, указываемому пальцами, то сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки будетъ отклоненъ въ сторону большого пальца (*C* рис. 32).

Наоборотъ, можно (и это пригодится намъ ниже) по тому, какъ отклоняется магнитная стрѣлка, судить о направленіи электрическаго тока въ проводникѣ:

Если держать *правую* руку вдоль проводника, ладонью къ стрѣлкѣ, такъ, чтобы сѣверный полюсъ ея былъ отклоненъ въ сторону большого пальца, то токъ будетъ идти *по направленію, указываемому пальцами.* (См. *C* рис. 32).

Сопоставимъ для ясности всѣ наши наблюденія.

1. Электрическіе токи одного направленія притягиваются, противоположнаго — отталкиваются. Подвижные проводники, по которымъ проходитъ токъ, стремятся стать такъ, чтобы токи въ нихъ были параллельны и одинаково направлены.
2. Кольцевые или спиральные токи (соленоиды) подвержены направляющему дѣйствію земного магнитизма; магнитъ дѣйствуетъ на нихъ притягивающимъ и отталкивающимъ образомъ, какъ на магнитную стрѣлку.
3. Электрическій токъ отклоняетъ поднесенную къ нему магнитную стрѣлку по опредѣленному правилу и сильно намагничиваетъ желѣзо, вокругъ котораго обходитъ; при этомъ сѣверный полюсъ появляется на томъ концѣ электромагнита, въ которомъ токъ кажется идущимъ противъ стрѣлки часовъ.

Какъ объяснить себѣ связь, существующую между магнитами и электрическими токами?

Гипотеза Ампера.

Геніальный Амперъ, открывшій законы электромагнитизма, принялъ, что каждая молекула магнитнаго тѣла окру-

жена круговымъ замкнутымъ токомъ, и что часть этихъ «молекулярныхъ токовъ» устанавливается параллельно и въ одномъ направленіи при натираніи сильнымъ магнитомъ или при дѣйствіи электрическаго тока (*A* рис. 33). Тогда эти молекулярные магниты, какъ въ нашемъ опытѣ (стр. 5) стальныя опилки, дѣйствуютъ усиливающимъ образомъ другъ на друга. Слѣдовательно, намагнитить значитъ сдѣлать молекулярные токи параллельными и одинаково направленными. Предѣлъ намагничиванія—никогда не достигаемый—былъ бы достигнутъ, если бы всѣ молекулярные токи приняли параллельное и одинаковое направленіе.. Различіе въ намагничиваніи желѣза и стали (см. выше, стр. 3) зависитъ отъ того, что молекулы желѣза подвижнѣе, нежели въ стали, вслѣдствіе чего онѣ въ послѣднемъ случаѣ оказываютъ большее сопротивленіе направляющему дѣйствію магнита, но остаются въ положеніи, которое однажды приняли; напротивъ, въ желѣзѣ, по прекращеніи магнитнаго дѣйствія извнѣ, молекулы возвращаются въ свое обычное положеніе, при которомъ мо-

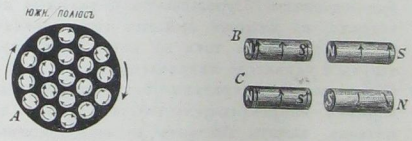


Рис. 33.
Направленіе Амперовыхъ молекулярныхъ токовъ.

лекулярные токи имѣютъ всевозможныя направленія, такъ что ихъ внѣшнія дѣйствія взаимно уничтожаются, и желѣзо является ненамагниченнымъ.

Амперова гипотеза магнитизма хорошо объясняетъ извѣстные намъ законы магнитнаго притяженія и отталкиванія; ибо въ первомъ случаѣ (*B* рис. 33) токи въ обращенныхъ другъ къ другу полюсныхъ плоскостяхъ направлены одинаково, а во второмъ (*C* рис. 33) противоположно. Точно также связь между электрическими токами и магнитами является прямымъ

слѣдствіемъ направляющаго дѣйствія, производимаго токами другъ на друга. Если разсматривать земной шаръ какъ огромный магнитъ, котораго сѣверный магнитный полюсъ лежитъ въ южномъ полушаріи, то земные токи должны идти отъ востока къ западу (т. е. по направленію видимаго движенія солнца). Направленіе земныхъ токовъ.

Амперова гипотеза подкупаетъ своей простотою, но при ближайшемъ разсмотрѣніи приводитъ къ нѣкоторымъ трудностямъ. Спрашивается напр., откуда берутся эти непрерывные молекулярные токи въ желѣзѣ и стали, и чѣмъ они под-

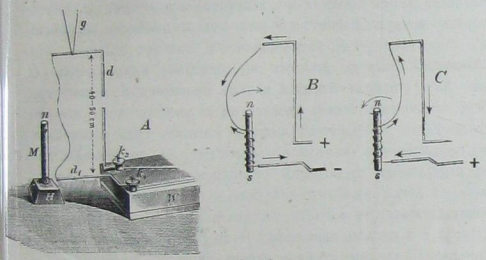


Рис. 34.

Дѣйствіе магнита на подвижный токъ, по Лоджу, съ измѣненіемъ (1/10):

держиваются? Гипотезу мы можемъ считать лишь остроумною попыткой свести магнитныя и электродинамическія явленія къ одной общей причинѣ. Однако она даетъ намъ превосходное средство разбираться въ явленіяхъ. Представимъ себѣ напр. вертикально установленный сильный магнитъ (*M* при *A*, рис. 34), сѣвернымъ полюсомъ кверху; окружающее пространство, по скольку мы можемъ обнаружить въ немъ дѣйствія магнита, представитъ тогда его магнитное поле. Если бы мы помѣстили параллельно магниту очень тонкій и гибкій проводникъ, по которому проходитъ токъ, то этотъ проводникъ долженъ былъ бы стремиться принять такое положеніе, чтобы проходящій по немъ токъ былъ направленъ параллельно и одинаково съ молекулярными токами маг-

нита; слѣдовательно, онъ стремился бы обвиться вокругъ магнита. Это мы можемъ испробовать.

Въ зажимахъ коммутатора (*A* рис. 34; см. также рис. 21) я укрѣпляю двѣ согнутыя подъ прямымъ угломъ толстыя проволоки (d и d_1), изъ которыхъ верхняя поддерживается резиновымъ шнуркомъ (g). Свободные концы проволокъ, отстоящіе приблизительно на 50 см., сообщены очень тонкою и узкою металлической тесьмою (приб. 4) 60 см. длины. Я приближаю установленный на деревяшкѣ магнитъ (M) къ свободно висящей металлической тесьмѣ и замыкаю токъ: тонкій проводникъ тотчасъ же закручивается и ложится винтообразно вокругъ магнита (*B* рис. 34). Я измѣняю направленіе тока: проводникъ разматывается и, описавъ большую дугу, обвивается вокругъ магнита по обратному направленію (*C*, рис. 34). Опуская верхній конецъ проволоки d, можно еще болѣе освободить тонкій проводникъ и достичь того, что онъ сдѣлаетъ до 20 оборотовъ вокругъ магнита. Если вы примете во вниманіе, что (какъ и въ опытѣ рис. 21) направленіе тока въ подвижномъ проводникѣ указывается стрѣлкою коммутатора, то легко подмѣтите слѣдующее: проводникъ всегда такъ обвивается вокругъ магнита, поставленнаго сѣвернымъ полюсомъ кверху, что токъ въ проводникѣ (если смотрѣть сверху) имѣетъ направленіе противъ стрѣлки часовъ. Обратное произойдетъ въ томъ случаѣ, если повернуть магнитъ южнымъ полюсомъ кверху. Слѣдовательно, въ обоихъ случаяхъ подвижной проводникъ дѣйствительно располагается такъ, что токъ въ немъ является направленнымъ параллельно и одинаково съ гипотетическими молекулярными токами магнита.

* *
*

Наблюденное нами взаимодѣйствіе между магнитами и электрическими токами заставляетъ насъ подозрѣвать существованіе родства между магнитными и электрическими явленіями. Но отклоненіе магнитной стрѣлки, кромѣ того, даетъ намъ средство обнаруживать самые слабые электрическіе токи. Приборы этого рода называются указателями тока или гальваноскопами.

Мы можемъ съ удобствомъ воспользоваться для данной цѣли амперовскимъ станкомъ (рис. 35). На мѣстѣ сосуда со ртутью я укрѣпляю пустую стеклянную трубочку (g) съ тонкимъ гладкимъ отверстіемъ. Къ волоску я подвѣшиваю алюминіевую проволоку, которая поддерживаетъ короткій магнитъ (m), состоящей изъ куска намагниченной вязальной спицы. Верхній конецъ алюминіевой проволоки проткнутъ сквозь соломину (Z), служащую указателемъ; нижній входитъ въ стеклянную трубочку, такъ что магнитъ можетъ спокойно колебаться въ горизонтальной плоскости.

Кольцо изъ толстой мѣдной проволоки (R) можно устанавливать такъ, чтобы магнитъ находился въ его срединѣ. Я по-

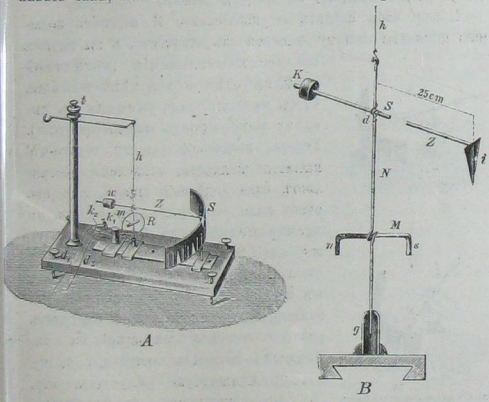


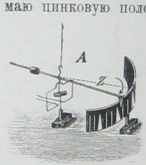
Рис. 35.
A — Амперовъ станокъ въ качествѣ гальваноскопа ($^1/_{10}$). Z — указатель изъ соломины съ бумажнымъ кончикомъ (i) и противовѣсомъ (w) изъ пробки. S — грубая шкала (изъ бумаги, натянутой на волосу листового цинка). B — удобная форма магнита (M) ($^1/_2$).

мѣщаю бумажную шкалу (S) надлежащимъ образомъ и поворачиваю весь станокъ такъ, чтобы магнитъ сталъ въ плоскость кольца. Отклоненія магнита можно будетъ замѣтить по движенію бумажнаго острія i (B рис. 35).

Вы помните, какъ трудно было обнаружить присутствіе свободнаго $+E$ и $-E$ на полюсахъ гальваническаго элемента: алюминіевый электрометръ, столь чувствительный, при простомъ прикосновеніи не давалъ отклоненія и показалъ слабый зарядъ лишь при употребленіи конденсатора.

Теперь я беру маленькій углецинковый элементъ, какимъ мы недавно пользовались (см. рис. 17). Стоитъ лишь прикоснуться полюсными проволоками къ зажимамъ (k_1 и k_2) проволочнаго кольца,—и магнитная стрѣлка съ силою отбрасывается въ сторону, качается нѣкоторое время, а затѣмъ становится почти перпендикулярно къ плоскости кольца (такъ что указатель выходитъ за предѣлы шкалы).

Прошу васъ слѣдить за указателемъ. Я медленно подымаю цинковую полоску элемента изъ жидкости, и вы видите, что уголъ отклоненія магнитной стрѣлки становится тѣмъ меньше, чѣмъ меньше погруженная въ кислоту поверхность цинка (или угля). Теперь, когда обѣ палочки только-что касаются жидкости, отклоненіе составляетъ едва 3 дѣленія шкалы, т. е. оно очень мало. Контрольный опытъ на электрометрѣ далъ бы одно и то же отклоненіе — все равно, на сколько погружены цинкъ и уголь въ жидкость. Что это значитъ? Мы знаемъ, что электрометръ измѣряетъ разность степеней электризаціи на свободныхъ полюсахъ элемента, т. е. его электродвижущую силу (см. стр. 15). Не показываетъ ли гальваноскопъ чего-либо отличнаго отъ электродвижущей силы?



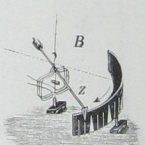


Рис. 36.
Вліяніе числа оборотовъ на величину отклоненія. ($^1/_{10}$). *A* — простое кольцо. *B* — рамка съ 10 оборотами. (На рисункѣ ихъ только три).

Мы хотѣли воспользоваться гальваноскопомъ, какъ указателемъ тока, и сравнить его чувствительность съ чувствительностью электрометра, но пришли къ противорѣчащимъ другъ другу показаніямъ обоихъ инструментовъ. Это

побуждаетъ насъ разсмотрѣть ближе, что означаютъ показанія гальваноскопа. Но сперва я еще покажу вамъ, какимъ образомъ можно, въ случаѣ надобности, значительно повысить чувствительность гальваноскопа.

Я снова подымаю цинкъ изъ жидкости на столько, что онъ къ ней едва прикасается: отклоненіе стрѣлки очень мало. Я замѣняю проволочное кольцо другимъ, меньшимъ, части котораго, слѣдовательно, ближе къ магнитной стрѣлкѣ (*A*, рис. 36): отклоненіе стало уже нѣсколько больше. Если же я возьму рамку (*B*, рис. 36), состоящую изъ 10 оборотовъ изолированной мѣдной проволоки (на рис. обозначено только три), то отклоненіе еще значительно увеличится.

Отклоненіе возрастаетъ съ числомъ оборотовъ проволоки, т. е., увеличивая число оборотовъ, можно достичь бо́льшаго отклоненія стрѣлки. Приборы, устроенные на этомъ началѣ, называются «мультипликаторами» (Швейгеръ, 1821).

* * *

Прежде, чѣмъ окончить нашу сегодняшнюю бесѣду, я хочу показать вамъ, для сравненія, намагничивающее дѣйствіе электрическаго тока, доставляемаго электрофорной машиной.

Я обматываю два одинаковыхъ желѣзныхъ стержня 15-ю не очень плотными оборотами толстой мѣдной проволоки, изолированной толстымъ слоемъ гуттаперчи. Оба стержня я зажимаю отвѣсно въ штативѣ между кусками резины. Чрезъ одну проволоку я пропускаю токъ отъ элемента съ хромовой кислотою, а чрезъ другую—отъ электрофорной машины (въ послѣднемъ случаѣ проводъ долженъ имѣть перерывъ для искръ въ 5—10 мм.).

Электромагнитъ съ гальваническимъ элементомъ обнаруживаетъ подъемную силу свыше 8 килограммовъ, а съ электрофорной машиной едва $^1/_5$ килограмма, такъ какъ якорь вмѣстѣ съ подвѣшеннымъ для отрыванія грузомъ не вѣситъ и 250 гр. Отсюда мы видимъ, что въ отношеніи этого динамическаго дѣйствія хромовый элементъ далеко оставляетъ за собою электрофорную машину.

Наша сегодняшняя цѣль достигнута. Въ слѣдующій разъ мы попробуемъ рѣшить загадку, представившуюся намъ въ различіи показаній электрометра и гальваноскопа.

Чтеніе IV.

Градуированіе гальваноскопа; гальванометръ. — Дѣйствіе послѣдовательнаго и параллельнаго соединеній при очень короткой и очень длинной проводной проволокѣ, а также при включеніи въ цѣпь столба жидкосте; понятіе о силѣ тока; сравненіе гидродинамическихъ и электродинамическихъ явленій; внѣшнее и внутреннее сопротивленія; выводъ закона Ома; слѣдствія изъ закона Ома.—Удѣльная проводящая способность разныхъ тѣлъ; практическая единица сопротивленія, «омъ»; практическая единица силы тока, «амперъ».—Опредѣленіе внутренняго сопротивленія элемента или батареи; сила тока въ развѣтвленіяхъ; измѣреніе сильныхъ токовъ.

Въ послѣдній разъ мы познакомились съ нѣсколькими дѣйствіями замкнутаго гальваническаго тока, непрерывно текущаго по проводнику, и сравнили явленія съ тѣми, которыя наблюдались на проводныхъ шнуркахъ въ случаѣ прерывисто дѣйствующей электрофорной машины. Дальнѣйшіе опыты познакомили насъ еще съ рядомъ динамическихъ дѣйствій. Сопоставимъ все видѣнное нами.

Взглядъ на пройденное.

1. Если токъ отъ батареи изъ постоянныхъ элементовъ (для опыта ихъ соединяютъ послѣдовательно) пропускается по очень тонкой длинной проволокѣ, по возможности однородной въ частяхъ, то электрическое паденіе въ проводникѣ постоянно, т. е. электрическая разность въ двухъ равноотстоящихъ точкахъ проводника повсюду одинакова.
2. Токи одного направленія притягиваются, противоположнаго – отталкиваются; поэтому подвижные проводники стремятся стать такъ, чтобы токи въ нихъ были параллельны и одинаково направлены. Если токъ достаточно силенъ, то подвижный круговой или спиральный проводникъ (соленоидъ) подъ вліяніемъ земного магнитизма устанавливается такъ, что для смотрящаго съ южной стороны токъ представляется идущимъ по направленію стрѣлки часовъ.

3. Кусокъ желѣза, вокругъ котораго обходитъ электрическій токъ, дѣлается во время пропусканія тока сильнымъ магнитомъ (электромагнитомъ). Магниты и подвижные проводники, по которымъ пропускается токъ, дѣйствуютъ другъ на друга направляющимъ образомъ, такъ что электрическій токъ и гипотетическіе молекулярные токи Ампера принимаютъ параллельное и одинаковое направленіе. Молекулярные токи магнита, если смотрѣть на южный полюсъ, направлены по движенію стрѣлки часовъ; потому земные электрическіе токи должны быть направлены съ востока на западъ.

Для отклоненія магнитной стрѣлки отсюда выходитъ слѣдующее (видоизмѣненное) правило Ампера: если держать правую руку, ладонью къ стрѣлкѣ, такъ, чтобы токъ имѣлъ направленіе, указываемое пальцами, то сѣверный конецъ стрѣлки отклонится въ сторону большого пальца.

Отсюда легко выходитъ правило для нахожденія направленія тока:

Если къ проводнику приложить *правую* руку такъ, чтобы ладонь была обращена къ стрѣлкѣ и чтобы *сѣверный полюсъ* ея былъ отклоненъ въ сторону большого пальца, то токъ будетъ имѣть направленіе, указываемое пальцами.

* * *

Теперь мы займемся ближайшимъ изученіемъ показаній гальваноскопа.

Когда мы приступили къ количественному сравненію электростатическихъ явленій (ч. I, стр. 23), нашей первой задачею было—эмпирически градуировать достаточно чувствительный электроскопъ посредствомъ сообщенія ему повторенныхъ равныхъ зарядовъ, чтобы потомъ можно было, отмѣчая отклоненія алюминіеваго листочка по градуированной шкалѣ, судить о степени электризаціи (въ нашихъ произвольныхъ единицахъ). Такимъ образомъ нашъ электроскопъ превратился въ достаточный для нашихъ цѣлей электрометръ. Не мо-

жемъ ли мы градуировать и гальваноскопъ, чтобы получить этимъ путемъ «гальванометръ»?

Такъ какъ нашъ Амперовъ станокъ недостаточно удобенъ, то мы возьмемъ нарочно устроенный для данной цѣли гальваноскопъ (рис. 37), который имѣетъ мѣдную стойку (S), могущую вращаться въ треногѣ, и буссоль съ короткой магнитной стрѣлкою, помѣщенной на стальномъ шпенькѣ. Перпендикулярно къ магнитной стрѣлкѣ прикрѣплены два длинныхъ указателя изъ алюминіевой проволоки, концы которыхъ, снабженные цвѣтными бумажками, движутся вдоль градуснаго дѣ-

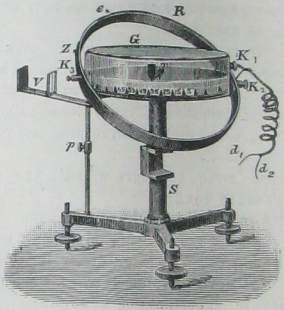


Рис. 37.
Гальванометръ для классныхъ опытовъ (синусъ-тангенсъ-буссоль) 1/7.

ленія; такъ какъ оно нанесено на отвѣсномъ ободѣ буссоли, то его хорошо видно со стороны.

Отклоняющимъ проводникомъ служитъ толстое мѣдное кольцо (R), вращающееся около горизонтальной оси. Концы кольца, не касающіеся другъ друга, снабжены винтовыми зажимами (K_1 K_2). Визиръ (V), прикрѣпленный къ треногѣ, служитъ для болѣе точнаго отсчета дѣленій и вмѣстѣ съ тѣмъ указываетъ на всякое поворачиваніе стойки.

Чтобы градусное дѣленіе было видно издалека, черты 0°, 10°, 20° ... отмѣчены треугольниками, которые при 0°, 30°, 60° и 90° окрашены въ красный цвѣтъ (остальные черные).

Я устанавливаю буссоль такъ, чтобы неподвижный визиръ (V) указывалъ какъ разъ на 0°; потомъ медленно поворачиваю весь аппаратъ, вмѣстѣ съ треногою, до тѣхъ поръ, пока и оба указателя не укажутъ на 0°, *) и устанавливаю мѣдное кольцо (R) отвѣсно. Зажимные винты K_1 K_2 я соединяю посредствомъ гибкихъ изолированныхъ проволокъ съ коммутаторомъ, а послѣдній съ даніелевскимъ элементомъ (рис. 17) или съ очень постояннымъ гальваническимъ элементомъ Флеминга (рис. 38). Въ немъ химически-чистый цинкъ погруженъ въ растворъ цинковаго купороса и мѣдь въ растворъ мѣднаго купороса, причемъ чрезъ двѣ трубки съ кранами (1 и 2) притекаютъ свѣжіе растворы, а чрезъ третью (3) вытекаетъ по каплямъ израсходованная жидкость; этимъ достигается необыкновенное постоянство элемента. Четвертый кранъ (4) служитъ для опрастыванія аппарата.

Нормальный элементъ Флеминга.

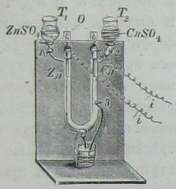


Рис. 38.

Нормальный элементъ Флеминга для градуировки гальванометра. (1/3).

Я замыкаю токъ: отклоненіе, послѣ того, какъ стрѣлка успокоилась, составляетъ 12,5°. Теперь я медленно наклоняю мѣдное кольцо (R рис. 37): отклоненіе постепенно уменьшается и сдѣлается=0, если я установлю кольцо какъ разъ горизонтально. Слѣдовательно, мы имѣемъ средство любымъ образомъ

*) Благодаря тщательности механика, стальной шпенекъ, на которомъ вращается магнитная стрѣлка, очень точно центрированъ въ кругѣ съ градуснымъ дѣленіемъ, и я такъ урегулировалъ оба конца указателей, что показанія ихъ отличаются (неизмѣнно) едва на 0,1°. Этою разницею мы можемъ пренебречь при нашихъ опытахъ, такъ что достаточно будетъ одного отсчета при каждомъ направленіи тока.

измѣнять отклоненіе въ предѣлахъ отъ 0° до 12,5°. Возьмемъ напр. отклоненіе въ 10°. Теперь оно достигнуто. Я укрѣпляю кольцо въ этомъ положеніи неподвижно (посредствомъ закрѣпа у зажимнаго винта K_2, рис. 37) и обращаю токъ. Указатели поворачиваются въ другую сторону и устанавливаются на 9,6° *). Очевидно, прямая, соединяющая концы обоихъ указателей, не строго перпендикулярна къ магнитной оси стрѣлки; но это не важно: надо лишь отмѣтить отклоненія стрѣлки при обоихъ противоположныхъ направленіяхъ тока и взять изъ нихъ среднее.

Если бы концы указателей не достаточно точно устанавливались на діаметрально противоположныя точки градусной шкалы, то мы имѣли бы при одномъ направленіи тока два отсчета a_1 и a'_1, при другомъ a_2 и a'_2. Тогда истинная величина угла отклоненія была бы среднею изъ всѣхъ четырехъ отсчетовъ, т. е. $a=(a_1+a'_1+a_2+a'_2)/4$.

Теперь мы можемъ приступить къ градуированію гальваноскопа. За единицу гальваноскопическаго дѣйствія тока мы примемъ то отклоненіе, которое производитъ нашъ нормальный даніелевскій элементъ. Затѣмъ нужно сдѣлать опытъ такъ, чтобы магнитная стрѣлка безъ тока было отклонена на тотъ же самый уголъ: тогда при вторичномъ пропусканіи тока гальваноскопическое дѣйствіе сложится съ первымъ, т. е. удвоится, при новомъ пропусканіи—утроится и т. д.

Я помѣщаю гальваноскопъ (G рис. 39) на нижній столикъ оптической скамьи (ab), какъ разъ надъ срединою миллиметроваго дѣленія. Оптическую скамью я ставлю по направленію отъ востока къ западу, т. е. такъ, чтобы алюминіевые указатели (zz рис. 39, B) были ей параллельны, и поворачиваю буссоль на столько, чтобы указатели и неподвижный визиръ (V) показывали какъ разъ на 0°. Замыкая токъ, я получаю отклоненіе въ 10°. Прервавъ затѣмъ токъ, я кладу два длинные магнита (m_1 и m_2) на подставки S_1 и S_2 и медленно приближаю ихъ, пока не получится то же отклоненіе $a'_1=10°$,

*) Приводныя проволоки гальванометра (d_1 d_2 рис. 37) скручены вмѣстѣ, чтобы предотвратить отклоняющее дѣйствіе ихъ на стрѣлку гальванометра.

послѣ чего опять пропускаю токъ (въ прежнемъ направленіи, что видно по стрѣлкѣ при коммутаторѣ). Второе отклоненіе $a'_2=19{,}8°$. Подобнымъ же образомъ находимъ $a'_3=27{,}9$; $a'_4=35{,}1$; $a'_5=41{,}5$ и т. д. Легко видѣть, что разстоянія по градусному дѣленію становятся все меньше, т. е. что отклоненія стрѣлки гальваноскопа не пропорціональны отклоняющему дѣйствію тока—точно такъ, какъ это было при различныхъ зарядахъ электрометра.

Указаннымъ образомъ мы градуируемъ гальваноскопъ отъ 0° приблизительно до 70°: здѣсь углы отклоненія возрастаютъ

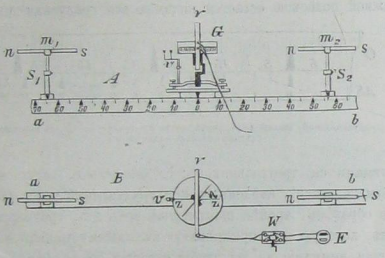


Рис. 39.

Градуировка гальваноскопа помощью двухъ магнитовъ съ востока и запада (1/20). *А*—сбоку, *Б*—сверху.

слишкомъ медленно, и мы не идемъ дальше. Затѣмъ мы повторяемъ все измѣреніе при обратномъ направленіи тока, причемъ магнитная стрѣлка отклоняется въ другую сторону. Обозначая теперь углы отклоненія чрезъ a''_1, a''_2, a''_3,... мы найдемъ истинныя отклоненія, взявъ среднія изъ соотвѣтствующихъ отсчетовъ, полученныхъ при обоихъ направленіяхъ тока, напр. $a_1=(a'_1+a''_2)/2$; $a_2=(a'_2+a''_2)/2$ и т. д. Остается лишь надлежащимъ образомъ отмѣтить точки шкалы, найденныя при градуированіи,—и мы получимъ градуированную шкалу, которая послужитъ намъ при гальваноскопѣ точно такъ же, какъ подобная шкала при электрометрѣ. (Приб. 7).

Рядъ измѣреній, произведенныхъ раньше, далъ мнѣ, въ среднемъ изъ нѣсколькихъ опытовъ, слѣдующія числа:

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
a	7,5	14,7	21,5	27,8	33,4	38,3	42,7	46,5	49,8	52,7	55,4	57,7	59,8	61,5	63,1	64,5	65,9	67,1	68,2	69,

Градуированная шкала гальванометра.

Чтобы нанести градуированную шкалу для нашего гальваноскопа, я сперва удаляю стеклянный колпакъ буссоли и стрѣлку, снимаю кольцо съ граднсным дѣленіемъ *) и плотно накладываю на него полоску чертежной бумаги 12 мм. ширины. Такъ какъ ободъ кольца имѣетъ ширину въ 30 мм., то надъ бумажной полоскою остается видимою вся градусная шкала съ

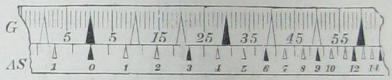


Рис. 40.

Часть градуированной шкалы (*AS*), укрѣпленная на градусной шкалѣ (*G*) такъ, что послѣдняя остается видимою (1/2).

вершинами ея треугольниковъ; слѣдовательно, легко нанести на бумагу точки, найденныя при градуировкѣ (рис. 40). Такимъ образомъ заранѣе изготовлена вотъ эта градуированная шкала, которую я и прикрѣпляю къ нашему прибору воскомъ, обращая вниманіе на то, чтобы нулевыя точки обѣихъ шкалъ точно совпадали.

Мы можемъ теперь, по желанію, пользоваться и градусной и градуированной шкалами; но пока будемъ исключительно придерживаться послѣдней. Такимъ образомъ нашъ гальваноскопъ сдѣлался измѣрительнымъ приборомъ, который мы назовемъ гальванометромъ, причемъ однако будемъ помнить, что помощью него мы пока измѣряемъ лишь отклоняющее дѣйствіе тока.

Въ какомъ отношеніи находится это дѣйствіе тока къ величинѣ или группировкѣ (способу соединенія) элементовъ? Разсмотрѣніе этого составитъ теперь нашу ближайшую задачу.

* * *

*) Благодаря мѣткамъ на внутренней сторонѣ кольца и на буссоли, легко потомъ снова помѣстить кольцо надлежащимъ образомъ.

Вотъ три подъемныхъ элемента, изъ которыхъ одинъ изображенъ на рис. 41. Обѣ угольныя пластинки, соединенныя между собою и съ зажимнымъ винтомъ C, погружаются въ смѣсь раствора двухромонатріевой соли съ сѣрной кислотою (приб. 3), а болѣе короткая цинковая пластинка можетъ быть посредствомъ мѣднаго прутка, къ которому она прикрѣплена, опущена въ жидкость больше или меньше или совсѣмъ вынута, когда хотятъ прервать токъ.

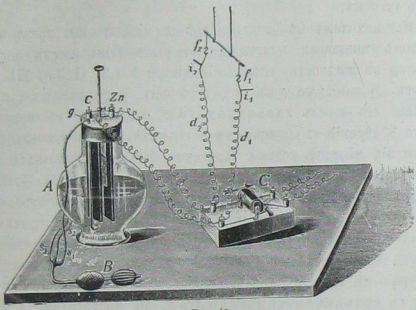


Рис. 41.

Подъемный элементъ A (съ мѣхомъ B, приспособленнымъ для 3 элементовъ). Проволоки d_1 d_3 служатъ для электрометрическихъ измѣреній (подвѣшены онѣ на изолирующ. нитяхъ).

Трубочка въ срединѣ крышки металлически сообщается съ другимъ зажимнымъ винтомъ (Zn). Сквозь эбонитовую крышку проходитъ стеклянная трубка, оканчивающаяся подъ угольными пластинками очень тонкимъ отверстіемъ и служащая для вдуванія воздуха посредствомъ резиноваго мѣха (B). Благодаря этому, довольно непостоянный вообще подъемный элементъ съ хромовой кислотой дѣлается довольно постояннымъ, въ чемъ можно убѣдиться, включая въ цѣпь гальванометръ: уголъ отклоненія стрѣлки долго остается безъ измѣненія, между тѣмъ какъ онъ непрерывно убываетъ, если не прибѣгать къ вдуванію воздуха.

Для контроля, мы опредѣлимъ теперь и послѣ электродви-

жущую силу элемента помощью электрометра. Для этого я прикрѣпляю къ зажимнымъ винтамъ коммутатора (C рис. 41), сообщеннымъ съ полюсами элемента, двѣ тонкія побочныя проволоки (d_1 d_2), которыя снабжены изолирующими сургучными рукоятками (i). Прервавъ токъ коммутаторомъ, я провожу эти проволоки къ конденсаторнымъ пластинкамъ электрометра. По минованіи въ нихъ надобности, ихъ можно прицѣпить къ крючкамъ, подвѣшеннымъ на шелковинкахъ (f_1 f_2) надъ столомъ.

Мы находимъ на электрометрѣ для каждаго изъ трехъ элементовъ (цинковыя пластинки которыхъ лишь слегка погружаются въ жидкость) слѣдующія числа: I 1,8; II 2,0; III 1,9 вольтъ. Я замыкаю токъ коммутаторомъ, слѣдовательно, пропускаю его черезъ гальванометръ: отклоненіе составляетъ около 3 дѣленій (градуированной шкалы) при вертикальномъ положеніи мѣднаго кольца. Наклоняя кольцо, я уменьшаю отклоненіе, пока оно не достигнетъ ровно 2 дѣленій *). Затѣмъ я укрѣпляю кольцо неподвижно и включаю II элементъ. Отклоненіе=2,8 дѣл., т. е. нѣсколько больше. Чтобы сравнять его съ прежнимъ, мнѣ стóитъ только медленно приподнимать цинкъ: теперь отклоненіе a_2 тоже=2 дѣл. Точно такъ же я поступаю съ III элементомъ. Послѣ этого всѣ три элемента будутъ гальванометрически (т. е. по производимому ими отклоненію) одинаково сильны; электродвижущія же силы ихъ остались безъ измѣненія.

Теперь мы можемъ приступить къ измѣреніямъ.

I элементъ даетъ при одномъ положеніи коммутарора 2,0, при другомъ 1,8, т. е. въ среднемъ 1,9. То же самое находимъ для II и III элементовъ.

Такъ какъ зажимы нашихъ элементовъ имѣютъ удобную форму (K рис. 42), то элементы, посредствомъ мѣдныхъ пластинокъ, легко соединять послѣдовательно (A) или параллельно (B).

Я нарочно урегулировалъ отклоненія на гальванометрѣ

*) Если кольцо гальванометра не можетъ поворачиваться, то слѣдуетъ взять меньшіе элементы, или же включить въ цѣпь надлежащей длины столбъ жидкости (см. ниже, стр. 73).

такъ, чтобы для одного элемента показаніе обоихъ аппаратовъ (т. е. гальванометра и электрометра) было численно одинаково; вслѣдствіе этого возможно непосредственное сравненіе результатовъ. На рис. 42 изображенъ способъ соединенія всѣхъ 3 элементовъ.

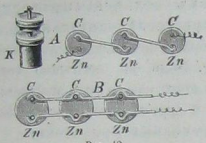


Рис. 42.

A—удобный пріемъ послѣдовательнаго соединенія, *B*—параллельнаго, *K*—гаечный зажимъ гальваническаго элемента. (1/3).

Дѣйствіе короткихъ толстыхъ проволокъ.

Два послѣдовательно соединенные элемента даютъ на гальванометрѣ (въ среднемъ изъ двухъ показаній при противоположныхъ направленіяхъ тока) отклоненіе 1,9, т. е. совершенно то же, какъ одинъ элементъ. То же самое находимъ и для 3 послѣдовательно соединенныхъ элементовъ, тогда какъ на электрометрѣ отклоненіе съ числомъ элементовъ возрастаетъ (см. стр. 34).

Теперь я соединяю 2 элемента параллельно. Гальванометръ показываетъ 3,8, электрометръ 1,9. Слѣдовательно, на гальванометрѣ мы получаемъ дѣйствіе вдвое большее, чѣмъ при одномъ элементѣ. Для трехъ элементовъ отклоненіе=5,75, т. е. почти втрое больше. Для наглядности представимъ результаты въ видѣ таблички.

I. Короткія толстыя проводныя проволоки.

Число элементовъ.	А. Гальванометръ.		В. Электрометръ.	
	Соединеніе:		Соединеніе:	
	послѣдовательное.	параллельное.	послѣдовательное.	параллельное.
1	1,9	$1,9 = a_1$	(1,9)	(1,9)
2	1,9	$3,8 = 2 \cdot a_1$	3,8	1,9
3	1,9	$5,75 = 3 \cdot a_1$ (почти).	5,6	1,95

Одинъ взглядъ на табличку показываетъ намъ, что здѣсь гальванометрическое дѣйствіе тока не согласуется съ электрометрическимъ. Тогда какъ здѣсь электродвижущая сила стоитъ въ прямомъ отношеніи къ числу послѣдовательно соединенныхъ элементовъ, — гальванометрическое дѣйствіе при параллельномъ соединеніи пропорціонально числу элементовъ, а при послѣдовательномъ остается безъ измѣненія. Мы брали при этомъ толстыя и короткія проводныя проволоки. Было бы поспѣшно заключить о законѣ дѣйствія тока изъ этого одного ряда опытовъ: мы должны принять во вниманіе и другія обстоятельства. Какое вліяніе оказываютъ напр. проводныя проволоки?

Дѣйствіе тонкихъ длинныхъ проволокъ.

Включимъ въ цѣпь (передъ коммутаторомъ) часть длинной нейзильберной проволоки, которою мы уже пользовались выше (рис. 19): отклоненіе на гальванометрѣ тотчасъ же уменьшается (на электрометрѣ же остается безъ измѣненія!). Мнѣ едва удается, поднимая кольцо буссоли, достичь для одного элемента прежняго отклоненія (1,9). Мы получаемъ:

II. При включеніи длинной тонкой нейзильберной проволоки.

Число элементовъ.	А. Гальванометръ.		В. Электрометръ.	
	Соединеніе:		Соединеніе:	
	послѣдовательное.	параллельное	послѣдовательное.	параллельное.
1	1,9	1,9	1,9	1,9
2	2,2	3,5	3,8	1,9
3	2,7	4,9	5,7	1,85

Мы тотчасъ видимъ, что вслѣдствіе включенія длинной тонкой нейзильберной проволоки гальванометрическое дѣйствіе тока очень ослабѣло, точно такъ, какъ если бы мы въ каждомъ элементѣ частью приподняли цинкъ изъ жидкости, т. е. уменьшили поверхность прикосновенія. (Между тѣмъ, измѣряемая электрометромъ электродвижущая сила осталась безъ измѣненія). Далѣе, табличка II показываетъ,

что пропорціональности между числомъ параллельно соединенныхъ элементовъ и отклоненіемъ (по градуированной шкалѣ), найденной нами при короткомъ проводѣ, здѣсь не оказывается, а что при послѣдовательномъ соединеніи отклоненіе возрастаетъ.

Сопротивленіе

Тонкая и длинная проволока изъ нейзильбера представляетъ прохожденію электрическаго тока какъ бы нѣкоторое сопротивленіе, благодаря которому и ослабляется гальванометрическое дѣйствіе тока. Изъ статическаго электричества мы уже знаемъ, что различныя тѣла проводятъ электричество не одинаково хорошо: мы отличаемъ хорошіе проводники (металлы), дурные проводники (дерево, пеньковая нить и др.) и непроводники или изоляторы (эбонитъ, слюда и пр.). Не зависитъ ли проводимость проволоки отъ ея длины и толщины? Этотъ вопросъ очень важенъ; но сперва мы попытаемся выяснить себѣ значеніе показаній гальванометра.

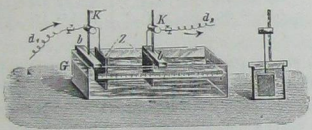


Рис. 43.

Ванночка для введенія сопротивленія (¹/₇): двѣ передвигающіяся амальгамированныя цинковыя пластинки въ растворѣ цинковаго купороса; на стѣнкѣ — бумажная шкала съ дѣленіемъ на миллиметры.

Въ этой стеклянной ваннѣ (рис. 43) могутъ перемѣщаться на деревянныхъ перекладинахъ двѣ амальгамированныя цинковыя пластинки, снабженныя зажимными винтами для проводныхъ проволокъ (d_1 d_2). Я наливаю въ ванну воднаго раствора цинковаго купороса (сѣрноцинковая соль, $ZnSO_4$) и включаю столбъ этой жидкости въ цѣпь вмѣсто нейзильберной проволоки: отклоненіе дѣлается почти незамѣтнымъ. Я придвигаю медленно правую перекладину къ лѣвой: отклоненіе непрерывно возрастаетъ и въ моментъ соприкосновенія пластинокъ сразу еще немного увеличивается. Тогда отклоненіе достигаетъ какъ разъ той же величины, какъ при одной

лишь короткой проволокѣ (табл. 1). Такимъ образомъ, помощію нашей ванночки съ жидкостью мы можемъ по произволу ослаблять токъ.

Я удаляю цинковыя пластинки ванночки на столько, что отклоненіе отъ одного элемента составляетъ лишь 0,5 дѣленія градуированной шкалы. При обращеніи тока мы получаемъ 0,4, т. е. въ среднемъ $0,45 = a_1$. Повторимъ рядъ нашихъ опытовъ и представимъ ихъ результаты въ видѣ таблицы.

III. При включеніи столба жидкости:

Число элементовъ.	А. Гальванометръ. Соединеніе: послѣдовательное.	А. Гальванометръ. Соединеніе: параллельное	В. Электрометръ. Соединеніе: послѣдовательное.	В. Электрометръ. Соединеніе: параллельное
1	$0,45 = a_1$	0,45	$1,9 = v_1$	1,9
2	$0,9 = 2a_1$	0,45	$3,8 = 2v_1$	1,9
3	$1,34 = 3a_1$	0,46	$5,75 = 3v_1$	1,9

Отсюда мы не только видимъ, что введеніе столба жидкости въ цѣпь уменьшаетъ гальванометрическое дѣйствіе тока, но что дѣйствіе при послѣдовательномъ и параллельномъ соединеніяхъ теперь противоположно тому, какое мы имѣли въ первомъ ряду опытовъ (табл. 1), когда проводъ состоялъ лишь изъ короткихъ толстыхъ проволокъ. Именно, при включеніи столба жидкости (достаточной длины) гальванометрическое дѣйствіе тока пропорціонально числу послѣдовательно соединенныхъ элементовъ, тогда какъ параллельное соединеніе его не измѣняетъ; дѣйствіе тока зависитъ теперь только отъ электродвижущей силы. Если бы, вмѣсто столба жидкости, мы включили въ цѣпь очень тонкую проволоку достаточной длины, то результатъ былъ бы тотъ же самый. Этимъ путемъ мы можемъ сравнивать между собою электродвижущія силы различныхъ гальваническихъ элементовъ помощью гальванометра.

Сила тока и сопротивленіе.

Назовемъ пока причину гальванометрическаго дѣйствія тока *силою тока*, а причину ослабляющаго дѣйствія,

которое производится проводомъ,—*сопротивленіемъ*. Тогда мы можемъ сказать, что сперва (табл. I) имѣли въ цѣпи очень малое сопротивленіе, а подъ конецъ (табл. III) очень большое, и что

1. Сила тока тѣмъ меньше, чѣмъ больше сопротивленіе провода.
2. При очень маломъ сопротивленіи провода сила тока пропорціональна числу параллельно соединенныхъ элементовъ, а при очень большомъ—числу послѣдовательно соединенныхъ. (Въ обоихъ случаяхъ другой способъ соединенія не имѣетъ вліянія на силу тока).

Какъ объяснить себѣ эту разницу? Очевидно, электрическій токъ, смотря по способу соединенія элементовъ, имѣетъ различный характеръ. Что же обозначаетъ собою сила тока, или «гальванометрическое дѣйствіе», какъ мы говорили выше за неимѣніемъ болѣе подходящаго выраженія?

Мы видѣли, что электродвижущая сила (разность электрическихъ потенціаловъ на свободныхъ полюсахъ элементовъ) совершенно не зависитъ отъ величины погруженныхъ въ жидкость пластинокъ, а также отъ сопротивленія проводныхъ проволокъ (по крайней мѣрѣ, въ наблюдавшихся нами границахъ), и обусловливается лишь природою соприкасающихся металловъ и жидкостей. Представимъ себѣ, что поверхность погруженныхъ цинковыхъ пластинокъ раздѣлена на □ миллиметры, и что — говоря образно — отъ каждой такой площадки исходитъ электрическая «струя» одинаковой (электродвижущей) силы: тогда сумма всѣхъ этихъ «электрическихъ струй» представитъ собою все приведенное въ движеніе количество электричества, т. е. полный электрическій токъ. При этомъ, конечно, совершенно безразлично, какъ мы сгруппируемъ отдѣльныя «электрическія струи»: возьмемъ-ли мы ихъ отъ одной большой пластинки или отъ нѣсколькихъ меньшихъ съ тою же самою общей поверхностью, т. е. воспользуемся ли однимъ большимъ элементомъ или нѣсколькими меньшими, у которыхъ соединены всѣ цинковые полюсы съ одной стороны и всѣ угольные съ другой. При параллельномъ соедине

нiи элементовъ «электрическiя струи» одной и той же электродвижущей силы складываются, такъ что возрастаетъ количество электричества; электродвижущая же сила остается безъ измѣненiя. Быть можетъ, это станетъ понятнѣе, если обратиться къ явленiямъ водяного тока, которыя легче обозрѣваются.

Гидродинамическiя явленiя.

Представимъ себѣ горизонтальный кольцеобразный каналъ (см. рис. 5 на стр. 11), имѣющiй въ одномъ мѣстѣ трубу, въ которой вращается водяное колесо, и пусть оно гонитъ воду впередъ постоянно съ одинаковою силой. Въ каналѣ произойдетъ постоянный водяной токъ. Какъ мы уже знаемъ (стр. 12), въ этомъ случаѣ должно возникнуть равномѣрное паденiе водяного уровня, т. е. разность уровней въ двухъ равноотстоящихъ точкахъ водяного тока будетъ постоянна. То же самое мы наблюдали въ случаѣ электрическаго тока (стр. 14).

Что мы будемъ разумѣть подъ силою водяного тока? На это можно отвѣтить различно, смотря по масштабу, которымъ мы воспользуемся. Всего проще было бы принять за мѣру силы тока количество воды, протекающее чрезъ данное поперечное сѣченiе въ секунду. Объемъ этой воды можно было бы найти, опредѣливъ напр. скорость теченiя, т. е. пространство, проходимое въ секунду водяными частичками, и измѣривъ площадь поперечнаго сѣченiя тока.

Понятiя о силѣ тока при водяномъ теченiи.

Сила тока=объемъ воды въ секунду=скорость×площ. поперечнаго сѣченiя . . . . . (1)

Объемъ этого количества воды отвѣчаетъ водяному столбу, котораго длина равна пути, проходимому водою въ одну секунду, а основанiе есть площадь поперечнаго сѣченiя тока. Но можно было бы, вмѣсто объема, опредѣлить и вѣсъ этого столба воды: мы могли бы сказать, что

Сила тока=вѣсу воды въ секунду . . . . . (2)

Съ одинаковымъ правомъ могли бы мы измѣрить работоспособность (энергiю) тока, опредѣливъ сперва энергiю струи той же скорости съ площадью поперечнаго сѣченiя въ 1 кв. см. Тогда произведенiе найденной энергiи на площадь поперечнаго сѣченiя дало бы намъ мѣру силы тока:

Сила тока=энергія тока=энергія на кв. см.×площ. поперечнаго сѣченія . . . . . (3)

Я нарочно показалъ вамъ, что уже при сравнительно простыхъ явленіяхъ, представляемыхъ водянымъ теченіемъ, сила тока можетъ быть измѣряема различнымъ образомъ. Поэтому васъ не удивитъ, если въ случаѣ болѣе сложнаго явленія, называемаго электрическимъ токомъ, мы найдемъ еще и другія мѣры для силы тока, кромѣ извѣстнаго намъ «гальванометрическаго дѣйствія».

Что будетъ, если соединить въ одинъ общій потокъ нѣсколько каналовъ, въ которыхъ вода течетъ подъ одинаковымъ паденіемъ (т. е. съ одинаковой скоростью)? Очевидно, паденіе (слѣдов. и скорость) не измѣнится, — увеличится только площадь поперечнаго сѣченія тока. Количество воды, протекающее въ секунду черезъ общій каналъ, будетъ равняться суммѣ количествъ ея, проходящихъ по отдѣльнымъ каналамъ, т. е. сила тока будетъ возрастать вмѣстѣ съ числомъ соединенныхъ каналовъ, совершенно такъ, какъ это наблюдалось при параллельномъ соединеніи гальваническихъ элементовъ, когда мы брали короткія толстыя проволоки, не представлявшія прохожденію электричества замѣтнаго сопротивленія.

Большой помѣхой при дальнѣйшемъ сравненіи явленій водяного и электрическаго токовъ является то, что вода подвержена дѣйствію тяжести и поэтому стремится течь «внизъ», тогда какъ для электрическаго тока нѣтъ ни верха, ни низа, и слѣдов. положеніе (и форма) проводника не имѣютъ никакого значенія. Поэтому я не разъ и обращалъ ваше вниманіе на то, что предполагаемые нами водяные каналы должны быть горизонтальны (и что треніе не принимается въ разсчетъ). Если мы будемъ пропускать воду не по открытымъ каналамъ, а по трубкамъ, то получимъ совсѣмъ иную картину. Если напр. вода перетекаетъ изъ поднятаго резервуара въ ниже лежащее мѣсто, то давленіе вытекающей воды (или ея скорость) будетъ зависить отъ разности уровней, но — если принебречь треніемъ — не будетъ зависить отъ длины трубокъ.

Назвавъ силу, приводящую въ движеніе воду—все равно,

производятся ли она водянымъ колесомъ или разностью уровней — «вододвижущей силою», мы получимъ новую мѣру для силы тока:

Сила тока=колич. воды=k×вододвижущая сила×поперечное сѣченіе . . . . . (4)

Здѣсь k есть нѣкоторое постоянное число, зависящее отъ избранныхъ единицъ и показывающее соотношеніе между вододвижущей силою и скоростью теченія.

Чтобы вамъ показать, хотя въ грубыхъ чертахъ, какъ большое сопротивленіе можетъ ослабить водяной токъ, я воспользуюсь слѣдующимъ простымъ приспособленіемъ (рис. 44). Цилинд-

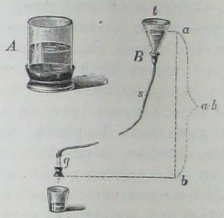


Рис. 44.
Дѣйствіе большого сопротивленія на теченіе воды. *A*—при малой, *B*—при большой разности уровней (⁴/₁₀).

рическій сосудъ A (изъ банки съ отрѣзаннымъ дномъ) затянутъ снизу нѣсколькими слоями мокрой бумажной матеріи. Я наливаю въ сосудъ воды, примѣрно на 8 см. высоты, и вы видите, что вода вытекаетъ изъ него медленно, отдѣльными каплями.

Другое приспособленіе показываетъ рис. 44, B. Стеклянная воронка g (на рисункѣ сдѣланная слишкомъ малою), съ площадью основанія приблизительно такой же величины, какъ дно сосуда A, точно такъ же затянута бумажной матеріей, но сообщена помощью длиной резиновой трубки (s) съ воронкою t. Я наливаю въ воронку воды и постепенно подымаю ее все выше. Съ возрастаніемъ давленія, водяныя капли вытекаютъ изъ воронки g все чаще и, наконецъ, вода образуетъ тонкую

непрерывную струю. Здѣсь сопротивленіе, представляемое слоями ткани, приблизительно такое же, какъ въ предыдущемъ опытѣ; но разность уровней (a—b), т. е. давленіе, значительно больше. Это повышенное давленіе продавливаетъ больше воды чрезъ слои ткани, т. е. увеличиваетъ силу водяного тока. Здѣсь вы имѣете случай, аналогичный послѣдовательному соединенію гальваническихъ элементовъ при очень большомъ внѣшнемъ сопротивленіи.

* * *

Примемъ за мѣру силы тока гальваническихъ элементовъ (см. стр. 75) количество электричества, протекающее чрезъ любое поперечное сѣченіе провода:

Сила тока=колич. электричества въ секунду.

Посмотримъ теперь, какое вліяніе на силу тока имѣютъ электродвижущая сила и свойства провода, по которому проходитъ токъ.

Опытъ со введеніемъ въ цѣпь столба жидкости (рис. 43, стр. 73) показалъ намъ, что жидкость въ гораздо большей степени ослабляетъ токъ, нежели металлическій проводъ. Мы поэтому можемъ сказать, что жидкости хуже проводятъ электричество, или что онѣ представляютъ электрическому току большее сопротивленіе, нежели металлы (проволоки). Но обѣ пластинки въ элементахъ раздѣлены слоемъ жидкости, который, конечно, тоже представляетъ току извѣстное сопротивленіе: его нельзя оставить безъ вниманія. Поэтому я беру подъемный элементъ, устроенный такъ, что разстояніе между пластинками можно по произволу измѣнять и, слѣдовательно, изучить вліяніе этого разстоянія *). Мы можемъ тогда измѣнять сопротивленія какъ въ проводѣ, такъ и въ элементѣ, наблюдая всякій разъ гальванометрическое дѣйствіе.

1. Стеклянная ванна (A рис. 45) наполнена до $^2/_3$ высоты смѣсью раствора двухромонатріевой соли съ сѣрной кислотою.

*) Нижеслѣдующій рядъ опытовъ (рис. 45—47) заимствованъ, въ существенныхъ чертахъ, у Пфаундлера, но съ нѣкоторыми измѣненіями. (Müller-Pouillet's Lehrb. d. Phys. IX Aufl., herausg. von Pfaundler, III Bd., S. 412—413).

Въ жидкость погружены угольная и цинковая пластинки, которыя удерживаются посредствомъ деревянныхъ перекладинъ и могутъ быть установлены выше и ниже. Разстояніе между пластинками можно отсчитывать по миллиметровой шкалѣ изъ бумаги, наклеенной съ передней стороны ванны и смазанной нагрѣтымъ параффиномъ (для защиты отъ дѣйствія капель кислой жидкости).

Полюсы элемента я соединяю съ гальванометромъ (*B* рис. 45) двумя мѣдными проволоками по 1 метру длиною, отрѣзан-

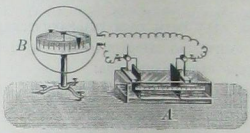


Рис. 45.
Зависимость силы тока отъ (внѣшняго и внутренняго) сопротивленія ($^1/_{10}$). *A* — подъемный элементъ, *B* — гальванометръ.

ными отъ одного и того же мотка. Отклоненіе составляетъ около 4,5 дѣл. градуированной шкалы. Я включаю двѣ такихъ же, но болѣе длинныхъ проволоки: отклоненіе $a_2=3,8$, т. е. замѣтно меньше.

Затѣмъ я раздвигаю пластинки элемента: вы видите, какъ быстро убываетъ отклоненіе. Увеличеніе сопротивленія какъ въ проводѣ, такъ и самомъ элементѣ, уменьшаетъ силу тока.

Внутреннее и внѣшнее сопротивленія.

Если назовемъ сопротивленіе въ элементѣ «внутреннимъ сопротивленіемъ» (w_i), а въ проводѣ «внѣшнимъ сопротивленіемъ» (w_a), то сумма ихъ будетъ общимъ сопротивленіемъ цѣпи (W):

$$W = w_i + w_a .$$

Что произойдетъ, если удвоить общее сопротивленіе?

II. Я соединяю гальванометръ (*G* рис. 46) двумя проволоками по 1 метру длиною съ нашимъ раздвижнымъ элементомъ (*E*) и придвигаю цинковую пластинку настолько, чтобы отклоненіе составляло ровно 8 дѣленій градуированной шкалы. [Это положеніе цинковой пластинки и проволоки изображено

на рис. 46 пунктиромъ]. Разстояніе пластинокъ = 40,4 мм. Примемъ общее сопротивленіе этой цѣпи (элемента, проволочнаго провода и гальванометра) за единицу и удвоимъ сопротивленіе каждой изъ его частей. Для этой цѣпи я включаю между гальванометромъ и цинковою пластинкой еще двѣ такихъ же проволоки по 1 метру длиною, которыя, кромѣ того, соединены посредствомъ мѣдной полоски (кольцо R_1) точно такой же длины и толщины, какъ кольцо R гальванометра; итакъ, внѣшнее сопротивленіе стало вдвое больше прежняго. Если я еще отодвину цинковую пластинку на двойное разстояніе (2.404,=80,8 мм.), то общее сопротивленіе будетъ удвоено. Отклоненіе a_2=3,95, т. е. (почти точно) вдвое меньше перво-

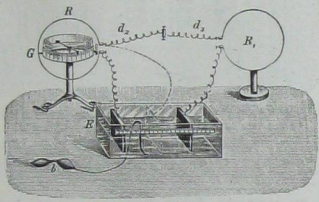


Рис. 46.
Зависимость силы тока отъ общаго сопротивленія ($^1/_{10}$).

начальнаго. При увеличеніи общаго сопротивленія вдвое сила тока вдвое уменьшилась. *Сила тока стоитъ въ обратномъ отношеніи къ общему сопротивленію.*

III. Остается еще изслѣдовать вліяніе электродвижущей силы. Я ставлю посрединѣ стеклянной ванны подходящую стеклянную пластинку (*H* рис. 47), края которой охвачены резиновой трубкой (*g*), такъ что ванна раздѣлится на двѣ не сообщающіяся между собою части. По сторонамъ платинки я ставлю цинковую и угольную пластинки и соединяю ихъ короткой толстой мѣдной полоскою, сопротивленіемъ которой можно пренебречь.

Такимъ образомъ, мы теперь имѣемъ въ ваннѣ два послѣдовательно соединенныхъ элемента. Я сближаю крайнія пла-

стинки ихъ настолько, чтобы сумма разстояній какъ разъ равнялась разстоянію между пластинками въ послѣднемъ опытѣ (80,8 мм.). Слѣдовательно, при томъ же общемъ сопротивленіи, электродвижущая сила теперь удвоена. Отклоненіе (a_3=7,9) стало вдвое больше прежняго (3,95); оно таково, какъ при одномъ элементѣ и вдвое меньшемъ сопротивленіи.

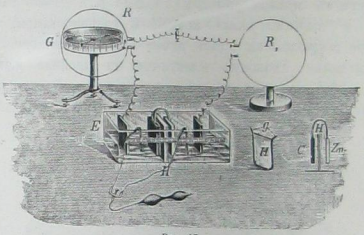


Рис. 47.
Зависимость силы тока отъ электродвижущей силы (1/10).

Сила тока прямо пропорціональна электродвижущей силѣ.

Теперь мы можемъ формулировать законъ силы тока въ общемъ видѣ:

Законъ Ома. *Сила гальваническаго тока прямо пропорціональна электродвижущей силѣ (батареи) и обратно пропорціональна общему сопротивленію цѣпи* (законъ Ома).

Если обозначить силу тока J, электродвижущую силу E, а общее сопротивленіе W, то частное E/W будетъ пропорціонально силѣ тока (J). Чтобы приравнять численное значеніе этого частнаго численному значенію силы тока, мы должны умножить первое на нѣкоторый постоянный множитель, который пусть будетъ k. Такимъ образомъ, сила тока

$$J = k.\frac{E}{W}.$$

Возьмемъ пока за единицу силы тока (J) такой токъ, который производитъ на нашемъ градуированномъ гальванометрѣ отклоненіе въ 1 дѣленіе шкалы, и примемъ электродви-

жущую силу элемента Даніеля за 1; тогда отклоненіе, которое дастъ одинъ Даніелевъ элементъ, будетъ, смотря по введенному сопротивленію, вообще больше или меньше 1 дѣленія. Если мы подберемъ проводную проволоку такъ, чтобы отклоненіе составляло ровно 1 дѣленіе, то общее имѣющееся теперь сопротивленіе мы можемъ также положить равнымъ единицѣ и принять его за нѣкоторую единицу сопротивленій. Тогда частное E/W, гдѣ E и W выражены въ принятыхъ выше единицахъ, прямо дастъ намъ численную величину тока, т. е. мы можемъ выбрать единицу сопротивленія такъ, чтобы упомянутый выше постоянный множитель k сдѣлался = 1. Въ такомъ случаѣ мы просто имѣемъ

$$J = \frac{E}{W} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad I$$

Но такъ какъ общее сопротивленіе (W) слагается изъ внутренняго (w_i), свойственнаго элементамъ, и внѣшняго (w_a), обусловленнаго проводомъ, т. е. $W = w_i + w_a$ (см. стр. 80), то окончательная формула для силы тока будетъ

$$J = \frac{E}{w_i + w_a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad II$$

Этотъ законъ силы тока гальваническихъ элементовъ, найденный нѣмецкимъ ученымъ Омомъ (1827), даетъ намъ ключъ къ разъясненію того, почему при очень маломъ внѣшнемъ сопротивленіи сила тока пропорціональна числу параллельно соединенныхъ элементовъ, а при очень большомъ, напротивъ, числу послѣдовательно соединенныхъ (элементы предполагаются одинаковыми). Мы именно не приняли во вниманіе, что при параллельномъ соединеніи (которое равнозначно взятію одного элемента съ соотвѣтственно большею поверхностью погруженныхъ пластинокъ) внутреннее сопротивленіе съ числомъ элементовъ уменьшается; слѣдовательно, при незначительномъ внѣшнемъ сопротивленіи сила тока должна возрастать. Напротивъ, при послѣдовательномъ соединеніи, гдѣ току приходится преодолѣвать одно за другимъ сопротивленія всѣхъ отдѣльныхъ элементовъ, внутреннее сопротивленіе возрастаетъ въ томъ же отношеніи, какъ электродви-

жущая сила, вслѣдствіе чего при незначительномъ внѣшнемъ сопротивленіи сила тока не измѣнится. Но паденіе электрическаго уровня въ послѣднемъ случаѣ больше и можетъ лучше преодолѣть большое внѣшнее сопротивленіе; слѣдовательно, въ этомъ случаѣ сила тока (по сравненію съ параллельнымъ соединеніемъ) будетъ значительнѣе.

Это станетъ еще яснѣе, если представить себѣ *n* элементовъ соединенными одинъ разъ параллельно, другой—послѣдовательно, и вычислить въ обоихъ случаяхъ силу тока для очень малаго и для очень большого сопротивленія.

I. Внѣшнее сопротивленіе ничтожно сравнительно съ внутреннимъ ($w_a = 0$).

Для 1 элемента сила тока

$$J_1 = \frac{E}{w_i + w_a} = \frac{E}{w_i + 0} = \frac{E}{w_i} \quad . \; . \; . \; . \; . \; (1)$$

a) n элементовъ параллельно:

Электродвижущая сила остается $= E$

внутреннее сопротивленіе (въ *n* разъ меньше) $= w_i/n$

внѣшнее сопротивленіе (ничтожно) $w_a = 0$

b) n элементовъ послѣдовательно:

Электродвижущая сила $= n \,.\, E$

внутреннее сопротивленіе (въ *n* разъ больше) $= n \,.\, w_i$

внѣшнее сопротивленіе (ничтожно) $w_a = 0$

Сила тока:

$$J_n = \frac{E}{\frac{w_i}{n} + w_a} = \frac{E}{\frac{w_i}{n} + 0} = \frac{E}{\frac{w_i}{n}}$$

или, по умноженіи числителя и знаменателя на n,

$$J_n = \frac{n \,.\, E}{w_i} = n \left(\frac{E}{w_i}\right) = n \,.\, J_1 \; . \; . \; (2a)$$

$$J_n = \frac{n \,.\, E}{n \,.\, w_i + w_a} = \frac{n \,.\, E}{n \,.\, w_i + 0} = \frac{n \,.\, E}{n \,.\, w_i}$$

или, по сокращеніи на n

$$J_n = \frac{E}{w_i} = J_1 \; . \; . \; (2b)$$

Т. е., въ случаѣ ничтожнаго внѣшняго сопротивленія, сила тока при параллельномъ соединеніи увеличивается пропорціонально числу элементовъ, а при послѣдовательномъ не измѣняется.

II. Внѣшнее сопротивленіе очень велико, такъ что внутреннимъ (даже при параллельномъ соединеніи) можно принебречь.

Для 1 элемента сила тока (при $w_i = 0$)

$$J'_1 = \frac{E}{w_i + w_a} = \frac{E}{0 + w_a} = \frac{E}{w_a} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

a) n элементовъ параллельно:

Электродвижущая сила $= E$

внутреннее сопротивленіе $= w_i/n$ (ничтожно сравнит. съ w_a)

внѣшнее сопротивленіе $= w_a$

b) n элементовъ послѣдовательно:

Электродвижущая сила $= n.E$

внутреннее сопротивленіе $= n.w_i$ (очень мало сравнит. съ w_a)

внѣшнее сопротивленіе $= w_a$

Сила тока:

$$J'_n = \frac{E}{\frac{w_i}{n} + w_a} = \frac{E}{0 + w_a} = \frac{E}{w_a} = J'_1 \qquad J'_n = \frac{n.E}{n.w_i + w_a} = \frac{n.E}{0 + w_a} = \frac{n.E}{w_a} = n.J'_1$$

Т. е., въ случаѣ очень большого внѣшняго сопротивленія (сравнительно съ внутреннимъ), сила тока при параллельномъ соединеніи элементовъ не измѣняется, при послѣдовательномъ же возрастаетъ пропорціонально числу элементовъ. [Эта пропорціональность при большомъ числѣ послѣдовательно соединенныхъ элементовъ, конечно, нарушится, ибо внутреннее сопротивленіе ($n.w_i$) можетъ, наконецъ, сдѣлаться настолько большимъ, что имъ нельзя будетъ принебречь сравнительно съ w_a].

Какъ видите, теоретическія слѣдствія изъ закона Ома вполнѣ согласуются съ нашими наблюденіями (стр. 71—75). То, что намъ тогда представлялось непонятнымъ, оказывается лишь слѣдствіемъ зависимости силы тока отъ общаго сопротивленія; между тѣмъ, мы вначалѣ принимали въ разсчетъ одно только внѣшнее (т. е. сопротивленіе провода). Пусть этотъ примѣръ еще разъ напомнитъ вамъ, какъ важно при установкѣ какого либо закона природы принимать во вниманіе всѣ обстоятельства, могущія имѣть вліяніе на данное явленіе.

* * *

Такъ какъ данное число гальваническихъ элементовъ можно соединять въ батарею различными способами (какъ показываетъ рис. 48 для 6 элементовъ), то является вопросъ: какъ должно соединить между собою данные элементы, чтобы получить въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ токъ наибольшей силы?

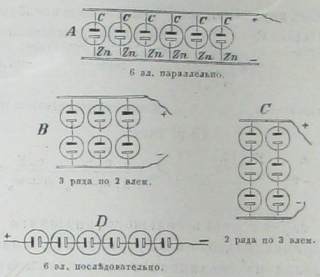


Рис. 48.
Различныя соединенія 6 гальваническихъ элементовъ.

При этомъ мы должны помнить, что электродвижущая сила зависитъ только отъ числа послѣдовательно соединенныхъ элементовъ или группъ (состоящихъ каждая изъ элементовъ, соединенныхъ параллельно), тогда какъ внутреннее сопротивленіе увеличивается съ числомъ послѣдовательно соединенныхъ элементовъ и уменьшается съ числомъ параллельно соединенныхъ; поэтому сила тока можетъ быть различна при разныхъ комбинаціяхъ.

Напримѣръ, для 6 элементовъ (см. рис. 48) возможны слѣдующія комбинаціи:

	Послѣдовательно.	Параллельно.	Электродвижущая сила.	Внутреннее сопротивленіе.
A	1	6	E	$^1/_6$ w_i
B	2	3	2 E	$^2/_3$ w_i
C	3	2	3 E	$^3/_2$ w_i
D	6	1	6 E	6 w_i

(w_i — сопротивленіе одного элемента).

Сила тока, доставляемая батереей при каждой изъ этихъ комбинацій, будетъ различна, смотря по величинѣ внѣшняго сопротивленія (w_a). Конечно, въ каждомъ данномъ случаѣ желательно выбрать ту комбинацію, при которой сила тока будетъ наибольшая. Теоретическія слѣдствія изъ закона Ома приводятъ къ слѣдующему правилу, подтверждаемому и опытомъ:

Выгоднѣйшее соединеніе элементовъ въ батарею.

Для полученія наибольшей силы тока при данномъ сопротивленіи провода (w_a) должно соединять гальваническіе элементы такъ, чтобы внутреннее сопротивленіе батереи было какъ можно ближе къ сопротивленію провода.

Отсюда, вы видите, какъ важно умѣть измѣрять сопротивленія. Отъ чего же зависитъ сопротивленіе проводника? Мы уже видѣли, что сопротивленіе жидкаго столба и проволоки возрастаетъ съ ихъ длиною, и само собою ясно, что для однообразнаго проводника сопротивленіе должно возрастать пропорціонально длинѣ. — Намъ остается еще изслѣдовать, какое вліяніе оказываетъ толщина или площадь поперечнаго сѣченія, а также природа того матеріала изъ котораго состоитъ проводъ.

Начнемъ съ болѣе удобныхъ опытовъ надъ столбомъ жидкости. Для этого мы можемъ взять ванночку съ двумя цинковыми пластинками, которою пользовались выше (рис. 43 стр.73) При разсматриваніи пластинокъ вы замѣчаете, что боковыя стороны и задняя плоскость ихъ покрыты лакомъ, и что на нихъ проведены по 4 параллельныхъ черты въ разстояніи 1, 2, 3, 4 сантиметровъ отъ нижняго края; эти черты служатъ мѣтками при погруженіи пластинокъ въ жидкость.

Я наливаю въ ванну столько раствора сѣрноцинковой соли ($ZnSO_4$), чтобы пластинки погрузились въ него до первой черты (*A* рис. 49). Одинъ изъ полюсовъ подъемнаго гальваническаго элемента (который снабженъ резиновой грушею для вдуванія воздуха, поддерживающаго постоянство тока, см. стр. 69) я соединяю съ гальванометромъ, другой—съ зажимнымъ винтомъ одной цинковой пластинки; вторая цинковая пластинка сообщается съ гальванометромъ. Для соединеній я беру короткія толстыя проволоки.

Обѣ пластинки я сперва устанавливаю на разстояніи 2 см. (оно указывается дѣленіями на бумажной шкалѣ). Отклоненіе стрѣлки гальванометра я отмѣчаю посредствомъ заостреннаго бумажнаго треугольника, который наклеиваю на стеклянную крышку буссоли (см. рис. 37) такъ, чтобы онъ приходился какъ разъ противъ алюминіеваго указателя отклоненной магнитной стрѣлки.—Прильемъ теперь столько жидкости, чтобы погруженная поверхность цинковыхъ пластинокъ удвоилась, и посмотримъ, какой длины долженъ быть столбъ жидкости,

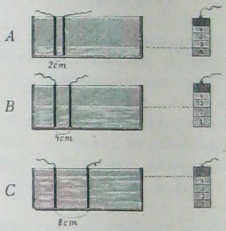


Рис. 49.

Зависимость сопротивленія отъ поперечнаго сѣченія проводника (1/10).

чтобы сопротивленіе осталось прежнимъ. Это мы узнаемъ по одинаковости отклоненія на гальванометрѣ.

Мы находимъ такимъ образомъ, что сопротивленіе столба жидкости одинаково

при поперечн. сѣченіи $q_1 = 1$ и длинѣ $l_1 = 2$ см (*A* рис. 49)
» » » $q_2 = 2$ » » $l_2 = 4$ см. $= 2l_1$ (*B* »)
» » » $q_3 = 4$ » » $l_3 = 8$ см. $= 4l_1$ (*C* »)

т. е. при одинаковомъ сопротивленіи длина проводника пропорціональна площади его поперечнаго сѣченія. Если же взять (жидкіе) проводники одинаковой длины, то сопротивленіе при двойномъ поперечномъ сѣченіи окажется вдое меньше, при четверномъ — вчетверо меньше сопротивленія проводника съ поперечнымъ сѣченіемъ=1. Другими словами, при данной длинѣ проводника, сопротивленіе стоитъ въ обратномъ отношеніи къ

площади его поперечнаго сѣченія. Такимъ образомъ, мы получаемъ правило (пока лишь для жидкостей):

Сопротивленіе проводника прямо пропорціонально его длинѣ и обратно пропорціонально площади поперечнаго сѣченія, или

$$w = l/q \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1).$$

Остается еще провѣрить, примѣнимо-ли это и къ металлическимъ проводникамъ (проволокамъ). Такъ какъ сопротивленія въ этомъ случаѣ гораздо меньше, то, если не брать очень длинныхъ проволокъ, сопротивленіе включенныхъ проволокъ составитъ лишь малую часть общаго сопротивленія, и удвоеніе перваго произведетъ лишь сравнительно малую разницу въ углѣ отклоненія. Поэтому надо придать магнитной стрѣлкѣ такое положеніе, при которомъ чувствительность гальванометра наибольшая; это именно бываетъ при углѣ отклоненія въ 45° (приб. 9).

Чтобы достичь такого отклоненія, нужно имѣть средство управлять силою тока; поэтому я оставляю въ цѣпи ванну съ раздвижными пластинками и провожу проволоки, какъ показываетъ рис. 50, къ двумъ углубленіямъ въ толстой доскѣ (B), наполненнымъ ртутью. Токъ замыкается потомъ помощью проволоки (m), подлежащей изслѣдованію. Оба конца ея могутъ быть, когда это нужно, удерживаемы двумя вращающимися стальными пружинками (f).

Для испытаній я беру мѣдную проволоку въ 102 см. длиною и загибаю концы ея подъ прямымъ угломъ на 1 см. отъ каждаго конца, такъ что разстояніе между точками изгиба будетъ равно 1 метру. Загнутые концы я погружаю въ чашечки со ртутью (рис. 50) и устанавливаю пластинки въ ваннѣ (D) такъ, чтобы отклоненіе было $= 45°$.

[Такъ какъ мы не измѣряемъ угловъ отклоненія, а лишь поддерживаемъ отклоненіе одинаковой величины, то здѣсь, какъ и въ предшествовавшихъ опытахъ, коммутатора не нужно; кромѣ того, можно пользоваться неградуированнымъ гальванометромъ].

Я беру теперь двойную проволоку (изъ того же матеріала и той же толщины) удвоенной длины: отклоненіе опять $= 45°$;

то же самое будетъ при четверной проволокѣ вчетверо большей длины. Но вмѣсто двойной проволоки я, конечно, могъ бы взять одну проволоку съ поперечнымъ сѣченіемъ вдвое бо̀льшимъ, а вмѣсто четверной—цѣльную проволоку, площадь поперечнаго сѣченія которой вчетверо больше, или діаметръ вдвое больше *) (двойной «толщины», какъ обыкновенно гово-

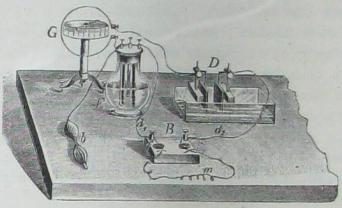


Рис. 50.
Сравненіе сопротивленія проволокъ (1/10).

рятъ).—Итакъ, наши опыты съ проволоками совершенно согласуются съ опытами надъ жидкими проводниками. Для всѣхъ однообразныхъ проводниковъ сопротивленіе пропорціонально длинѣ и обратно пропорціонально площади поперечнаго сѣченія.

Этотъ результатъ замѣчателенъ еще однимъ слѣдствіемъ, которое изъ него вытекаетъ. Именно, изъ него слѣдуетъ, что гальваническій токъ—выражаясь образно—проникаетъ собою все поперечное сѣченіе проводника, т. е. проходитъ по всей толщѣ его, а не идетъ лишь по внѣшней поверхности проволоки, какъ можно было бы заключить на основаніи явленій статическаго электричества, гдѣ весь электрическій зарядъ изолированнаго проводника находится на его внѣшней поверхности.

---

*) Если діаметръ проволоки (ея толщина) $= d$, то ея радіусъ $r = d/2$, а площадь поперечнаго сѣченія (кругового) $Q = \pi r^2 = \pi d^2/4$. Если напр. проволока имѣетъ толщину $d = 1$ мм., то площадь поперечнаго сѣченія $Q = \pi/4$ кв. мм.; при $d_1 = 2$ мм., $Q_1 = 2^2 . \pi/4 = \pi$ кв. мм.; т. е. площадь поперечнаго сѣченія при двойномъ діаметрѣ вчетверо больше.

Сравнимъ теперь проволоки изъ различныхъ металловъ. Чрезъ одно и то же отверстіе цієйзена (стальная пластинка, имѣющая отверстія—съ острыми краями—точно опредѣленныхъ діаметровъ) я протягиваю нѣсколько проволокъ: изъ мѣди, серебра, нейзильбера и желѣза; такимъ образомъ я получаю проволоки одинаковаго поперечнаго сѣченія. Взявъ проволоки одной и той же длины (по 1 метру), я включаю сперва серебряную (*m*, рис. 50) и устанавливаю отклоненіе въ 45°. Если я замѣню серебряную проволоку мѣдною, то отклоненіе немного уменьшится; оно станетъ еще меньше при включеніи желѣзной проволоки и всего меньше при нейзильберной. Слѣдовательно, эти проволоки, при одинаковой длинѣ и толщинѣ, оказываютъ различное сопротивленіе прохожденію электрическаго тока. Чтобы имѣть такое же сопротивленіе, какъ серебряная проволока въ 100 см. длиною, мѣдная проволока должна бы быть длиною въ 93,4 см., желѣзная 15,2 см., а нейзильберная всего лишь 7,0 см. Въ этихъ числахъ сказывается различная удѣльная проводимость металловъ, которая обратно пропорціональна ихъ удѣльному сопротивленію. Если это удѣльное сопротивленіе обозначимъ *s*, длину проволоки *l*, а площадь ея поперечнаго сѣченія *q*, то сопротивленіе проволоки выразится слѣдующей формулою:

Удѣльное сопротивленіе.

$$W = s \cdot \frac{l}{q}.$$

Практическою единицею сопротивленія служитъ сопротивленіе ртутнаго столба, поперечное сѣченіе котораго 1 кв. миллиметръ, а длина 106 см. (при 0° С.); эта единица названа *омомъ*, въ честь нѣмецкаго ученаго Ома (106 см.—длина т. наз. легальнаго или узаконеннаго ома; послѣдующія опредѣленія показали, что эта длина ближе къ 106,3 см.) *).

*) Изъ одинаковой проволоки изготовляются сопротивленія, отвѣчающія 1, 2, 5, 10, 20 . . . омамъ, и располагаются въ ящикѣ («ящикъ сопротивленій», «магазинъ сопротивленій») такимъ образомъ, чтобы удобно было вводить въ цѣпь любое сопротивленіе (путемъ суммированія). Такой магазинъ сопротивленій можетъ быть употребляемъ при гальванометрѣ подобнымъ-же образомъ, какъ наборъ разновѣсокъ при вѣсахъ.

Теперь мы можемъ дать опредѣленіе практической единицы силы тока, называемой *амперомъ*:

Единица силы тока, амперъ.

Токъ силою въ 1 амперъ есть тотъ токъ, который получается при общемъ сопротивленіи цѣпи въ 1 омъ и электродвижущей силѣ въ 1 вольтъ.

Этимъ теоретическимъ опредѣленіемъ мы пока ограничимся. Выражать силу тока въ амперахъ съ помощью нашего гальванометра мы еще не можемъ, ибо его шкала основывается на произвольной единицѣ силы тока.

Слѣдующая таблица показываетъ сопротивленіе и проводимость важнѣйшихъ металловъ и нѣсколькихъ жидкостей (Pfaundler, Lehrb. d. Physik, III. S. 421):

Сопротивленіе при 1 м. длины и неперечн. сѣченіи въ 1 кв. мм.		Проводимость или длина 1 ома при поперечномъ сѣченіи въ 1 кв. мм.
Матерьялъ.	Омы.	Метры.
Ртуть при 0°	0,944	1,06
Висмутъ	1,26	0.8
Сурьма	0,34	2,9
Нейзильберъ	0,20	5,0
Свинецъ	0,188	5,3
Олово	0,127	7,9
Желѣзо	0,093	10,8
Платина	0,087	11,5
Цинкъ	0,054	18,5
Латунь	0,048	20,9
Золото	0,019	52,6
Мѣдь	0,015	66,7
Серебро	0,014	71,4
Ретортный уголь	38—113	0,025—0,008
Сѣрная кислота 30,4%	14653	0,00006914
Сѣрноцинковая соль 23,7%	208850	0,00000452

Проводящая способность и сопротивленіе, какъ мы уже видѣли, находятся въ обратномъ отношеніи другъ къ другу. Обозначивъ первую λ, а второе ω, получимъ

$$\lambda = 1/\omega \text{ или } \omega = 1/\lambda;$$

напр. для ртути $0{,}944 = 1/1{,}06$.

Проводимость металлическихъ сплавовъ.

Любопытно, что лишь немногіе металлы (свинецъ, олово, кадмій, цинкъ) показываютъ въ своихъ сплавахъ такую проводимость, которая можетъ быть вычислена изъ процентнаго

содержанія металловъ въ данномъ сплавѣ. Сплавы всѣхъ прочихъ металловъ, какъ между собою, такъ и съ вышеназванными, обладаютъ гораздо меньшею проводимостью, напр.

			Проводимость.	
			наблюд.	вычислен.
100 серебра въ сплавѣ съ	0 объемн. проц. олова		100	100
98 » » » »	2 » » »		23,0	98,2
10 » » » »	90 » » »		11,5	20,1
0 » » » »	100 » » »		11,4	11,4

Можетъ даже случиться (какъ напр. для нѣкоторыхъ сплавовъ серебра съ золотомъ), что проводимость сплава гораздо меньше проводимости каждаго изъ составляющихъ его металловъ. Это имѣетъ важное примѣненіе въ техникѣ, такъ какъ даетъ возможность изготовлять изъ подобныхъ сплавовъ нормальныя сопротивленія, служащія для измѣреній, ограничиваясь сравнительно короткими проволоками. Кромѣ того, нѣкоторые изъ этихъ сплавовъ, напр. манганинъ, обладаютъ тѣмъ важнымъ свойствомъ, что сопротивленіе ихъ гораздо менѣе измѣняется при колебаніяхъ температуры, нежели сопротивленіе чистыхъ металловъ.

* * *

Чтобы закончить наше знакомство съ гальваническими элементами, мы должны еще отвѣтить на вопросъ, какъ опредѣляется внутреннее сопротивленіе элемента или батареи.

По закону Ома, сила тока

$$J = E/(w_i + w_a);$$

притомъ наиболѣе благопріятное соединеніе элементовъ батареи то, при которомъ $w_i = w_a$, т. е. $w_i + w_a = 2\ w_i$; тогда напр. для 1 элемента имѣемъ

$$J' = \frac{E}{2\,w_i} = \frac{1}{2} \cdot \frac{E}{w_i}.$$

Но (стр. 84) E/w_i есть сила тока для того случая, когда внѣшнее сопротивленіе $= 0$. Это и даетъ намъ требуемое указаніе.

Мы наблюдаемъ сперва отклоненіе по (градуированной) шкалѣ гальванометра при ничтожно маломъ внѣшнемъ

сопротивленіи, т. е. когда элементъ соединенъ короткими толстыми проволоками съ толстымъ мѣднымъ кольцомъ гальванометра. Затѣмъ мы вводимъ въ цѣпь извѣстныя намъ по величинѣ сопротивленія до тѣхъ поръ, пока отклоненіе (по градуированной шкалѣ) не сдѣлается ровно вдвое меньше. Тогда общее сопротивленіе удвоилось; слѣдовательно, искомое внутреннее сопротивленіе равно тому, какое намъ пришлось включить въ цѣпь *).

Интересенъ еще вопросъ: какъ распредѣлится токъ, если развѣтвить проводъ на нѣсколько частей, которыя потомъ снова соединяются (рис. 51)?

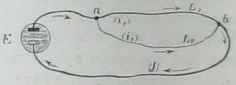


Рис. 51.
Сила тока въ развѣтвленіяхъ (L_1 и L_2).

Вы помните, что при постоянномъ токѣ чрезъ каждое поперечное сѣченіе цѣпи въ одинаковое время проходитъ одинаковое количество электричества.

Представимъ себѣ обѣ вѣтви L_1 и L_2 соединенными въ одинъ проводъ: чрезъ его поперечное сѣченіе будетъ въ каждую секунду проходить то же количество электричества, какъ и чрезъ всякое другое; слѣдовательно, сумма силъ тока (i_1 и i_2) въ обѣихъ вѣтвяхъ будетъ равняться общей силѣ тока (J) въ цѣпи: $i_1+i_2=J$. Въ конечныхъ точкахъ *a* и *b* имѣется опредѣленная разность электрическихъ потенціаловъ (v_a-v_b), т. е. въ обѣихъ вѣтвяхъ электродвижущая сила (E) одинакова. Въ такомъ случаѣ, по закону Ома, сила тока въ каждой вѣтви зависитъ только отъ сопротивленія, и мы имѣемъ

$$i_1 = k.\,(v_a-v_b)/w_1 = E/w_1$$
$$i_2 = k.\,(v_a-v_b)/w_2 = E/w_2$$

*) Въ случаѣ тангенсъ-буссоли (см. слѣдующее чтеніе) можно вычислить отклоненіе (въ градусахъ), которое отвѣчаетъ половинной силѣ тока, и потомъ уже опредѣлить сопротивленіе.

т. е.

$$i_1 : i_2 = 1/w_1 : 1/w_2 \text{ (или } i_1 : i_2 = w_2 : w_1).$$

То же самое относится и къ любому числу развѣтвленій (Омъ, Кирхгофъ).

Важное приложеніе этого мы имѣемъ въ томъ случаѣ, когда требуется измѣрять токи большой силы, для которыхъ имѣющійся въ распоряженіи гальванометръ слишкомъ чувствителенъ. Если взять сопротивленіе обѣихъ вѣтвей напр. въ отношеніи 99 : 1, то токъ раздѣлится такимъ образомъ, что сила его въ вѣтви съ бо́льшимъ сопротивленіемъ будетъ въ 99 разъ меньше, нежели въ другой, т. е. составитъ $^1/_{100}$ силы тока въ главномъ проводѣ. Измѣряя силу тока i въ вѣтви съ бо́льшимъ сопротивленіемъ, найдемъ требуемую общую силу тока $J = 100 . i$.

Этимъ мы заканчиваемъ нашу сегодняшнюю длинную бесѣду. Въ слѣдующій разъ мы познакомимся съ новыми динамическими дѣйствіями и техническими примѣненіями гальваническаго тока.

Чтеніе V.

Тепловое дѣйствіе гальваническаго тока; калильныя лампы; электролизъ воды; гремучегазовый и водородный вольтаметры; мѣдный вольтаметръ; вольтъ, омъ и амперъ, единицы электродвижущей силы, сопротивленія и силы тока; электрохимическіе эквиваленты; градуированіе электрометра въ вольтахъ; сравненіе градуированной шкалы гальванометра съ градусною; тангенсъ-буссоль; переводный множитель буссоли.—Гальванопластика и гальванотипія; телеграфъ (Лесажъ, Зёммерингъ, Шиллингъ, Гауссъ и Веберъ, Штейнгейль, Витстонъ, Морзъ); поляризаціонные токи; вторичные элементы; аккумуляторы; термоэлектрическіе токи.

Въ прошедшій разъ мы приняли отклоняющее дѣйствіе гальваническаго тока на магнитную стрѣлку за предварительную мѣру силы тока и, перейдя, путемъ градуированія гальваноскопа, къ гальванометру, нашли слѣдующее:

Взглядъ на пройденное.

1. Гальванометрическое дѣйствіе тока тѣмъ слабѣе, чѣмъ проводъ (во всѣхъ отношеніяхъ одинаковый) длиннѣе и чѣмъ меньше его поперечное сѣченіе. Причину ослабленія энергіи тока въ проводѣ мы называемъ его сопротивленіемъ. Сопротивленіе однороднаго проводника прямо пропорціонально длинѣ и обратно пропорціонально площади поперечнаго сѣченія. Сопротивленіе (w) и проводимость (l) находятся въ обратномъ отношеніи другъ къ другу ($w=1/l$). Практической единицею сопротивленія служитъ омъ, т. е. сопротивленіе ртутнаго столба съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 кв. мм. и длиною въ 106 см. при 0° С.
2. *Сила тока* (J) находятся въ зависимости отъ прочихъ величинъ. Она прямо пропорціональна электродвижущей силѣ элементовъ (E) и обратно про-

порціональна полному сопротивленію (W), т. е. суммѣ внутренняго сопротивленія (w_i) самихъ элементовъ и внѣшняго въ проводѣ (w_a). Слѣдовательно, сила тока

$$J = E/W = E/(w_i + w_a).$$

Изъ этого закона Ома слѣдуетъ, что сила тока увеличивается: въ случаѣ ничтожнаго внѣшняго сопротивленія — при параллельномъ соединеніи элементовъ, а въ случаѣ очень большого внѣшняго сопротивленія — при послѣдовательномъ соединеніи. Благопріятнѣйшее соединеніе элементовъ въ батарею то, при которомъ внутреннее сопротивленіе, по возможности, равно внѣшнему.

3. Если проводъ между двумя точками развѣтвляется, то силы тока въ вѣтвяхъ обратно пропорціональны сопротивленіямъ вѣтвей ($i_1 : i_2, \ldots = 1/w_1 : 1/w_2, \ldots$). Основываясь на этомъ законѣ Кирхгофа, можно измѣрять самые сильные токи, выбирая сопротивленія двухъ развѣтвленій такъ, чтобы чрезъ вѣтвь, въ которой сила тока измѣряется, проходила точно опредѣленная часть полнаго тока.

* * *

Въ послѣдній разъ мы хорошо видѣли, отъ какихъ обстоятельствъ зависитъ сила тока (т. е. пока еще только гальванометрическое дѣйствіе), но наши опыты съ гальванометромъ не дали намъ основы для опредѣленія той силы тока, которую мы могли бы принять за единицу. (При градуированіи гальванометра мы произвольно приняли за 1 силу нѣкотораго постояннаго тока). Выраженіе «количество электричества, протекающее въ секунду» чрезъ поперечное сѣченіе провода, заимствовано изъ аналогіи съ водянымъ токомъ и есть только образное выраженіе. Мы не имѣемъ особаго органа чувства для ощущенія электричества и поэтому не можемъ непосредственно измѣрять его «количества». — Но надо думать, что электрическій токъ, отклоняющій магнитную стрѣлку изъ ея положенія покоя и сообщающій желѣзу электромагнита огромныя притягательныя силы, можетъ производить еще и

другого рода дѣйствія. Быть можетъ, мы найдемъ въ нихъ то, что намъ нужно: практическую мѣру силы тока.

I. Вотъ три большихъ элемента Бунзена съ хромовой кислотою (см. *B* рис. 14), которые я соединяю въ батарею послѣдовательно. Къ одному изъ свободныхъ полюсовъ я присоединяю тонкую латунную полоску (изъ тѣхъ, которыя употребляются для украшенія рождественской елки) и предлагаю кому нибудь изъ васъ приложить другой конецъ ея къ полюсу послѣдняго элемента. Сдѣлавъ попытку, вы тотчасъ же бросаете металлическую полоску: она сильно нагрѣлась и жжетъ руку.

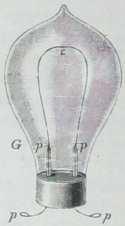


Рис. 52.
Электрическая калильная лампа. (Естеств. вел.).

Я вставляю теперь между полюсами батареи нейзильберную проволоку, къ которой приклеено много восковыхъ шариковъ въ близкомъ другъ къ другу разстояніи. Вы видите, что шарики начинаютъ скользить по проволокѣ, помѣщенной немного наклонно, и скоро отпадаютъ, такъ какъ воскъ плавится. Мы видимъ отсюда, что и болѣе толстыя проволоки нагрѣваются токомъ, хотя и слабѣе, чѣмъ тонкая металлическая нить, представляющая току гораздо большее сопротивленіе. Это тепловое дѣйствіе тока примѣняется въ техникѣ м. пр. для воспламененія минъ при взрываніи скалъ и пр.

Вотъ электрическая лампочка (рис. 52), состоящая изъ грушевиднаго сосуда, изъ котораго удаленъ почти весь воздухъ, и тонкой угольной нити (*c*), которая придѣлана къ двумъ впаяннымъ въ дно платиновымъ проволокамъ (*p*). Если я дамъ току отъ тѣхъ же трехъ элементовъ проходить по угольной нити, присоединивъ полюсныя проволоки къ выставляющимся платиновымъ ушкамъ лампочки, то угольная нить накаливается и испускаетъ яркій золотисто-желтый свѣтъ. Вы, конечно, уже видѣли эти электрическія калильныя лампочки въ окнахъ магазиновъ или даже въ частныхъ квартирахъ; но обычный источникъ тока здѣсь иной—мы познакомимся съ нимъ ниже (приб. 8).

Дѣйствіемъ электрическаго тока проводникъ нагрѣвается — тѣмъ сильнѣе, чѣмъ меньше его проводимость, или чѣмъ больше сопротивленіе. Вы теперь, конечно, догадываетесь, куда дѣвается энергія тока при ослабленіи его включенными въ цѣпь сопротивленіями. Электрическая энергія превращается въ тепловую. Можно было бы попытаться опредѣлить количество теплоты, производимое токомъ, и принять его за мѣру силы тока; однако очень тщательные и трудные опыты (Ленца и Джоуля) показали, что количество теплоты, возбуждаемое токомъ въ проводникѣ, хотя и прямо пропорціонально сопротивленію, не стоитъ въ столь же прямомъ отношеніи къ силѣ тока, а именно пропорціонально квадрату силы тока (законъ Джоуля); поэтому оно для нашей цѣли не достаточно удобно.

II. Познакомимся съ химическимъ дѣйствіемъ гальваническаго тока, именно съ такъ называемымъ разложеніемъ или электролизомъ воды.

Вы видите (*A* рис. 53) закрытую вверху стеклянную трубку, раздѣленную на кубич. сантиметры и ихъ пятыя части. Отверстіе ея закупорено резиновой пробкою, въ которую плотно вставлены двѣ стеклянныхъ трубочки. Средняя трубочка (*r*) съ обоихъ концовъ открыта, а въ двѣ другія впаяны платиновыя проволоки, оканчивающіяся платиновыми пластинками (*p*), «электродами». Снаружи платиновыя проволоки снабжены зажимными винтиками для присоединенія проводовъ отъ гальванической батареи.

Я беру трубку изъ зажима *f*, вынимаю пробку и наполняю трубку очень разведенной сѣрной кислотою. Вложивъ пробку, я ставлю трубку на прежнее мѣсто.—Если я затѣмъ сообщу платиновыя проволоки аппарата съ полюсами батареи изъ 3 бунзеновскихъ элементовъ, соединенныхъ послѣдовательно, то вы замѣтите въ трубкѣ сильное газоотдѣленіе; въ то же время изъ средней трубочки вытекаетъ вытѣсняемая газомъ жидкость. Въ нѣсколько минутъ набирается нѣкоторое число кубическихъ сантиметровъ газа. — Процессы, происходящіе при этомъ въ жидкости, довольно сложны; но окончательный результатъ ихъ таковъ, какъ будто бы сѣрная кислота оставалась безъ измѣ-

ненія и лишь вода разложилась на составныя части.—Послѣднее именно сперва и принимали, давъ отсюда явленію неправильное названіе «разложенія воды токомъ».—Газовые пузыри, подымающіеся въ трубкѣ (*A* рис. 53), представляютъ смѣсь водорода съ кислородомъ, которая при зажиганіи (напр. разрядной искрой лейденской банки) сильно взрываетъ, причемъ газы снова соединяются въ воду (водяной паръ); смѣсь эта называется гремучимъ газомъ. Самый аппаратъ называется гремучегазовымъ вольтаметромъ.

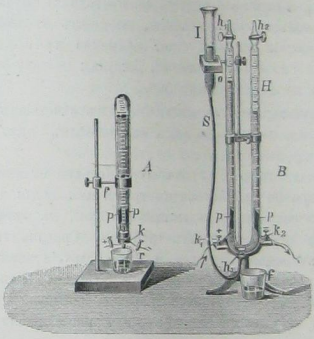


Рис. 53.

Электролизъ воды. (1/10). *A* — гремучегазовый вольтаметръ, упрощ.; *B* — водородный вольтаметръ, по Гофману, измѣнен.

Чтобы получить оба газа отдѣльно, я беру другой приборъ (*B* рис. 53). Высокая U-образная трубка раздѣлена съ обѣихъ сторонъ на куб. сантиметры и ихъ десятыя части и снабжена тремя кранами (h_1, h_2 h_3). Для наполненія служитъ стеклянная трубка (*I*), расширенная кверху въ видѣ воронки и оттянутая снизу въ тонкій конецъ; она укрѣплена въ держателѣ (или въ кускѣ пробки), который можетъ переставляться выше и ниже. Трубка *I* сообщается резиновой кишкою съ краномъ h_3. Платиновыя проволоки (*p*), оканчивающіяся платиновыми

электродами, впаяны близь изгиба трубки сбоку и сообщаются съ изолированными зажимными винтами (k_1 и k_2).—Я наполняю воронку разведенной сѣрной кислотою и открываю всѣ три крана, пока обѣ вѣтви трубки не наполнятся, послѣ чего я закрываю верхніе краны (h_1 h_2). Вскорѣ послѣ пропусканія тока вы замѣчаете въ обѣихъ половинахъ трубки подымающіеся въ жидкости газовые пузырьки, которыхъ однако у положительнаго электрода (или анода) меньше, чѣмъ у отрицательнаго (или катода).

Теперь, когда жидкость въ обѣихъ вѣтвяхъ трубки насытилась выдѣляющимися газами, я добавляю въ воронку еще жидкости, открываю осторожно верхніе краны, чтобы трубки снова наполнились и, снова закрывъ ихъ, пропускаю токъ Чрезъ нѣсколько минутъ, когда у отрицательнаго электрода (катода) соберется ровно 20 куб. см. газа, я прерываю токъ. У анода мы получили всего 10 куб. сантиметровъ, т. е. вдвое меньшій объемъ газа. Газъ, котораго выдѣлилось больше, оказывается при испытаніи водородомъ, а другой — кислородомъ. Вода состоитъ, по объему, изъ 1 части кислорода и 2 ч. водорода.

Количество гремучаго газа (первый опытъ) или количество водорода (второй), которое выдѣляется въ теченіе опредѣленнаго промежутка времени, напр. въ 1 минуту, можетъ служить мѣрою силы тока и дѣйствительно часто примѣняется для настоящей цѣли. (Единица силы тока Якоби даетъ 1 куб. см. гремучаго газа въ минуту). Этотъ пріемъ однако менѣе удобенъ, чѣмъ описанный нѣсколько ниже. Чтобы результаты были сравнимы, газы должны быть совершенно сухи и измѣрены при 0° и барометрическомъ давленіи въ 760 мм., или же объемъ ихъ долженъ быть приведенъ вычисленіемъ къ этимъ «нормальнымъ условіямъ».

Эти аппараты, какъ и нижеслѣдующіе, должны бы называться химическими измѣрителями тока. Обычное названіе ихъ, «вольтаметры», очень неудачно, такъ какъ Вольта не имѣлъ никакого отношенія къ ихъ изобрѣтенію. Кромѣ того, весьма легко спутать ихъ съ «вольтметрами», т. е. съ аппаратами для измѣренія въ вольтахъ электродвижущей силы.

Мѣдный вольтаметръ.

III. Замѣнимъ аппаратъ для электролиза воды сосудомъ *A* (рис. 54) съ насыщеннымъ растворомъ мѣднаго купороса, въ который погружены двѣ вычищенныхъ мѣдныхъ пластинки. Въ цѣпь включены еще коммутаторъ *(C)* и гальванометръ *(D)*, какъ показываетъ рисунокъ.

Аппаратъ *(A)* называется мѣднымъ вольтаметромъ.

Описанное расположеніе частей позволяетъ намъ обращать направленіе тока въ гальванометрѣ, причемъ оно однако не измѣняется въ вольтаметрѣ. Сближая пластинки вольтаметра, я могу уменьшать его сопротивленіе, т. е. усиливать токъ, пока стрѣлка гальванометра не покажетъ на 45° (приблизительно 8 единицъ градуированной шкалы): тогда чув-

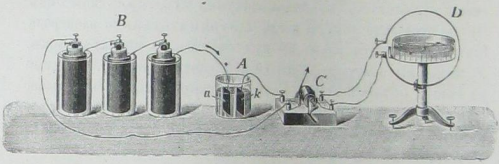


Рис. 54.

Мѣдный вольтаметръ *(A)* и гальванометръ *(D)*, соединенные посредствомъ коммутатора *(C)* съ батареей *(B)* такъ, чтобы направленіе тока измѣнялось только въ гальванометрѣ (1/10).

ствительность гальванометра наибольшая. Спустя нѣсколько минутъ, я вынимаю мѣдныя пластинки, ополаскиваю ихъ и высушиваю пропускной бумагою и надъ пламенемъ спиртовой лампочки. Разсмотрите пластинки ближе,—причемъ отрицательную, отличающуюся матовымъ мѣднымъ цвѣтомъ, я прошу брать лишь за припаянную къ ней покрытую сургучемъ мѣдную проволоку. Вы замѣтите, что катодная пластинка покрылась свѣжею мѣдной пленкой, а анодная какъ бы разъѣдена кислотою.—Съ той пластинки, чрезъ которую входилъ токъ, мѣдь перешла въ жидкость и осѣла на другой пластинкѣ; мѣдный же растворъ кажущимся образомъ не измѣнился. [Металлъ идетъ вмѣстѣ съ токомъ].

Опредѣлимъ теперь прибыль вѣса катодной (отрицательной) пластинки. На томъ столѣ съ боку находятся чувствительные

вѣсы. Я кладу пластинку на чашку вѣсовъ и уравновѣшиваю ее дробью и пескомъ. Помѣстивъ пластинки снова въ вольтаметръ, я устанавливаю ихъ на такомъ разстояніи, чтобы отклоненіе на гальванометрѣ составляло 7,5 единицъ градуированной шкалы (44,6°). Послѣ обращенія тока мы имѣемъ 7,6; слѣдовательно, въ среднемъ 7,55. Будемъ пропускать токъ въ теченіе 5 минутъ, отмѣчая каждую минуту показаніе гальванометра.

	I направленіе тока.	II направленіе тока.	Среднее.
Въ началѣ	7,5	7,6	7,55
черезъ 1 мин. . . .	7,4	7,58	7,49
» 2 »	7,45	7,5	7,48
» 3 »	7,4	7,5	7,45
» 4 »	7,4	7,5	7 45
» 5 »	7,35	7,45	7,40
		Среднее	7,47

Катодная пластинка, будучи снова ополоснута и высушена какъ прежде, вѣситъ теперь на 0,565 гр. или 565 мгр. больше, чѣмъ въ началѣ. Столько мѣди осѣло въ 5 мин. Слѣдовательно, количество мѣди, выдѣлившееся въ 1 минуту, = 0,113 гр. или 113 мгр., а въ секунду 113/60 = 1,88 миллигр.

Еще гораздо замѣтнѣе увеличилась бы въ вѣсѣ катодная пластинка, еслибы мы взяли двѣ серебряныя пластинки погруженныя въ растворъ азотносеребряной соли (ляписа). Поэтому для точныхъ измѣреній силы тока употребляется серебряный вольтаметръ Поггендорфа.

Какъ мы уже знаемъ, сила тока зависитъ отъ электродвижущей силы и общаго сопротивленія: $J = E/W$. Изъ этихъ трехъ величинъ мы можемъ двѣ какихъ либо выразить въ произвольныхъ единицахъ: тогда опредѣлится и третья. Примемъ напр. за единицу для E электродвижущую силу элемента Даніеля. а для W—сопротивленіе ртутнаго столбика съ поперечнымъ сѣченіемъ въ 1 кв. мм. и длиною въ 106 см. (омъ). Тогда, зная сопротивленіе цѣпи и электродвижущую силу батареи (напр. измѣренную на электрометрѣ), мы для каждаго отдѣльнаго случая могли бы вычислить силу тока (въ нѣкоторыхъ единицахъ, обусловленныхъ нашимъ выборомъ еди-

ницъ для E и W). Такъ какъ однако измѣреніе сопротивленій хлопотливо и требуетъ особыхъ приспособленій, то часто желательно имѣть способъ непосредственнаго измѣренія силы тока батареи, въ цѣпь которой включенъ данный проводъ. Отклоненіе магнитной стрѣлки, или, какъ мы его называли, «гальванометрическое дѣйствіе» тока, было бы очень удобно; но оно даетъ намъ пока лишь произвольную мѣру, такъ что результаты измѣреній помощью разныхъ гальванометровъ не сравнимы между собою. Мы должны поэтому найти средства сдѣлать результаты сравнимыми.

Мы уже знаемъ, что практическая единица электродвижущей силы (или разности потенціаловъ на свободныхъ полюсахъ батареи) называется «вольтомъ»; но въ статическомъ электричествѣ мы не имѣли никакого электрическаго источника, который обладалъ бы постояннымъ, непрерывно возстановляющимся электрическимъ уровнемъ. Такимъ источникомъ могутъ служить постоянные гальваническіе элементы, особенно (для нашей цѣли) элементъ Даніеля. Мы могли бы прямо принять электродвижущую силу элемента Даніеля за практическую единицу эл.-дв. силы, и лишь нѣкоторыя теоретическія соображенія заставили выбрать единицу нѣсколько меньшую. Именно, 1 эл. Даніеля=1,07 вольта, или

1 вольтъ=1/1,07=0,934 нормальнаго эл. Даніеля.

Нашъ алюминіевый электрометръ при градуированіи съ помощью нормальнаго конденсатора давалъ отъ 1 эл. Даніеля отклоненіе въ $a_1=15^0$, откуда отклоненіе для 1 вольта выходитъ $a_1=15^0/1,07=14,02^0$, или, круглымъ счетомъ, 14^0. Это отклоненіе и положено было въ основаніе градуировки (ч. I, стр. 64), такъ что наша градуированная шкала, проектируемая на экранѣ, есть вмѣстѣ съ тѣмъ шкала вольтъ (при употребленіи нормальнаго конденсатора). Такимъ образомъ, найденныя нами прежде (стр. 37) отклоненія для различныхъ элементовъ отвѣчаютъ (приблизительно) электродвижущей силѣ въ вольтахъ.

Вольтъ, какъ практическая единица электродвижущей силы.

Единица силы тока.

За *единицу силы тока* мы можемъ принять такой токъ, который производится постояннымъ элементомъ съ электродвижущею силой въ 1 вольтъ при общемъ со-

противленіи цѣпи въ 1 омъ. Эта единица въ честь извѣстнаго французскаго ученаго названа *амперомъ*.

Путемъ опытовъ, которыхъ я не могу здѣсь касаться, найдено, что токъ силою въ 1 амперъ выдѣляетъ въ минуту 67,08 миллиграммовъ серебра или 19,68 мгр. мѣди или 10,44 куб. сантим. гремучаго газа. Слѣдовательно,

Токъ въ 1 амперъ даетъ въ 1 секунду:

Серебра	Мѣди	Гремучаго газа, т. е разлагаетъ воды
1,118 мгр.	0,328 мгр.	0,174 кб. см. 0,0933 мгр.

Электрохимическіе эквиваленты.

Числа для серебра и мѣди называются электрохимическими эквивалентами этихъ металловъ; мы скоро увидимъ, какъ съ ихъ помощью находится сила тока въ каждомъ данномъ случаѣ.

Итакъ, мы нашли для нашихъ основныхъ величинъ соотвѣтствующія (практическія) единицы. Назовемъ еще *кулономъ* то количество электричества, которое проходитъ чрезъ поперечное сѣченіе провода въ 1 секунду при силѣ тока въ 1 амперъ; тогда мы скажемъ, что сила тока=числу кулоновъ въ секунду.

Единица электродвижущей силы есть *вольтъ* (около 0,9 эл. Даніеля)
— сопротивленія — *омъ*
— силы тока — *амперъ*.

Мы знаемъ (ч. I, стр. 125), что кулонъ=3000 милліонамъ электростатическихъ единицъ количества электричества. Чтобы составить себѣ нѣкоторое понятіе объ этомъ огромномъ электрическомъ зарядѣ, представимъ себѣ два кулона одноименнаго электричества на разстояніи километра другъ отъ друга: въ такомъ случаѣ отталкивательная сила между ними равнялась бы вѣсу 900 килограммовъ!

Токъ отъ нашей батареи въ послѣднемъ опытѣ выдѣлилъ въ 5 минутъ, или 300 секундъ, 565 мгр. мѣди, т. е. въ секунду 1,88 мгр. Потому сила тока (въ среднемъ) составляла 1,88/0,328=5,7 ампера, т. е. чрезъ поперечное сѣченіе провода проходило въ секунду 5,7 кулоновъ электричества.

Теперь вы можете видѣть, какимъ обильнымъ источникомъ электричества является незначительный съ виду гальваническій

элементъ, и васъ не будетъ удивлять огромная подъемная сила электромагнитовъ.

Я напоминаю еще разъ, что—даже при употребленіи «постоянныхъ» элементовъ—сила тока не бываетъ и не можетъ быть вполнѣ постоянною (какъ электродвижущая сила), потому что всякое измѣненіе въ проводящей цѣпи влечетъ за собою измѣненіе сопротивленія, т. е. и силы тока.

* * *

Обратимся снова къ гальванометру. При прохожденіи чрезъ него тока въ 5,7 амперовъ гальванометръ, въ среднемъ, показывалъ 7,47 единицъ градуированной шкалы; слѣдовательно, единица градуированной шкалы соотвѣтствуетъ 5,7/7,47=0,763 ампера. Это число мы могли бы принять за постоянную градуированной шкалы и пользоваться ею для перевода показаній гальванометра на амперы.

Постоянная градуированной шкалы.

Нашъ гальванометръ устроенъ такъ, что буссоль вмѣстѣ съ мѣднымъ кольцомъ можетъ поворачиваться въ горизонтальной плоскости, причемъ съ помощью визира (см. рис. 37) легко отсчитывается уголъ поворота; кромѣ того, самое кольцо можетъ быть болѣе или менѣе наклонено, чтобъ уменьшить углы отклоненія, не измѣняя сопротивленія. Все это очень облегчаетъ градуировку. Такъ какъ не всѣ гальванометры имѣютъ такое устройство, то интересно узнать: въ какомъ отношеніи находятся углы отклоненія (въ градусахъ) къ силѣ тока?

Начертимъ на классной доскѣ четверть окружности (рис. 55) съ градусами отъ 0 до 90 и нанесемъ на нее дѣленія шкалы, найденныя при градуировкѣ (стр. 68). Потомъ начертимъ прямую AB перпендикулярно радіусу r, проходящему чрезъ нулевую точку, и проведемъ изъ центра M прямыя чрезъ нанесенныя точки дѣленія до встрѣчи съ прямой AB. Точки пересѣченія съ послѣднею обозначимъ цифрами 1, 2, 3...

Вы сразу замѣтите, что на прямой AB получились (почти точно) равные отрѣзки; слѣдовательно, отрѣзки прямой AB (считая отъ начала A) пропорціональны дѣленіямъ градуированной шкалы, т. е. силѣ тока. Нѣкоторому наблюденному въ градусахъ отклоненію α^0 соотвѣтствуетъ на пря-

мой AB отрѣзокъ t. Припомнимъ, что частное t/r есть такъ называемый тангенсъ угла α (t/r=tanga).

Если токъ силы J производитъ отклоненіе въ α^0, то соотвѣтственный отрѣзокъ t на прямой AB пропорціоналенъ силѣ тока: то же можно сказать о частномъ t/r (такъ какъ радіусъ r сохраняетъ одну и ту же величину). Слѣдовательно, тангенсъ угла α^0 (tanga=t/r) будетъ мѣрою силы тока:

Переводный множитель тангенсъ-буссоли.

$$\text{Сила тока } J = k.\ \text{tang}\ \alpha,$$

гдѣ k—постоянный множитель, зависящій, между прочимъ, отъ размѣровъ аппарата и называемый переводнымъ множителемъ гальванометра *). Самый приборъ можно поэтому назвать тангенсъ-гальванометромъ или тангенсъ-буссолью (Пулье, 1837).

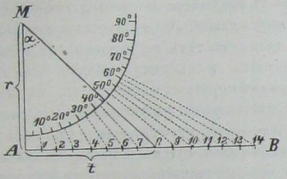


Рис. 55.
Соотношеніе между градусной шкалой и градуированной шкалою тангенсъ-буссоли.

Болѣе точныя измѣренія дѣйствительно показываютъ, что для гальванометровъ этого рода тангенсы угловъ отклоненія пропорціональны силамъ тока, но только тогда, когда магнитная стрѣлка очень мала сравнительно съ поперечникомъ кольца. Въ нашемъ аппаратѣ это соблюдено съ достаточною для нашихъ цѣлей точностью, такъ какъ длина магнитной стрѣлки составляетъ едва 10-ю часть діаметра кольца; отсюда хорошее согласіе въ длинѣ отдѣльныхъ отрѣзковъ на прямой AB рис. 55. (см. приб. 9).

* * *

*) Для угла $\alpha=45^0$ имѣемъ tang $\alpha=1$, т. е. J=k; слѣдовательно, численная величина множителя k представляетъ собою силу того тока, который производитъ на данномъ гальванометрѣ отклоненіе въ 45^0.

Гальванопластика.

IV. Наша мѣдная пластинка еще лежитъ на вѣсахъ. Я беру ее и изгибаю въ ту и другую сторону: вы слышите легкое потрескиваніе, и скоро отъ нея отдѣляется тонкая мѣдная пленка—та самая, которая осѣла изъ мѣднаго раствора; на ней съ фотографическою точностью остается оттискъ массивной пластинки, причемъ лишь всѣ выпуклости пластинки выходятъ углубленными, а углубленія—выпуклостями.

Это наблюденіе, сдѣланное впервые Деларивомъ (1836), почти одновременно навело на мысль Якоби въ Россіи и Спенсера въ Англіи производить гальваническимъ путемъ металлическіе оттиски съ различныхъ предметовъ, напр. медалей и т. п., что имъ и удалось. Якоби назвалъ пріемъ гальванопластикой (1838), предвидя, что это «гальваническое копированіе» создастъ новую отрасль промышленности.—Посмотрите на рисунки этой книжки. Это гравюры на деревѣ; но онѣ не напечатаны прямо съ тѣхъ деревяшекъ, на которыхъ былъ вырѣзанъ рисунокъ, а съ каждой рѣзьбы былъ сперва гальванопластическимъ путемъ сдѣланъ оттискъ, на которомъ всѣ углубленія соотвѣтствуютъ выпуклостямъ и обратно, и который называется потому негативнымъ или, что еще проще, сдѣланъ механическимъ путемъ оттискъ изъ гипса или нагрѣтаго каучука, который гальванопластически покрытъ мѣдью. Съ этого негатива опять гальванопластически сдѣланы въ нѣсколькихъ экземплярахъ позитивы—тѣ клишé, которыя уже служатъ для печатанія, обыкновенно мѣдныя (или, помощью особаго пріема, изъ цинка). Такъ какъ металлическая пластинка позволяетъ сдѣлать гораздо больше типографскихъ оттисковъ, чѣмъ деревянная, а съ негатива всегда можно приготовить любое число позитивовъ равнаго достоинства, то легко понять всѣ преимущества такого пріема. Мѣдныя доски, которыми прежде печатались географическія карты, требовали большихъ расходовъ и времени и все-таки давали лишь немного хорошихъ оттисковъ. Каждая новая доска требовала повторенія расходовъ, причемъ однако вполнѣ точная передача оригинала была невозможна. Нынѣ приготовляется только одна доска, хотя бы и съ двойными расходами и двойною затратою времени, въ законченномъ видѣ, по возможности от-

четливо и точно; съ нея дѣлаютъ негативъ, съ котораго уже изготовляются назначаемые для печатанія позитивные оттиски (клише или гальванотипы)—въ любомъ количествѣ и всѣ одинаковаго достоинства. Вотъ почему мы имѣемъ нынѣ напр. хорошіе учебные атласы за невѣроятно дешевую цѣну. Какъ третій примѣръ можно назвать еще книги, которыхъ содержаніе не подлежитъ измѣненіямъ, напр. логарифмическія таблицы: набравъ ихъ въ типографіи, подвергаютъ наборъ самому тщательному просмотру и изготовляютъ съ него гальваническіе оттиски. Этимъ путемъ обезпечивается безошибочное печатаніе послѣдующихъ изданій (стереотипное печатаніе), а дорогіе типографскіе знаки могутъ быть тотчасъ разобраны и снова пущены въ наборъ. Вы знаете, что въ настоящее время гальванически серебрятъ, золотятъ и никкелируютъ различнѣйшіе предметы, частью для приданія имъ красивой внѣшности, частью для того, чтобы предохранить отъ ржавленія.

* * *

V. Такъ какъ мы заговорили о техническихъ примѣненіяхъ электрическаго тока, то упомянемъ еще объ одномъ изъ интереснѣйшихъ и важнѣйшихъ открытій 19 столѣтія—о телеграфѣ.

Потребность быстрой передачи важныхъ извѣстій отъ одного мѣста къ другому повела сперва къ устройству оптическихъ телеграфовъ, которые оставались въ употребленіи до 1837 г. и еще нынѣ иногда примѣняются въ военной службѣ и научныхъ экспедиціяхъ. Медленность передачи сигналовъ, а также ненадежность дѣйствія, которое напр. совсѣмъ прерывалось въ густой туманъ, заставляли желать примѣненія электрическихъ дѣйствій къ телеграфированію, и, дѣйствительно, мы видимъ, что послѣ каждаго выдающагося открытія въ области электричества практическія попытки принимаютъ новое направленіе.

Историческія свѣдѣнія.

Женевецъ Лесажъ устроилъ (1774 ?) модель телеграфа, состоявшую изъ 24 проволокъ, которыя были (съ обоихъ концовъ) обозначены буквами и снабжены маятничками съ шариками изъ бузинной сердцевины. Телеграфированіе происходило такимъ образомъ, что требуемыя проволоки сообщались съ кондукторомъ электрической машины, при вращеніи которой

маятнички на концахъ проволокъ расходились. Этотъ опытъ является скорѣе интересною игрушкою и не нашелъ практическаго примѣненія. Не счастливѣе Лесажа были другіе, хотѣвшіе воспользоваться для сигнализаціи разрядной искрой лейденской банки. Высокая степень электризаціи этихъ источниковъ электричества требуетъ весьма хорошей изолировки проводовъ, неосуществимой при опытахъ въ большомъ видѣ; поэтому всѣ опыты со статическимъ электричествомъ были вскорѣ преданы забвенію.

Электрохимическій телеграфъ Зёммеринга.

Такъ какъ сперва (до 1820 г.) были извѣстны только химическія дѣйствія гальваническаго тока (электролизъ воды), то не удивительно, что первый электрическій телеграфъ основывался именно на химическомъ дѣйствіи. Зёммерингъ въ Мюнхенѣ устроилъ (1809) первый дѣйствующій электрическій телеграфъ, соединивъ обѣ станціи 35 проволоками, концы которыхъ (съ платиновыми электродами) проведены были (снизу) въ стеклянный ящикъ съ разведенною сѣрной кислотою. Когда, посредствомъ клавіатуры, снабженной буквами и цифрами, черезъ каждую пару этихъ проволокъ пропускался электрическій токъ, у концовъ проволокъ подымались въ жидкости пузырьки гремучаго газа и указывали на соотвѣтствующій знакъ. Отсюда видно, что этотъ электрохимическій телеграфъ долженъ былъ по быстротѣ передачи уступать оптическимъ, и дѣйствительно онъ остался безъ практическаго примѣненія.

Какъ только Эрстедъ (1820) опубликовалъ сдѣланное имъ годомъ раньше открытіе, касавшееся отклоненія магнитной стрѣлки гальваническимъ токомъ, такъ Амперъ предложилъ замѣнить платиновые электроды въ телеграфѣ Зёммеринга магнитными стрѣлками, но самъ не произвелъ опытовъ на практикѣ. Впрочемъ, большое число проволокъ должны были бы сдѣлать очень дорогими опыты въ большомъ видѣ.

Первый электромагнитный (стрѣлочный) телеграфъ.

Первый практически-годный электромагнитный телеграфъ устроилъ (въ 1832 г. или въ началѣ 1833) баронъ П. Л. Шиллингъ фонъ-Канштадтъ въ Петербургѣ, эстляндецъ по рожденію, бывшій въ пріятельскихъ отношеніяхъ съ Зёммерингомъ и знавшій о его аппаратѣ (приб. 10). Почти одновременно и независимо отъ этого Гауссъ и Веберъ построили

въ Геттингенѣ (1833) элекромагнитный телеграфъ между астрономической обсерваторіей и физическимъ кабинетомъ, т. е. первый телеграфъ въ большомъ видѣ. Они, впрочемъ, пользовались не гальваническимъ токомъ, а магнито-электрическимъ индукціоннымъ (см. слѣдующее чтеніе).

Рис. 56 даетъ общій видъ перваго телеграфа Шиллинга, сохраняющагося донынѣ при главномъ телеграфномъ упра-

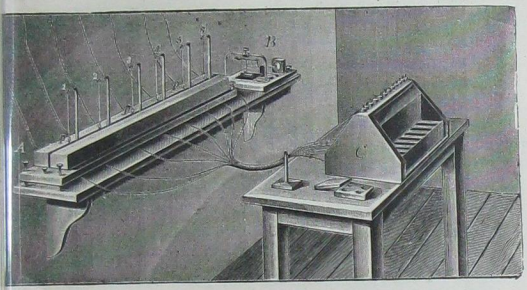


Рис. 56.

Первый электромагнитный стрѣлочный телеграфъ, построенный Шиллингомъ 1832—33. *B* — призывной аппаратъ. [Изъ книги О. Хвольсона «Популярныя лекціи объ электричествѣ». стр. 200].

вленіи въ Петербургѣ. Шесть магнитныхъ стрѣлокъ, подвѣшенныхъ на шелковинкахъ, были окружены мультипликаторными обмотками. Стрѣлки и призывной аппаратъ (*B*) были соединены 8 проволоками, изъ которыхъ одна служила обратнымъ проводомъ. Клавіатура С назначалась для замыканія требуемой цѣпи. Движеніе стрѣлокъ указывалось маленькими картонными кружками (*p*). Они прикрѣплялись къ крючечкамъ, на которыхъ висѣли стрѣлки. Въ состояніи покоя эти кружки были обращены къ зрителю ребромъ, при отклоненіи же поворачивались или одной (бѣлой), или другой (черной) стороною. Послѣ (въ 1835 или 1836 г.) Шиллингъ построилъ телеграфъ съ одною стрѣлкой. Изъ отклоненій къ востоку или западу должны были составляться условные знаки для буквъ. Но изобрѣ-

тателю не удалось практически осуществить своей идеи, такъ какъ онъ вскорѣ умеръ (1837).

Очень важно для введенія телеграфовъ на практикѣ было открытіе Штейнгейля въ Мюнхенѣ (1838), что можно обойтись съ однимъ проводомъ, пользуясь въ качествѣ обратнаго провода землею: для этого стóитъ только къ обоимъ концамъ провода припаять толстые мѣдные листы и погрузить ихъ во влажный грунтъ или въ воду *).

Витстонъ (1840) пытался посредствомъ своего стрѣлочнаго телеграфа (телеграфъ съ указкою) устранить необходимость условной комбинаціи знаковъ. Стрѣлка, приводимая въ движеніе электромагнитомъ, прямо указывала на буквы и цифры, помѣщенныя на окружности циферблата. Аппаратъ этотъ однако дѣйствовалъ медленно и ненадежно.

Телеграфъ Морза.

Электромагнитные телеграфы скоро стали входить въ употребленіе, но, за исключеніемъ подводныхъ (морскихъ) телеграфовъ (см. ниже), были въ короткое время вытѣснены электромагнитнымъ пишущимъ аппаратомъ, который изобрѣтенъ въ 1835 г. американцемъ Морзомъ (Morse) и которому Робинзонъ придалъ, въ существенныхъ чертахъ, употребительную нынѣ форму.

Вотъ модель телеграфа Морза (рис. 57), въ которой устранены всякія вспомогательныя части. Когда черезъ электро-

*) Этого не надо понимать такъ, какъ будто бы токъ дѣйствительно проходилъ по землѣ отъ одной станціи къ другой: земля играетъ здѣсь (для производимыхъ нами количествъ электричества) роль безконечно большого резервуара, въ который можетъ стекать каждый электрическій избытокъ, или изъ котораго каждый недочетъ можетъ пополняться безъ того, чтобы электрическій уровень земли чувствительно измѣнялся. Чтобы это было ясно, представимъ себѣ на морскомъ берегу насосъ, накачивающій воду въ водопроводъ, изъ котораго она въ другомъ мѣстѣ снова изливается въ море. При этомъ совершенно нѣтъ надобности, чтобы тѣ же самыя водяныя частицы, которыя стекаютъ въ море, возвращались къ мѣсту, гдѣ находятся водокачка, т. е. порождали бы въ морѣ теченіе отъ первой точки ко второй. Въ особенности наглядно это станетъ, если представить себѣ, что водокачка находится напр. на Панамскомъ перешейкѣ и гонитъ воду по трубѣ изъ Великаго Океана въ Антлантическій: здѣсь, конечно, объ обратномъ токѣ воды не можетъ быть и рѣчи.

магнитъ M, при нажиманіи контактнаго ключа S, пропускается токъ, электромагнитъ притягиваетъ желѣзный якорь a, прикрѣпленный къ одному концу рычажка h. Тогда колечко r, которое находится на другомъ концѣ рычага и въ положеніи покоя погружается въ красящую жидкость, надавливаетъ на бумажную ленту p, перемѣщающуюся между двумя валиками (въ обыкновенно употребляющихся аппаратахъ они приводятся въ движеніе часовымъ механизмомъ); на рисункѣ разстояніе между валиками (ww) для ясности значительно увеличено:

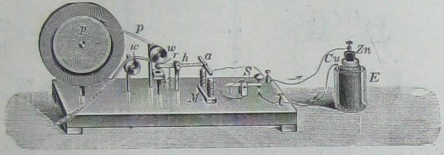


Рис. 57.

Модель пишущаго телеграфа Морза. ($^1/_{10}$). M—электромагнитъ; h—рычажокъ съ якоремъ (a) и маленькимъ пишущимъ роликомъ (r), который при покоѣ погруженъ въ чашечку съ краской (f); p — бумажный мотокъ, съ котораго бумажная тесьма идетъ по валикамъ ww; S — контактный ключъ (замыкатель).

въ дѣйствительности они соприкасаются. Если токъ замкнуть только на мгновеніе, то валикъ съ краскою сдѣлаетъ на бумажной лентѣ очень короткій знакъ (точку), а при болѣе продолжительномъ замыканіи получается болѣе длинная черточка. Изъ точекъ и черточекъ составляется азбука Морза, а также знаки для цифръ, знаковъ препинанія и пр. При этомъ буквы, повторяющіяся всего чаще, обозначаются самыми краткими знаками, напр. e одной точкой, u—двумя точками, m—одной черточкою и т. д.

На рис. 58 схематически представлена телеграфная установка. A—станція подачи, съ которой телеграфируютъ на станцію B. При нажиманіи на рукоятку контактнаго ключа (клавиши) S_1 токъ мѣстной батареи (B_1) замыкается и проходитъ по электромагниту пріемной станціи, батарея которой (B_2) не дѣйствуетъ, пока замыкатель S_2 находится въ покоѣ. Присутствіе тока контролируется гальваноскопами (G_1 и G_2).

Хотя пишущій телеграфъ Морза далеко превосходитъ теле-

графы съ магнитною стрѣлкой въ отношеніи быстроты передачи и надежности дѣйствія, онъ однако не могъ ихъ вытѣснить совершенно, потому что для приведенія въ движеніе рычага нужно, конечно, гораздо бо́льшая сила, нежели для отклоненія магнитной стрѣлки мультипликатора. Поэтому въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ можно пользоваться лишь слабыми токами или

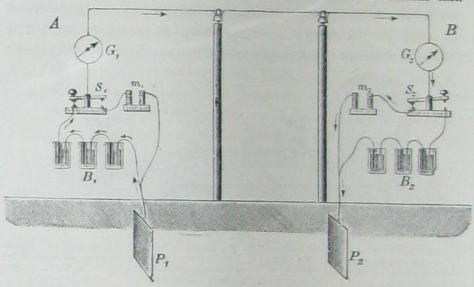


Рис. 58.

Схематическое изображеніе телеграфной установки. *A* — станція подачи; *B* — пріема; ключъ при *A* замкнутъ, при *B* разомкнутъ; *D* — батарея (въ *A* замкнута, въ *B* выключена); *G* — гальванометръ для обнаруженія тока; P_1P_2 мѣдныя пластины, опущенныя въ землю.

гдѣ токъ очень ослабляется большимъ сопротивленіемъ провода, телеграфы съ магнитною стрѣлкой будутъ предпочтительнѣе. Это мы встрѣчаемъ напр. въ случаѣ морскихъ (подводныхъ) телеграфныхъ проводовъ, или кабелей. Такъ какъ однако происходящія здѣсь явленія и самые аппараты очень сложны, то мы не можемъ ихъ здѣсь описывать, не выходя за скромные предѣлы этой книжки.

* * *

Разсмотрѣвъ нѣсколько подробнѣе примѣненіе электрическаго тока къ телеграфіи, мы снова обратимъ наше вниманіе на дѣйствія тока, и именно на нѣкоторыя новыя явленія, которыя могутъ происходить въ жидкомъ проводникѣ.

Поляризаціонные токи.

VI. Положительный полюсъ большого хромоваго элемента (*E* рис. 59) я соединяю проволокой d_1 съ однимъ платино-

вымъ электродомъ гремучегазоваго вольтаметра (см. стр 100) и вмѣстѣ съ тѣмъ посредствомъ отвѣтвленія d'_1—съ гальванометромъ (G). Отъ гальванометра проволока (d_2) ведетъ къ зажимному винту ртутнаго замыкателя. Стальная проволока, загнутая крючкомъ, прикрѣплена къ деревяшкѣ замыкателя такъ, что конецъ ея находится надъ самой поверхностью ртути и можетъ быть погруженъ въ нее легкимъ нажатіемъ. Такимъ же образомъ установленъ конецъ проволоки d_3, идущей отъ другого полюса элемента, между тѣмъ какъ проволока отъ второго электрода вольтаметра (d_3) прямо погружена въ ртуть.

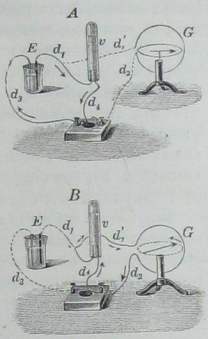


Рис. 59.

Гальваническая поляризація. (1/15).
A — элементъ (E) соединенъ съ вольтаметромъ; B — вольтаметръ соединенъ съ гальванометромъ. (Незамкнутыя части проводниковъ изображены пунктиромъ).

Я кладу указательный палецъ на крючекъ проволоки d_3 (A рис. 59) и нажимаю на него: вслѣдствіе этого токъ замыкается и идетъ по d_1 чрезъ вольтаметръ (слѣва на-право) и проволоки d_4, d_3, между тѣмъ какъ гальванометръ остается выключеннымъ (незамкнутая цѣпь на рисункѣ обозначена пунктиромъ). Если я затѣмъ отпущу крючекъ d_3 и тотчасъ же нажму среднимъ пальцемъ крючекъ проволоки d_2, заставляя его погрузиться въ ртуть, то элементъ будетъ выключенъ, а цѣпь, состоящая изъ вольтаметра и гальванометра, замкнется (B рис. 59) Вы видите, что гальванометръ даетъ отклоненіе, не будучи сообщенъ съ элементомъ. Взглядъ на магнитную стрѣлку покажетъ вамъ, что сѣверный ея полюсъ отклонился къ западу; слѣдовательно, токъ шелъ надъ стрѣлкою къ сѣверу, т. е. *въ вольтаметрѣ справа на лѣво или въ направленіи обратномъ тому, какое имѣлъ токъ отъ элемента.*

То-же самое явленіе наблюдается, если взять сосудъ съ растворомъ азотносеребряной соли, въ который погружены пла

тиновые электроды. Здѣсь на одной пластинкѣ осаждается серебро; слѣдовательно, мы будемъ имѣть въ жидкости уже не двѣ одинаковыхъ платиновыхъ пластинки, а чистую платиновую и посеребренную, т. е. пластинки съ разнородными поверхностями. Тогда возникновеніе тока понятно. Но и платиновые электроды гремучегазоваго вольтаметра пріобрѣтаютъ чрезъ соприкосновеніе съ различными газами (одинъ—съ водородомъ, другой—съ кислородомъ) различное состояніе, снаружи незамѣтное, и дѣйствуютъ какъ два разныхъ металла. Это состояніе электродовъ называется поляризованнымъ, а самое явленіе—поляризаціей электродовъ; токъ, возникающій при сообщеніи поляризованныхъ электродовъ, называется поляризаціоннымъ токомъ (Риттеръ, 1803).

Поляризаціонный токъ имѣетъ направленіе обратное съ первоначальнымъ, какъ мы выше видѣли, а потому долженъ его ослаблять. По закону Ома для твердыхъ проводниковъ мы имѣли: сила тока = электродвижущей силѣ / общее сопротивленіе. Если же включена жидкость съ поляризующимися электродами, то законъ будетъ:

$$\text{Сила тока} = \frac{\text{Электродв. с. элемента} - \text{электродв. с. поляризаціи}}{\text{Общее сопротивленіе.}}$$

Итакъ, подъ гальванической поляризаціей мы разумѣемъ такое измѣненіе поверхности проводниковъ (погруженныхъ въ надлежащую жидкость), вслѣдствіе котораго возникаетъ токъ противоположный первоначальному и ослабляющій его,—поляризаціонный или «вторичный» токъ. Опыты показываютъ, что электродвижущая сила поляризаціоннаго тока зависитъ отъ химической природы металлическихъ пластинокъ и жидкости, а также частью отъ электродвижущей силы первичнаго тока. Оказывается именно, что при постепенномъ увеличеніи электродвижущей силы первичнаго тока эл.-дв. сила поляризаціоннаго сперва остается равною первой, пока не достигнетъ извѣстной величины, послѣ которой становится постоянною. Напримѣръ, для платиновыхъ электродовъ въ перегнанной водѣ maximum составляетъ

около 2,03 элем. Даніеля (2,17 вольтъ), а въ случаѣ подкисленной воды значительно меньше—около 1,6 элем. Даніеля (1,8 вольтъ). Если электродвижущая сила первичнаго тока будетъ выше этого, то начинается видимое разложеніе воды—выдѣленіе газовыхъ пузырьковъ *). Мѣдныя пластинки въ растворѣ мѣднаго купороса обнаруживаютъ лишь слабую поляризацію, а амальгированныя цинковыя въ растворѣ цинковаго купороса вовсе не поляризуются. Поэтому мы пользовались выше такимъ сочетаніемъ для устройства ванночки съ жидкимъ сопротивленіемъ (стр. 73).

Вторичные элементы.

«Вторичные элементы» (такъ называются поляризаціонные элементы, служащіе для полученія тока) въ послѣднее время нашли примѣненіе въ техникѣ. По предложенію Синстедена (1854), Планте сталъ изготовлять (1859) вторичныя батареи изъ свинцовыхъ пластинъ, изолированныхъ другъ отъ друга и погруженныхъ въ разведенную сѣрную кислоту. Когда такая батарея «заряжается», т. е. соединяется съ источникомъ электрическаго тока, тогда на пластинѣ, чрезъ которую токъ входитъ въ аппаратъ, образуется химическое соединеніе свинца съ кислородомъ (перекись свинца), а другая покрывается водородомъ или, если она уже была окислена, губчатою массою металлическаго свинца (такъ какъ окиселъ возстановляется водородомъ).

Если прервать первичный токъ и установить проводящее сообщеніе между свинцовыми пластинами, то по проводу будетъ проходить токъ при почти постоянной электродвижущей силѣ (около 2 вольтъ); сила этого тока, сперва большая, быстро и непрерывно убываетъ. Направленіе вторичнаго тока, конечно, противоположно направленію заряжавшаго первичнаго, т. е. пластинка, покрытая перекисью свинца, будетъ положительнымъ полюсомъ.

Существенное улучшеніе сдѣлано было во вторичныхъ эле-

*) Т. к. электродв. с. элемента Даніеля равна 1,07 вольтамъ, то посредствомъ одного элемента нельзя произвести т. называемаго разложенія воды. Не помогло бы и паралельное соединеніе такихъ элементовъ въ батарею, ибо это увеличило бы лишь силу тока (т. е. количество электричества): электродвижущая сила осталась бы прежнею.

ментахъ Форомъ (1881) и другими: вмѣсто тяжелыхъ свинцовыхъ пластинъ, были взяты рѣшетки изъ свинца, поверхность которыхъ покрыта слоемъ сурика (кислородное соединеніе свинца). Сурикъ на положительномъ полюсѣ прямо превращается (чрезъ присоединеніе кислорода) въ перекись свинца, а на отрицательномъ возстановляется въ очень рыхлую массу металлическаго свинца, благодаря чему зарядка значительно облегчается и сокращается. Количество образовавшейся свинцовой перекиси служитъ мѣрою количества запасенной электрической энергіи. Конечно, почти не нужно упоминать, что это количество не можетъ быть больше того, которое израсходовано на зарядку. Въ дѣйствительности около 30—40% электрической энергіи всегда теряется; потерю, благодаря будущему усовершенствованію этихъ аппаратовъ, названныхъ аккумуляторами (т. е. собирателями), конечно, удастся уменьшить, но не устранить совершенно. Одинъ изъ недостатковъ аккумуляторовъ состоитъ въ томъ, что при ихъ стояніи часть накопленной электрической энергіи теряется вслѣдствіе происходящихъ въ аккумуляторѣ химическихъ реакцій.

Такъ какъ доставляемый аккумуляторами токъ длится короче, чѣмъ служившій (при употребленіи гальваническихъ элементовъ) для зарядки, то сила тока, по крайней мѣрѣ, въ началѣ, больше. Если аккумуляторы заряжались будучи соединены параллельно, то потомъ, соединяя ихъ послѣдовательно, можно получить токъ съ большею электродвижущей силою и пользоваться имъ, въ случаѣ надобности, напр. для электрическаго освѣщенія. Такимъ образомъ, аккумуляторы представляютъ собою какъ бы переносный магазинъ электрической энергіи.

* * *

До сихъ поръ мы пользовались для полученія электрическаго тока лишь гальваническими элементами. Обратимся теперь къ другимъ источникамъ электричества.

Мы знаемъ, что причина электрическаго тока есть возникновеніе электрической разности въ какомъ-либо мѣстѣ (замкнутаго) проводника. Если эта разность (какъ при химиче-

скомъ дѣйствіи въ гальваническихъ элементахъ) поддерживается, то поддерживается и электрическій токъ.

Вотъ приборъ (A, рис. 60), состоящій изъ изогнутой мѣдной пластинки (Cu), припаянной концами къ плоской висмутовой (Bi), и магнитной стрѣлки, которая насажена на стальное остріе внутри этого металлическаго четыреугольника. Я устанавливаю плоскость послѣдняго въ магнитномъ меридіанѣ и нагрѣваю мѣсто сѣвернаго спая пламенемъ спиртовой лампы: стрѣлка, какъ видите, тотчасъ же отклоняется сѣвернымъ концомъ къ востоку; слѣдовательно, возникъ электрическій токъ, направленный надъ стрѣлкою къ югу, т. е.

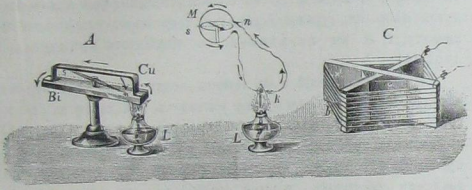


Рис. 60.

Слѣва—термическій элементъ по Зеебеку (1/3). По среднѣ—возникновеніе термоэлектрическаго тока при нагрѣваніи деформированной проволоки (1/10). Справа—термическій столбъ по Магнусу изъ жесткой латунной проволоки, частями отожженой (1/3).

идущій въ нагрѣтомъ спаѣ отъ висмута къ мѣди. Обратное произойдетъ, если охладить тотъ же спай кускомъ льда. Эти производимые нагрѣваніемъ токи были открыты Зеебекомъ (1823) и названы термоэлектрическими. Маленькій приборъ *A* (рис. 60) можно назвать термоэлектрическимъ элементомъ или, короче, термоэлементомъ.

Опыты, произведенные съ различнѣйшими металлами, показали, что ихъ можно расположить въ рядъ такимъ образомъ, что при нагрѣваніи мѣста спайки токъ всегда пойдетъ отъ металла, помѣщеннаго въ ряду ниже, къ стоящему выше. По аналогіи съ извѣстнымъ намъ электрическимъ рядомъ (ч. I, стр. 13), этому ряду металловъ дали названіе термоэлектрическаго.

Термоэлектрическій рядъ:

→

(Проводная проволока).

+ Сурьма ← Желѣзо ← Цинкъ ← Серебро ← Золото ← Мѣдь ← Платина ← Висмутъ −

Здѣсь также можно наблюдать, что два члена ряда даютъ тѣмъ бо́льшую электрическую разность, чѣмъ дальше они отстоятъ другъ отъ друга. Слѣдовательно, всего сильнѣе въ написанномъ выше ряду будетъ дѣйствовать элементъ изъ сурьмы и висмута [Знаки + и — показываютъ родъ электричества на свободныхъ полюсахъ. Въ проволокѣ, соединяющей концы палочки, напр. изъ сурьмы и висмута, токъ идетъ отъ сурьмы къ висмуту, т. е. въ нагрѣваемомъ спаѣ отъ висмута къ сурьмѣ].

Термоэлектрическій токъ можетъ возникнуть и въ одномъ металлѣ, если часть проволоки растянуть или закрутить и нагрѣть пограничное мѣсто. Я беру мѣдную проволоку (рис. 60) и связываю ее въ одномъ мѣстѣ крѣпкимъ узломъ. Концы проволоки я сообщаю съ мультипликаторомъ (М), состоящимъ изъ двухсотъ оборотовъ толстой проволоки (см. рис. 62, на стр. 125). Какъ только я нагрѣю пламенемъ спиртовой лампы сосѣднее съ изогнутою частью мѣсто, такъ магнитная стрѣлка покажетъ возникновеніе тока.

Точно также накаливаніе проволоки въ одномъ мѣстѣ нарушаетъ ея однородность. Я беру длинную жесткую латунную проволоку и, намотавъ ее на деревянный крестъ (см. рис. 60), отмѣчаю средины короткихъ сторонъ чернымъ лакомъ (спиртовой растворъ шеллака съ сажей). Снявъ проволоку съ креста, я накаливаю попеременные промежуточныя части и снова наматываю ее. Теперь пограничныя мѣста нагрѣва находятся одно подъ другимъ. Если соединить концы проволоки съ мультипликаторомъ, то достаточно поднесенія руки къ одной изъ пограничныхъ линій, чтобы получить отклоненіе. Такъ какъ здѣсь дѣйствіе возрастаетъ съ числомъ пограничныхъ мѣстъ, что самый аппаратъ можно назвать термоэлектрическимъ столбомъ.

Помощью надлежащимъ образомъ устроеннаго термоэлектрическаго (термическаго) столбика и соотвѣтственнаго мультипликатора можно обнаруживать малѣйшія температурныя разности, такъ что такой инструментъ можетъ служить чрезвычайно чувствительнымъ дифференціальнымъ термометромъ.

Затѣмъ устраиваются бо́льшихъ размѣровъ термическіе столбы, съ прочными спаями, выдерживающими продолжительное нагрѣваніе въ пламени, для полученія постоянныхъ токовъ, которые могутъ замѣнять гальваническіе. Но мы не можемъ вдаваться здѣсь въ бо́льшія подробности.

Этимъ мы сегодня закончимъ. Въ слѣдующемъ, послѣднемъ нашемъ чтеніи вы познакомитесь съ самымъ мощнымъ изъ искусственныхъ источниковъ электрическаго тока — съ магнитоэлектрической индукціей.

Чтеніе VI.

Основной опытъ Фарадэя. — Мультипликаторъ для лекціонныхъ опытовъ; астатическая стрѣлка; апеpіодическое колебаніе магнитной стрѣлки. — Возникновеніе магнитно-электрическихъ индукціонныхъ токовъ при движеніи проводника въ магнитномъ полѣ; направленіе индукціонныхъ токовъ (правила Ленца и Фарадэя). — Индукціонное дѣйствіе колеблящейся магнитной стрѣлки на мѣдный кружокъ (успокоеніе колебаній стрѣлки гальванометра). — Самоиндукція въ проволочной катушкѣ (экстратокъ); индукціонная катушка (дѣйствіе перемѣнныхъ токовъ на трубки Гейслера и Пулуя). Магнитно-электрическія машины. — Динамо-электрическая машина Сименса. — Вліяніе мягкаго желѣза въ магнитномъ полѣ на ходъ магнитныхъ силовыхъ линій; кольцо Пачинотти и Грамма; барабанный индукторъ Гефнеръ-Альтенека. — Различные способы соединенія проводниковъ въ динамо-машинѣ. — Примѣненія динамо-электрическихъ токовъ; электрическая передача работы. — Телефонъ; микрофонъ. — Заключеніе.

Мы познакомились въ предыдущихъ бесѣдахъ съ важнѣйшими явленіями и примѣненіями гальваническаго тока. Оглядываясь на пройденное, вы видите, что намъ часто приходилось отклоняться отъ прямого пути. Но это дѣлалось для вашей пользы. Избирая окольныя тропинки, я дѣлалъ это или съ цѣлью открыть передъ вами новыя точки зрѣнія, или потому, что такой путь былъ легче; а когда вамъ случалось приходить во второй разъ на одно и тоже мѣсто, вы подходили къ нему съ другой стороны и потому могли лучше обозрѣть его. Въ послѣдній разъ мы узнали слѣдующее:

Взглядъ на пройденное.

1. Динамическія дѣйствія гальваническаго тока выражаются, между прочимъ, теплоными и химическими явленіями. Первыя сказываются въ нагрѣваніи проводниковъ, которое при достаточной силѣ тока и значительномъ сопротивленіи данной части провода можетъ довести ее до силь-

наго каленія. Въ извѣстныхъ жидкихъ проводникахъ токъ производитъ разъединеніе химически-связанныхъ составныхъ частей и выдѣляетъ элементы въ свободномъ состояніи (электролизъ). Посредствомъ надлежащихъ приспособленій можно получать такимъ путемъ металлическіе оттиски (гальванопластика) или покрывать поверхность предметовъ защитительнымъ слоемъ металла (гальваническое никкелированіе, золоченіе и пр.).

2. Количество осаждаемаго гальваническимъ токомъ металла (мѣди, серебра) и количество образующагося гремучаго газа пропорціональны силѣ тока. (Металлъ идетъ вмѣстѣ съ токомъ). Отсюда опытами опредѣлены электрохимическіе эквиваленты металловъ (1 амперъ въ секунду выдѣляетъ 1,118 мгр. серебра или 0,328 мгр. мѣди, разлагаетъ 0,0933 мгр. воды, или выдѣляетъ 0,174 куб. сантим. гремучаго газа).

3. Въ нѣкоторыхъ жидкихъ проводникахъ электрическій токъ возбуждаетъ токъ противнаго направленія (поляризаціонный токъ). который сохраняется еще и по устраненіи первичнаго тока. Сила вторичнаго тока при увеличеніи силы первичнаго быстро возрастаетъ до нѣкотораго постояннаго maximum'а, который въ случаѣ свинцовыхъ пластинокъ и разведенной сѣрной кислоты (аккумуляторы) соотвѣтствуетъ электрической разности полюсовъ въ 2 вольта. Аккумуляторы могутъ служить переносными магазинами электрическаго тока. — При нагрѣваніи мѣста спая разнородныхъ металловъ, на свободныхъ концахъ ихъ возникаетъ электрическая разность; соединяя эти концы проводникомъ, можно получить электрическій (термоэлектрическій) токъ. Посредствомъ аппаратовъ, устроенныхъ на этомъ началѣ, можно обнаруживать малѣйшія разницы температуры.

* * *

Обратимся теперь снова къ магнитамъ. Мы познакомились со взаимодѣйствіемъ между магнитами и подвижными токами и узнали, что съ помощью гальваническаго тока можно получать

электромагниты огромной подъемной силы. Нельзя-ли, наоборотъ, получить токи съ помощью магнитовъ? Этотъ вопросъ уже тогда былъ у насъ на очереди; но я хотѣлъ сперва познакомить васъ со свойствами гальваническаго тока, прежде чѣмъ вступить въ новую область, своеобразная прелесть которой могла бы ослабить удовольствіе, доставляемое другими электродинамическими явленіями. На вратахъ, ведущихъ въ эту область, неизгладимыми буквами начертано имя одного изъ геніальнѣйшихъ физиковъ всѣхъ временъ—имя *Михаила Фарадэя.*

Къ сильному подковообразному стальному магниту (*M* рис. 61), состоящему изъ нѣсколькихъ стальныхъ пластинокъ, приставленъ тоже подковообразный якорь изъ мягкаго желѣза (*A*),

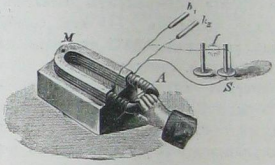


Рис. 61.
Основной опытъ Фарадэя надъ магнитоэлектрической индукціей. ($^1/_{10}$)

обѣ вѣтви котораго обмотаны (какъ у электромагнита) толстой изолированной проволокой. Припаянныя къ ней проводныя проволоки оканчиваются кусками латунной трубки (h_1 h_2), которые я прошу кого-нибудь охватить руками.

Приложивъ якорь правой рукой и крѣпко удерживая магнитъ лѣвой, я быстро отрываю якорь отъ магнита: вы вздрагиваете, какъ будто черезъ ваше тѣло прошелъ электрическій токъ,—что и было въ дѣйствительности. Я присоединяю проводныя проволоки къ двумъ стеклянным стойкамъ (*S*) и сближаю концы проволокъ, согнутые ушкомъ, приблизительно на $^1/_2$ мм. Затемнивъ комнату, я быстро отрываю якорь отъ магнита. Вы видите, что въ тотъ же моментъ между концами проволокъ проскакиваетъ искорка—доказательство, что здѣсь возникаетъ хотя и мгновенный электрическій токъ, но токъ значительной электродвижущей силы. Въ этомъ основномъ опытѣ

Фарадэя (1831) содержится, какъ въ зародышѣ, принципъ всѣхъ новѣйшихъ динамо-электрическихъ машинъ.

Нашею задачею будетъ розысканіе причины этого «магнито-электрическаго тока». Прежде, чѣмъ приступить къ опытамъ, мы сдѣлаемъ нѣкоторыя измѣненія въ нашемъ мультипликаторѣ (рис. 35, стр. 59), которыя увеличатъ его чувствительность и устранятъ докучливое колебаніе стрѣлки впередъ и обратно. Увеличеніе чувствительности легко до-

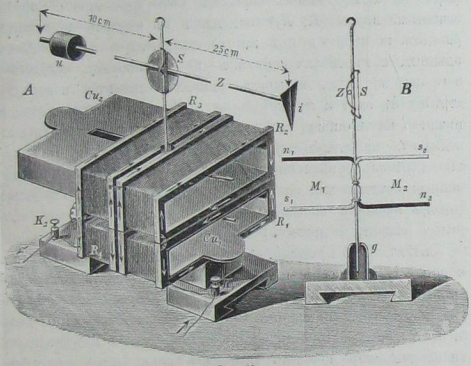


Рис. 62.

А—лекціонный мультипликаторъ съ мѣднымъ успокоителемъ (Cu) и указателемъ (Z). (1/3). *В*—астатическая стрѣлка по Непрсі'ю, измѣнен. и упрощ., съ зеркальцемъ (s) изъ посеребренаго покровнаго стеклышка (1/2).

стигается особою комбинаціей магнитовъ (*В* рис. 62). Каждый изъ двухъ подковообразныхъ магнитовъ M_1 и M_2 состоитъ изъ стальной проволоки (0,5 мм. толщиною; см. приб. 11), которая послѣ отжиганія нѣсколько сплющена посрединѣ и въ трехъ мѣстахъ снабжена выпиленными въ ней бороздками. Послѣ закаливанія и намагничиванія, обѣ проволоки привязываются тонкою мѣдною проволокой къ нейзильберной проволокѣ (тоже въ этомъ мѣстѣ сплющенной) такъ, чтобы разноименные полюсы

пришлись по прямымъ линіямъ (n_1s_2 и n_2s_1). Нижній конецъ нейзильберной проволоки опускается въ стеклянную трубочку (g) съ гладкими краями, немного съуженными. Вверху къ нейзильберной проволокѣ придѣланъ указатель (Z) изъ соломины, снабженной съ короткой стороны пробковымъ противовѣсомъ (u).

Описаннымъ сочетаніемъ магнитовъ почти совершенно устраняется направляющее дѣйствіе земли (астатическая стрѣлка). Проволоки мультипликатора намотаны на двѣ двойныя рамки (R_1R_2 и R_3R_4) такимъ образомъ, что проходящій черезъ зажимные винты (K_1 K_2) токъ идетъ въ верхней и нижней рамкахъ по противоположному направленію, а въ обѣихъ нижнихъ и въ обѣихъ верхнихъ—по одинаковому, вслѣдствіе чего онъ во всѣхъ четырехъ рамкахъ стремится повернуть стрѣлку въ одну и ту же сторону. [Какъ верхнюю, такъ и нижнюю части нашей астатической стрѣлки можно считать за отдѣльную магнитную стрѣлку (n_1s_2 и n_2s_1). Изъ двухъ такихъ стрѣлокъ, укрѣпленныхъ одна надъ другой, состоятъ обыкновенныя астатическія системы. Приводимое здѣсь устройство гораздо проще, и система надолго остается астатическою, чего нельзя сказать о другихъ].

Затѣмъ, чтобы устранить, по возможности, качанія стрѣлки, я вдвигаю въ просвѣты верхней и нижней рамокъ такъ называемые успокоители (Cu, A, рис. 62), представляющіе собою нѣчто вродѣ ящичковъ изъ толстой листовой мѣди, безъ двухъ боковыхъ сторонъ (см. приб. 11). Роль этихъ мѣдныхъ гильзъ вы скоро поймете. Такъ какъ гильза должна проходить сквозь всю ширину рамки (R_1R_4 и R_2R_3), то въ ней сдѣланъ узкій прорѣзъ для средней части астатической стрѣлки и для нейзильберной проволоки. Для пробы я касаюсь къ зажимнымъ винтамъ K_1 и K_2 проволоками отъ полюсовъ нашего маленькаго мѣдно-цинковаго элемента, причемъ проволоку, идущую отъ мѣди, я прикладываю къ K_1 (такъ что + E входитъ здѣсь): стрѣлка сильно отбрасывается и остается, почти не дѣлая качаній, въ положеніи приблизительно перпендикулярномъ къ рамкѣ; точно также, по прекращеніи тока, она прямо возвращается въ свое положеніе покоя. Причину этого мы скоро узнаемъ. Такое движеніе стрѣлки называется *апеpіодическимъ*.

Замѣтьте себѣ, что когда указатель—какъ въ данномъ случаѣ—отклоняется вправо отъ нулевой черты шкалы (см. рис. 35, стр. 59), тогда токъ проходитъ черезъ мультипликаторъ отъ зажимнаго винта K_1 (помѣченнаго знакомъ +) къ K_2, т. е. выходитъ изъ винта K_2.

* * *

Такъ какъ электромагниты гораздо сильнѣе стальныхъ магнитовъ, то для опытовъ мы воспользуемся электромагнитомъ. Я обматываю желѣзный стержень толстою изолированною проволо-

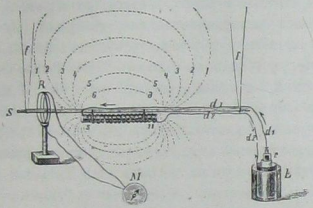


Рис. 63.

Возникновеніе электрическихъ токовъ въ проводникѣ (R) при перемѣщеніи его въ магнитномъ полѣ ($^1/_{20}$).

кой (рис. 63) и привязываю его къ тонкому деревянному бруску (S), причемъ провожу проволоки сперва вдоль бруска, а затѣмъ къ большому элементу Бунзена съ хромовой кислотою (E). Покрывъ электромагнитъ кускомъ бѣлой папки, я посыпаю ее желѣзными опилками и слегка постукиваю пальцемъ: вы видите, что опилки тотчасъ же располагаются въ своеобразныя кривыя, линіи магнитныхъ силъ, изъ которыхъ нѣкоторыя обозначены на рис. 63. Если я, удерживая папку въ прежнемъ положеніи, буду поворачивать магнитъ около его оси, то видимыя теперь кривыя, вслѣдствіе симметричной формы магнита, будутъ очень сходны съ прежними, хотя и соотвѣтствуютъ пространственно другой плоскости сѣченія. Отсюда мы во всякомъ случаѣ видимъ, что все пространство, окружающее электромагнитъ, пронизано магнитными силовыми линіями.

Все это пространство, всю область дѣйствія магнита, называютъ *магнитнымъ полемъ*.

Я размыкаю токъ въ электромагнитѣ, просовываю деревянный брусокъ (S рис. 63) сквозь укрѣпленное на стойкѣ проволочное кольцо, состоящее изъ 150 оборотовъ изолированной мѣдной проволоки, и подвѣшиваю брусокъ съ электромагнитомъ на двойныхъ шнуркахъ (f) такъ, чтобы брусокъ проходилъ чрезъ средину кольца. Проволочное кольцо я сообщаю длинными проволоками съ мультипликаторомъ (M), стоящимъ на другомъ концѣ стола, и снова замыкаю токъ. Съ помощью магнитной стрѣлки можно убѣдиться, что правый (считая отъ васъ) полюсъ электромагнита (n)—сѣверный. Отмѣтимъ его, наклеивъ на полюсную плоскость кусочекъ красной бумаги.

Теперь приступимъ къ опытамъ. Проволочное кольцо стоитъ передъ южнымъ полюсомъ магнита (рис. 63). Я кладу палецъ на деревянный брусокъ и приближаю южный полюсъ къ кольцу: стрѣлка мультипликатора тотчасъ же отклоняется, но возвращается въ положеніе покоя, если я остановлю движеніе магнита. Отнявъ руку, я отпускаю магнитъ: онъ движется обратно, и стрѣлка мультипликатора отклоняется въ противоположную сторону. Пока магнитъ качается впередъ и обратно (причемъ его южный полюсъ то приближается къ кольцу, то удаляется отъ него), стрѣлка колеблется, въ томъ же темпѣ, вправо и влѣво; слѣдовательно, чрезъ мультипликаторъ проходятъ кратковременные токи измѣняющагося направленія.

Я удерживаю магнитъ неподвижно и приближаю стойку съ проволочнымъ кольцомъ: происходитъ такое же отклоненіе стрѣлки, какъ при приближеніи магнита (именно, его южнаго полюса). При удаленіи кольца опять происходитъ отклоненіе, но въ противоположную сторону.

Если вы взглянете на расположеніе силовыхъ линій (см. рис. 63), отмѣченныхъ цифрами 1, 2,... 6, то легко увидите, что при приближеніи проволочное кольцо пересѣкаетъ линіи въ порядкѣ 1, 2, 3, 4, 5, 6, а при удаленіи—въ обратномъ порядкѣ (6, 5, 4, 3, 2, 1). Поэтому мы можемъ пока высказать слѣдующее. Если силовыя линіи пересѣкаются проводникомъ (все равно, движется ли при этомъ проводникъ или магнитъ

вмѣстѣ съ силовыми линіями), то въ проводникѣ (замкнутомъ) возникаетъ токъ, направленіе котораго мѣняется съ измѣненіемъ движенія въ противоположное. Этотъ временный токъ, возникающій вслѣдствіе перемѣщенія проводника въ магнитномъ полѣ, называется *магнито-электрическимъ индукціоннымъ токомъ*.

Я присоединяю къ одному элементу (параллельно) другой, но одну изъ проволокъ пока не закрѣпляю въ зажимномъ винтѣ. Если я придвину проволочное кольцо въ одну плоскость съ концомъ магнита и оставлю его въ этомъ положеніи, то стрѣлка мультипликатора опять возвратится къ 0. Но если я затѣмъ замкну второй токъ (отъ прибавленнаго элемента), то стрѣлка отклонится, возвратится тотчасъ же въ положеніе покоя и снова отклонится, но въ противоположную сторону, при размыканіи второго тока. Что же здѣсь произошло?

При введеніи второго элемента напряженность магнитнаго поля, конечно, увеличилась, и мы можемъ себѣ представить, что къ прежде бывшимъ силовымъ линіямъ прибавились при замыканіи второго тока новыя; онѣ пересѣкли проводникъ R, и, слѣдовательно, въ немъ долженъ былъ возникнуть токъ. При размыканіи второго тока, эти новыя силовыя линіи исчезли; потому долженъ былъ произойти токъ противоположнаго направленія. Итакъ, результаты нашихъ опытовъ, въ обобщенной формѣ, можно выразить напр. слѣдующимъ образомъ:

Когда проводникъ пересѣкаетъ магнитныя силовыя линіи, въ немъ появляется электродвижущая сила, которая длится пока продолжается движеніе. Направленіе магнито-электрическаго индукціоннаго тока зависитъ отъ порядка, въ которомъ проводникъ пересѣкаетъ силовыя линіи.

Мы можемъ здѣсь различить три случая:

I. Магнитное поле движется, а проводникъ остается въ покоѣ;

II. Проводникъ перемѣщается по неподвижному магнитному полю;

III. Напряженность магнитнаго поля измѣняется, а проводникъ и магнитъ остаются въ покоѣ.

Всѣ три случая, какъ увидимъ, могутъ быть примѣнены къ устройству магнито-электрическихъ индукціонныхъ аппаратовъ.

* * *

Вернемся еще разъ къ явленіямъ, представляемымъ нашимъ магнитомъ (электромагнитомъ), причемъ обратимъ больше вниманія на направленіе индукціоннаго тока. Южный полюсъ магнита влѣво отъ насъ. (На рис. 64, для ясности,

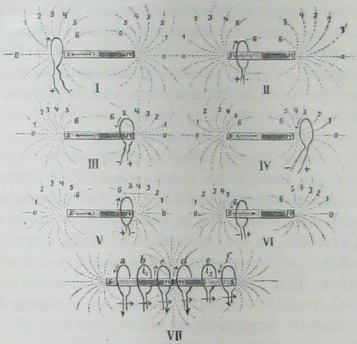


Рис. 64.

Законъ магнитоэлектрической индукціи Ленца. (При I лѣвая половина кольца, помѣченная стрѣлкой, обращена впередъ, т. е. къ читателю).

электромагнитъ изображенъ безъ обмотки и проволокъ, а проволочное кольцо—состоящимъ лишь изъ одного оборота).

Если я приближу южный полюсъ магнита къ кольцу (I, рис. 64, см. подпись къ нему) или вдвину его въ кольцо (II), то отклоненіе магнитной стрѣлки (вправо) покажетъ, что токъ идетъ изъ зажимнаго винта K_2 (см. рис. 62) въ кольцо, т. е. въ послѣднемъ имѣетъ направленіе, указываемое стрѣлкой.

Когда чрезъ кольцо проходитъ средина магнита, стрѣлка возвращается къ нулю и при дальнѣйшемъ перемѣщеніи магнита (III и IV) отклоняется въ другую сторону,

между тѣмъ какъ кольцо пересѣкаетъ силовыя линіи въ обратномъ порядкѣ.

При обратномъ движеніи магнита (т. е. слѣва направо, V и VI) индукціонный токъ измѣняетъ свое направленіе.

Сравнивая (рис. 64, I—VI) направленіе индукціоннаго тока въ кольцѣ, отмѣченное стрѣлкой, съ извѣстнымъ уже вамъ (стр. 56) направленіемъ гипотетическихъ Амперовыхъ токовъ (которые здѣсь, въ случаѣ электромагнита, направлены одинаково съ индуцирующимъ гальваническимъ токомъ въ проволочной обмоткѣ), вы легко замѣтите слѣдующее:

Если кольцевой проводникъ приближается къ полюсной плоскости (I), или если силовыя линіи пересѣкаются имъ въ порядкѣ извнѣ внутрь *) (I, II, V), то индукціонный токъ имѣетъ направленіе обратное молекурнымъ токамъ магнита (т. е. индуцирующему гальваническому току); если же проводникъ удаляется отъ полюсной плоскости, или если онъ пересѣкаетъ силовыя линіи въ порядкѣ изнутри наружу, то индукціонный токъ имѣетъ одинаковое съ молекурными токами направленіе (т. е. одинаковое и съ индуцирующимъ гальваническимъ токомъ).

Еслибы, вмѣсто электромагнита, я взялъ стальной магнитъ, то дѣйствіе было бы значительно слабѣе, но направленіе индукціонныхъ токовъ было бы то-же самое. Замѣнимъ одинъ магнитъ двумя (VII, рис. 64), сложенными вмѣстѣ одноименными полюсами (напр. сѣверными); линіи безразличія будутъ находиться въ i_1 и i_2. Если я буду двигать проволочную обмотку вдоль этого двойного магнита, то вы видите, что индукціонный токъ дѣлается=0 и мѣняетъ направленіе всякій разъ, какъ обмотка проходитъ

*) Здѣсь, въ случаѣ прямолинейнаго магнита (электромагнита), силовыя линіи направляются дугообразно отъ одного полюса къ другому, и магнитъ какъ бы обвернутъ силовыми линіями. Если представимъ себѣ сѣченіе чрезъ средину магнита (перпендикулярно къ оси), то силовыя линіи, отстоящія дальше отъ оси, будутъ «внѣшними» (если смотрѣть на полюсную площадку, то онѣ, конечно, будутъ казаться выходящими изъ средины).

чрезъ безразличную линію. Это наблюденіе пригодится намъ дальше.

Я снова устанавливаю электромагнитъ. Выдвинувъ осторожно желѣзный стержень изъ обмотки и вложивъ въ нее тонкостѣнную стеклянную трубку (чтобы обороты проволоки не отвисли), мы получаемъ соленоидъ, въ которомъ гальваническій токъ проходитъ по тому-же самому направленію, какъ прежде. Слѣдовательно, южный полюсъ останется отъ васъ влѣво (рис. 63). Повторяя опыты, мы найдемъ, что отклоненіе стрѣлки мультипликатора гораздо слабѣе, чѣмъ въ присутствіи желѣзнаго стержня, и приходится взять три хромовыхъ элемента, чтобы получить достаточно ясное дѣйствіе; тогда вы видите, что направленіе индукціоннаго тока соотвѣтственно такое-же, какъ прежде.—Поэтому мы можемъ формулировать результаты короче, припомнивъ, что токи одинаковаго направленія взаимно-притягиваются, а противоположнаго—отталкиваются.

Правило Ленца. При всякомъ перемѣщеніи тока или магнита вблизи проволочнаго кольца (или наоборотъ), въ послѣднемъ возникаетъ индукціонный токъ. Этотъ индукціонный токъ всегда имѣетъ такое направленіе, что стремится сообщить индуцирующему току или магниту движеніе противоположное тому, которое его вызвало. (Правило Ленца). Если напр. къ кольцу приближается сѣверный полюсъ, то индукціонный токъ противоположенъ съ молекулярными токами полюса и слѣдов. стремится оттолкнуть магнитъ. Если сѣверный полюсъ удаляется, то индукціонный токъ имѣетъ одинаковое съ молекулярными токами направленіе и стремится притянуть магнитъ. Изъ правила Ленца слѣдуетъ, что при движеніи проводника въ магнитномъ полѣ должно преодолѣваться сопротивленіе. Расходуемая при этомъ работа есть источникъ электрической энергіи.

* * *

Мы разсматривали до сихъ поръ простѣйшій случай, гдѣ магнитъ имѣлъ форму бруска и слѣдов. силовыя ли-

ніи распространялись симметрично во всѣ стороны или, другими словами, правильно облегали собою магнитъ. Кромѣ того, проводникомъ, въ которомъ происходило индукціонное дѣйствіе, служило проволочное кольцо, и кольцо перемѣщалось параллельно оси магнита, продолженіе которой всегда проходило (приблизительно) чрезъ центръ кольца.

Вотъ сильный магнитный брусокъ (*A* рис. 65), состоящій изъ нѣсколькихъ стальныхъ пластинокъ, на подставкѣ; онъ

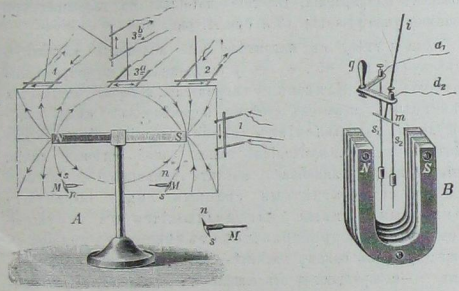


Рис. 65.

A — демонстрированіе индукціонныхъ токовъ по Пфаундлеру, *B* — по Шиманскому ½ нат. [Проводникъ (при *A*) двигаютъ къ свободному концу направляющихъ проволокъ, т. е. впередъ].

снабженъ кускомъ бѣлаго картона, на которомъ проведено нѣсколько силовыхъ линій.

Другой магнитъ (*B*) тоже состоитъ изъ стальныхъ пластинокъ, но имѣетъ форму подковы.

Проводникомъ, подлежащимъ индукціонному дѣйствію, служитъ кусокъ латунной проволоки (*m*, *B*, рис. 65) на изолирующей рукояткѣ (*i*), скользящій вдоль двухъ проволокъ (S_1, S_2), которыя укрѣплены на деревянной подставкѣ (*g*) такъ, что разстояніе между ними можно измѣнять. Отъ нихъ идутъ проволоки къ гальванометру (приб. 11).

Если, удерживая проволоки S_1 и S_2 въ магнитномъ полѣ

(какъ показываетъ рис. 65, *A* и *B*), я съ достаточною скоростью проведу по нимъ проволочку *m*, стараясь поддерживать хорошій контактъ, то на гальванометрѣ вы замѣтите отклоненіе, тѣмъ большее, чѣмъ больше было пересѣчено силовыхъ линій; отклоненія совсѣмъ нѣтъ, если проводничекъ *m* передвигается вдоль силовыхъ линій, т. е. не пересѣкаетъ ихъ, или если обѣ его половины пересѣкаютъ силовыя линіи въ обратномъ порядкѣ, причемъ въ обоихъ половинахъ проводника возникаютъ токи противоположныхъ направленій, дѣйствіе которыхъ на гальванометръ взаимно уничтожается. (3 *a* при *A*, рис. 65).

Если я внесу въ магнитное поле маленькую магнитную стрѣлку (*M*, рис. 65), то она устанавливается по направленію силовыхъ линій. Назовемъ то направленіе, которое указывается сѣвернымъ полюсомъ стрѣлки, перемѣщаемой вдоль силовой линіи, направленіемъ силовой линіи. Тогда можно сказать, что, за исключеніемъ только одной силовой линіи, которая напр. у линейнаго магнита направлена по магнитной оси, всѣ магнитныя силовыя линіи образуютъ замкнутыя кривыя, направляющіяся въ окружающемъ магнитъ пространствѣ отъ сѣвернаго полюса къ южному, а въ самомъ магнитѣ—какъ мы можемъ себѣ представить—возвращаются отъ южнаго къ сѣверному. При движеніи магнита перемѣщается и вся система силовыхъ линій, т. е. *все магнитное поле слѣдуетъ за магнитомъ*. Въ такомъ случаѣ и въ неподвижномъ проводникѣ, находящемся въ магнитномъ полѣ и пересѣкающемъ силовыя линіи, долженъ возникнуть индукціонный токъ. Мы уже имѣли это при движеніи магнита по прямой линіи (стр. 130).

Правило Фарадэя.

Для отысканія направленія тока, индуктируемаго въ проводникѣ, существуетъ слѣдующее правило. Представимъ себя плывущимъ по направленію силовой линіи, лицомъ въ сторону движенія проводника: тогда индукціонный токъ будетъ направленъ **вправо** (Фарадэй). Аналогично видоизмѣненному Амперову правилу, касающемуся отклоненія магнитной стрѣлки (стр. 55), имѣется и другая форма правила для индукціоннаго тока (А. Флемингъ). Ука-

зательный, средній и большой пальцы правой руки держать приблизительно перпендикулярно другъ другу и устанавливаютъ указательный палецъ по направленію силовой линіи (т. е. такъ, чтобы конецъ пальца указывалъ туда, куда показалъ бы сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки), а большой—по направленію, въ которомъ движется проводникъ: тогда средній палецъ укажетъ направленіе индукціоннаго тока въ проводникѣ.

Покрывъ подковообразный магнитъ (поставленный полюсами вверхъ или положенный) кускомъ бѣлаго картона и произведя на немъ магнитныя кривыя, мы увидимъ, что силовыя линіи всего гуще (сплоченнѣе) между обоими полюсами, а всего рѣже на наружной сторонѣ вѣтвей магнита.

Если мы сдѣлаемъ затѣмъ опыты съ подвижнымъ проводникомъ (рис. 65 *B*) въ разныхъ мѣстахъ магнитнаго поля, то найдемъ, что индукціонный токъ будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ болѣе сплочены силовыя линіи, т. е чѣмъ больше силовыхъ линій пересѣкается проводникомъ. Выше мы видѣли, что и усиленіе магнита, т. е. увеличеніе напряженности магнитнаго поля, тоже усиливаетъ индукцію.

Взглядъ на пройденное.

Сопоставимъ теперь результаты нашихъ наблюденій.

1. Индукціонный токъ возникаетъ всякій разъ, какъ проводникъ или часть его *пересѣкаетъ* линіи магнитныхъ силъ,—все равно, движется-ли проводникъ въ магнитномъ полѣ, или магнитное поле движется, а проводникъ остается въ покоѣ, или же измѣняется напряженность магнитнаго поля (вслѣдствіе измѣненія силы полюсовъ, напр. у электромагнита).
2. Электродвижущая сила, появляющаяся въ проводникѣ, при прочихъ равныхъ условіяхъ, пропорціональна:
   a) напряженности магнитнаго поля (т. е. силѣ магнитныхъ полюсовъ);
   b) длинѣ проводника, подвергающагося индукціи (такъ какъ проводникъ пересѣкаетъ тѣмъ больше силовыхъ линій, чѣмъ онъ длиннѣе);
   c) скорости проводника (или магнитнаго поля), по-

тому что со скоростью увеличивается число пересѣкаемыхъ въ данное время силовыхъ линій.

* * *

Познакомившись съ основными явленіями магнито-электрической индукціи, мы можемъ перейти теперь къ практическимъ приложеніямъ.

Успокоеніе магнитной стрѣлки индукціонными токами.

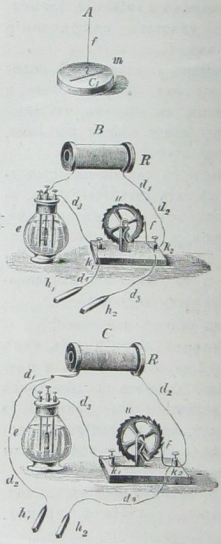


Рис. 66.
A — индукція въ мѣдномъ кружкѣ (1/10).
B, *C* — самоиндукція въ проволочной обмоткѣ (экстратокъ). (1/10).

I. Магнитная стрѣлка, подвѣшенная на тонкой нити, долго колеблется въ ту и другую сторону, если слегка толкнуть ее. Но если я буду держать ее вблизи толстой мѣдной пластинки, лежащей на столѣ (*A*, рис. 66), то стрѣлка, какъ видите, успокаивается послѣ нѣсколькихъ колебаній. Движеніе магнитной стрѣлки, а слѣдов. магнитнаго поля, возбуждаетъ въ мѣдномъ кружкѣ индукціонные токи, которые (по правилу Ленца, стр. 132) стремятся сообщить магниту противоположное движеніе, т. е. задерживаютъ, успокаиваютъ его колебанія. Теперь вамъ будетъ понятно значеніе мѣдныхъ гильзъ въ мультипликаторѣ (рис. 62). Такъ какъ тамъ обѣ части астатической стрѣлки, верхняя и нижняя, почти совершенно охвачены мѣдной гильзой, то успокаивающее дѣйствіе индукціи очень велико, и магнитная стрѣлка устанавливается почти безъ качаній (т. е. движеніе ея почти апеpіодическое).

II. Такъ какъ уже одинъ оборотъ проволоки, при про-

хожденіи по немъ тока, производитъ магнитное поле (см. стр. 47), то въ случаѣ проволочной катушки (соленоида) каждый оборотъ будетъ находиться въ магнитномъ полѣ сосѣднихъ оборотовъ; поэтому каждый оборотъ будетъ подвергаться индукціи со стороны другихъ, если измѣняется сила тока, напр. когда токъ замыкается или размыкается. Проволочная катушка (В, рис. 66), состоящая приблизительно изъ 30 оборотовъ толстой мѣдной изолированной проволоки, намотанной на полый деревянный цилиндръ, сообщается съ подъемнымъ элементомъ (*e*) и прерывателемъ тока (*u*). Послѣдній состоитъ изъ мѣднаго зубчатаго колеска, зубцы котораго скользятъ по пружинѣ (*f*). Посредствомъ рукоятки зубчатое колесо можно вращать. Двѣ проволоки (d_1 d_2) идутъ къ рукояткамъ изъ латунной трубки, которыя я прошу кого-нибудь взять въ руки. При вращеніи зубчатаго колеса вы чувствуете въ рукахъ сотрясеніе, которое тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ быстрѣе я вращаю колесо, т. е. чѣмъ быстрѣе слѣдуютъ другъ за другомъ отдѣльные токи. Еще сильнѣе дѣлается ощущеніе, если я внутрь катушки (*R*) вложу пучекъ проволоки изъ мягкаго желѣза. Теперь я стану вращать зубчатое колесо очень медленно. Токъ замыкается—и вы почти ничего не ощущаете, а при прохожденіи чрезъ ваше тѣло тока отъ элемента совершенно ничего не чувствуете. Но вотъ зубецъ колеса соскакиваетъ съ пружины, токъ размыкается,—и вы вздрагиваете. При замыканіи тока въ катушкѣ происходитъ усиленіе магнитнаго поля, при размыканіи—напряженіе поля падаетъ. Эти измѣненія въ напряженіи магнитнаго поля и являются причиною индукціоннаго тока. При этомъ замыканіе тока должно (см. стр. 129) производить такое же дѣйствіе, какъ приближеніе проводника къ магниту, а размыканіе—противоположное. Общее количество электричества индукціонныхъ токовъ замыканія и размыканія одинаково; но послѣдній длится гораздо короче, а потому онъ сильнѣе перваго. Экстратокъ.

Мы можемъ наблюдать индукціонный токъ и при такомъ расположеніи проволокъ, что при размыканіи главнаго тока элементъ будетъ выключенъ. Это видно изъ рис. 66 С. Если вы теперь возьмете въ руки мѣдныя рукоятки, то при раз-

мыканіи тока чрезъ ваше тѣло пройдетъ только индукціонный токъ. Дѣйствіе то-же, какъ и прежде, такъ какъ сравнительно съ силою индукціоннаго тока сила первичнаго совершенно ничтожна. Токъ, возникающій вслѣдствіе индукціи оборотовъ проводника другъ на друга, вслѣдствіе самоиндукціи, Фарадэй назвалъ экстратокомъ *).

При замыканіи главнаго тока экстратокъ имѣетъ противоположное съ нимъ направленіе и ослабляетъ его, такъ что главный токъ можетъ лишь постепенно достичь своей полной силы. Этимъ объясняется сравнительно бо́льшая продолжительность экстратока замыканія. Размыканіе же главнаго тока происходитъ сразу; экстратокъ имѣетъ очень малую продолжительность, а потому большую силу. Количество электричества, приводимое въ движеніе экстратокомъ, въ обоихъ случаяхъ одинаково.

III. Еще сильнѣе экстратока индукціонный токъ во «вторичной катушкѣ», которая охватываетъ первичную (*A*, рис. 67, II), не касаясь ея (т. е. не сообщаясь съ нею проводникомъ). Эта вторичная катушка состоитъ изъ многихъ оборотовъ тонкой изолированной мѣдной проволоки. Въ каждомъ оборотѣ возникаетъ извѣстная электродвижущая сила. Такъ какъ обмотка состоитъ какъ бы изъ отдѣльныхъ проволочныхъ колецъ, введенныхъ послѣдовательно, то электродвижущая сила, возникающая въ катушкѣ индукціоннаго тока, сложится изъ многихъ отдѣльныхъ эл. дв. силъ одинаковаго направленія, какъ при послѣдовательно соединенныхъ

*) Каждый проволочный оборотъ, по которому пропускается гальваническій токъ, производитъ магнитныя дѣйствія и самоиндукцію, вслѣдствіе чего могутъ возникать побочныя вліянія, напр. на гальванометръ или на сопротивленіе данной проволоки. Для ослабленія этихъ вліяній, при гальванометрѣ обѣ проводныхъ изолированныхъ проволоки обматываются другъ около друга (см. рис. 37, стр. 64), а проволоки, служащія сопротивленіемъ (см. выноску на стр. 91), изгибаются по срединѣ и наматываются, начиная съ этой средины, на катушку вдвойнѣ, такъ что токъ будетъ имѣть противоположное направленіе въ двухъ рядомъ лежащихъ проволокахъ; этимъ (почти вполнѣ) устраняется самоиндукція.

гальваническихъ элементахъ. Слѣдовательно, во вторичной катушкѣ, состоящей изъ многихъ оборотовъ проволоки, совершается превращеніе («трансформація») электрическаго тока сравнительно большой силы (большого количества электричества) и малой разности потенціаловъ въ индукціонный токъ малой силы, но очень большой разности потен-

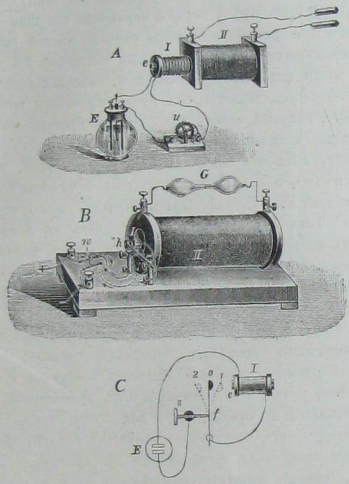


Рис. 67.

A — индукціонная катушка. (1/10). *B*—Румкорфова спираль (1/10). *C*—молотокъ Вагнера.

ціаловъ; въ большихъ индукціонныхъ аппаратахъ (*B*, рис. 67) этотъ токъ принимаетъ характеръ разряднаго тока электрофорной машины, но съ гораздо большимъ количествомъ электричества.

Индукціонная катушка или спираль (*II*, *A*, рис. 67) даетъ сильные удары при быстромъ замыканіи и размыканіи

главнаго тока въ первичной катушкѣ (*I*), если взять въ руки мѣдныя рукоятки; особенно сильно дѣйствіе, если внутри первичной катушки находится пучекъ проволокъ изъ мягкаго желѣза, благодаря чему напряженность магнитнаго поля сильно увеличивается.

Индукціонная спираль Румкорфа.

Еще сильнѣе дѣйствуетъ Румкорфова индукціонная спираль (*B*, рис. 67), у которой первичная катушка состоитъ приблизительно изъ 60 оборотовъ толстой мѣдной проволоки, а обмотка вторичной — изъ проволоки толщиною въ волосъ и длиною до 10 километровъ, дѣлающей, слѣдовательно, многія тысячи оборотовъ. Конечно, эта проволока обвита шелкомъ и, кромѣ того, покрыта слоемъ лака, ибо въ противномъ случаѣ, при большой электрической разности, искра могла бы пробить изолировку. Аппаратъ снабженъ обратителемъ тока, или коммутаторомъ (*w*), и самодѣйствующимъ (автоматческимъ) прерывателемъ, т. наз. Вагнеровымъ молоткомъ (*C*, рис. 67). Токъ отъ элементовъ (*E*) идетъ къ коммутатору, проходитъ по первичной спирали (*I*), а затѣмъ направляется къ латунной пружинкѣ (*f*), прилегающей къ винту (*s*), причемъ мѣста касанія сдѣланы изъ платины (въ предупрежденіе разрушенія отъ дѣйствія искры). Пружинка имѣетъ на свободномъ концѣ желѣзную пластиночку, приходящуюся противъ пучка желѣзныхъ проволокъ первичной спирали; винтъ *s* позволяетъ измѣнять разстояніе желѣзной пластинки отъ конца проволочнаго пучка. При замыканіи тока проволочный пучекъ намагничивается и притягиваетъ пластинку; чрезъ это пружинка отходитъ отъ контактнаго винта (*s*), токъ прерывается, и молотокъ тотчасъ же возвращается въ прежнее положеніе. Причина, почему движеніе прерывателя поддерживается, слѣдующая. Въ положеніи покоя (*o* при *C*, рис. 67), когда пластинка прикасается къ винту, токъ замыкается, достигаетъ, преодолѣвъ дѣйствіе экстратока, своей полной силы и отрываетъ пластинку отъ винта. Пластинка принимаетъ положеніе *i*. Во время ея приближенія еще дѣйствуетъ нѣкоторое время (послѣ прерыванія) прямой экстратокъ, усиливающій натяженіе пластинки. По возвращеніи пластинки въ положеніе покоя (*o*), когда токъ снова замыкается, экстра-

токъ опять противодѣйствуетъ первичному, вслѣдствіе чего уклоненіе пластинки (въ положеніе 2) замедляется меньше, чѣмъ если-бы первичный токъ сразу достигъ своей полной силы. Поэтому пластинка получаетъ избытокъ энергіи, поддерживающій ея колебанія точно такъ, какъ колебанія маятника часовъ поддерживаются (вопреки тренію) толчками по зубчатому колесу. [Такіе же самодѣйствующіе электромагнитные прерыватели примѣняются, между прочимъ, въ электрическихъ звонкахъ].

Появленіе экстратока производитъ то, что главный токъ (въ первичной спирали) при замыканіи не сразу достигаетъ своей полной силы, а при размыканіи — не сразу падаетъ до нуля; между тѣмъ для полученія сильныхъ индукціонныхъ токовъ важно, чтобы измѣненіе силы первичнаго тока происходило по всзможности быстро. Поэтому, чтобы ослабить вліяніе экстратока, при большихъ индукціонныхъ аппаратахъ устраивается конденсаторъ, помѣщающійся въ ящикѣ подъ катушкою и состоящій изъ оловянныхъ листовъ, изолированныхъ другъ отъ друга провощеною тафтою или, лучше, слюдяными пластинками. Четные и нечетные листы соединены какъ между собою, такъ и съ концами первичной спирали. Слѣдовательно, въ моментъ прерыванія тока первичная спираль остается въ сообщеніи съ конденсаторомъ, который и принимаетъ въ себя бо̀льшую часть электричества экстратока; это, между прочимъ, слѣдуетъ изъ того, что съ конденсаторомъ искра между контактнымъ винтомъ и пружиной, происходящая при размыканіи тока, дѣлается гораздо слабѣе, и пружину иногда приходится сперва подтолкнуть, чтобы она пришла въ колебаніе.

Посредствомъ Вагнерова молотка достигаются колебанія столь частыя, что гудѣніе молотка дастъ тонъ опредѣленной высоты. Удары, производимые этимъ индукціоннымъ аппаратомъ, хотя не опасны, но очень непріятны, даже болѣзненны. Если я прикрѣплю къ зажимамъ вторичной спирали двѣ проволоки, снабженныя изолирующими сургучными рукоятками, и сближу концы, то, по приведеніи аппарата въ дѣйствіе, вы видите искры въ нѣсколько сантиметровъ длиною (отъ боль-

шихъ катушекъ Румкорфа получали искры длиною въ 40—50 см. и даже болѣе). Я присоединяю проволоки къ стеклянной трубкѣ, содержащей сильно разрѣженный газъ и снабженной на концахъ впаянными въ нее платиновыми проволочками (Гейслерова трубка, *G*, рис. 67, *B*). По затемненіи комнаты, трубка свѣтится нѣжнымъ свѣтомъ, окраска котораго различна и зависитъ отъ содержащагося въ ней газа. Нѣкоторыя части трубки состоятъ изъ желтоватаго урановаго стекла, которое свѣтится яркимъ зеленымъ свѣтомъ. Еще красивѣе явленія въ трубкѣ Пулуя, въ которой воздухъ разрѣженъ еще сильнѣе, и въ которой впаяны драгоцѣнные камни, издающіе свѣтъ великолѣпныхъ цвѣтовъ. Рубины (даже плохіе съ виду экземпляры) испускаютъ превосходный красный цвѣтъ, алмазы—большею частью зеленый, сѣрнистый кальцій—голубовато-бѣлый и пр.

Трансформаторъ.

Мы пропускали въ индукціонныхъ аппаратахъ главный токъ черезъ спираль съ малымъ числомъ оборотовъ толстой проволоки и получали во вторичной спирали индукціонные токи съ большой электрической разностью, но сравнительно малой силы (малаго количества электричества). Если мы поступимъ обратно, т. е. пропустимъ первичный токъ по спирали съ большимъ числомъ оборотовъ, то въ катушкѣ съ малымъ числомъ оборотовъ тоже появится индукціонный токъ, причемъ электродвижущая сила уменьшится, а сила тока въ томъ же отношеніи увеличится. Это даетъ намъ возможность превращать (трансформировать) высоковольтные токи въ токи съ малымъ числомъ вольтъ, но большой силы. Приборы такого рода называются трансформаторами. Ясно само собою, что въ нихъ особенное вниманіе должно быть обращено на хорошую изолировку оборотовъ другъ отъ друга. Въ техникѣ эти аппараты получили очень важныя примѣненія.

* * *

Въ индукціонныхъ аппаратахъ (и трансформаторахъ) индукціонный токъ возникаетъ при покоящемся проводникѣ (и покоящемся электромагнитѣ) вслѣдствіе измѣненій въна-

пряженности магнитнаго поля, причемъ силовыя линія то появляются, то исчезаютъ. Но можно получить индукціонные токи и при движеніи магнитнаго поля или при движеніи проводника въ покоящемся магнитномъ полѣ (см. выше, стр. 129).

IV. Не прошло и года послѣ открытія магнито-электрической индукціи Фарадэемъ, какъ Пикси (Pixii, 1832) устроилъ первую «магнито-электрическую машину», въ которой подковообразный магнитъ вращался противъ желѣзнаго

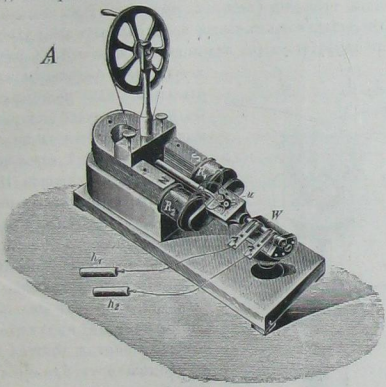


Рис. 68 A.
Магнито-электрическая машина по Штёреру. (1/10).

якоря, также подковообразнаго, вѣтви котораго были обмотаны проволокою. Во всѣхъ послѣдующихъ аппаратахъ, напротивъ, заставляли вращаться желѣзный сердечникъ съ проволочными катушками противъ неподвижнаго подковообразнаго магнита, что—особенно при большихъ машинахъ—гораздо удобнѣе.

Вотъ (рис. 68 *A*) магнито-электрическая машина въ томъ видѣ, какъ она построена Штёреромъ.

Передъ полюсами сильнаго подковообразнаго магнита, со-

стоящаго изъ 5 стальныхъ пластинокъ, вращается подковообразный якорь, вѣтви котораго снабжены проволочными катушками (R_1, R_2). Когда катушки приближаются къ полюсамъ магнита, въ нихъ возбуждается индукціонный токъ, направленіе котораго, конечно, измѣняется въ моментъ прохожденія катушекъ мимо полюсовъ. При каждомъ оборотѣ якоря токъ въ каждой катушкѣ два раза измѣняетъ направленіе. Слѣдовательно, *магнито-электрическая машина даетъ токъ перемѣннаго направленія*, сила котораго увеличивается со скоростью вращенія (такъ какъ вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается число пересѣкаемыхъ въ данное время силовыхъ линій). Помощью особаго коммутатора (*u*) индукціонные токи обѣихъ катушекъ могутъ быть соединяемы или паралельно, или послѣдовательно. Въ первомъ случаѣ электродвижущая сила остается та же, а сопротивленіе будетъ вдвое меньше, чѣмъ отдѣльной катушки. При послѣдовательномъ соединеніи, напротивъ, электродвижущая сила удвоится, но вмѣстѣ съ тѣмъ удвоится и сопротивленіе. Выборъ того или иного соединенія зависитъ отъ сопротивленія провода. Сопротивленіе индукціонной катушки всегда должно быть по возможности близко къ сопротивленію провода.

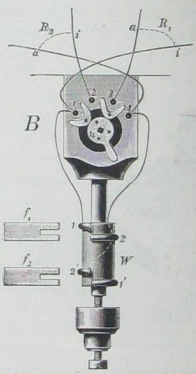


Рис. 68 Б.
Коммутаторъ магнито-электрической машины Штёрера (1/8).

Если хотятъ получить въ проводѣ токи постояннаго направленія вмѣсто перемѣнныхъ то можно пользоваться самодѣйствующимъ обратителемъ тока (*W*, рис. 68 *B*). Онъ соединенъ съ осью вращенія и, подобно извѣстному уже намъ коммутатору (см. выше, рис. 20), два раза при каждомъ оборотѣ измѣняетъ направленіе тока въ проводѣ (именно въ тѣ моменты, когда прямая, соединяющая катушки, пер-

пендикулярна къ прямой, соединяющей магнитные полюсы); слѣдовательно, по проводу будутъ проходить то усиливающіеся, то ослабляющіеся токи постояннаго направленія, между тѣмъ какъ самая машина продолжаетъ, по-прежнему, давать токи перемѣннаго направленія.

Мы не будемъ дольше останавливаться на магнито-электрической машинѣ, такъ какъ ея младшая сестра, динамо-электрическая машина (часто называемая просто динамо-машиной или динамой), давно оставила ее за собою.

Динамо-электрическое начало Сименса.

Огромная сила электромагнитовъ, естественно, навела на мысль замѣнить ими стальные магниты въ магнито-электрической машинѣ (Вильдъ въ Манчестерѣ, 1866). Послѣдній рѣшительный шагъ, поведшій къ построенію динамо-машины *), сдѣланъ былъ затѣмъ извѣстнымъ ученымъ и электротехникомъ Вернеромъ Сименсомъ (1866). Онъ показалъ, что «остаточный» магнитизмъ электромагнита или магнитизмъ, возбуждаемый въ немъ земнымъ магнитизмомъ, можетъ произвести слабый токъ въ обмоткѣ вращающагося якоря, и если этотъ токъ пропустить по обмоткѣ электромагнита, то послѣдній быстро усилится: вслѣдствіе этого усилится и индукціонный токъ, что опять произведетъ усиленіе электромагнита и т. д., пока не достигнется предѣлъ намагничиванія. Такимъ образомъ, безъ всякаго тока извнѣ, электромагнитъ послѣ нѣкотораго числа оборотовъ якоря становится достаточно силенъ для того, чтобы посылать сильный токъ въ рабочую вѣтвь провода (динамо-электрическое начало Сименса).

Очень важно придавать въ этихъ машинахъ и электромагниту, и якорю съ его индукціонными катушками, такую форму, чтобы при вращеніи обмотка пересѣкала какъ можно больше силовыхъ линій. Отсюда вы видите, какъ

*) Здѣсь слово «динамо» (dynamis—сила) служитъ для обозначенія машины, которая производитъ токъ лишь насчетъ механической силы (правильнѣе, энергіи), затрачиваемой на вращеніе индукціонныхъ катушекъ. Но то же самое можно сказать и о магнито-электрической машинѣ. Слѣдовательно, различеніе «магнито-электрическихъ» и «динамо-электрическихъ» машинъ имѣетъ лишь практическое значеніе.

важно знать ходъ магнитныхъ силовыхъ линій для построенія хорошихъ динамо-машинъ.

Такимъ образомъ, важная задача техники состоитъ въ возможно-большемъ сосредоточеніи силовыхъ линій въ той части магнитнаго поля, которою пользуются для индукціи, и въ достиженіи того, чтобы вращающійся проводникъ пересѣкалъ какъ можно больше силовыхъ линій (по перпендикулярному къ нимъ направленію). Первое достигается посредствомъ такъ называемыхъ полюсныхъ накладокъ или башмаковъ. Это—надлежащей формы массы изъ мягкаго желѣза, накладываемыя на полюсы электромагнита (или составляющія съ электромагнитомъ одно цѣлое). Тогда между ихъ сторонами, обращенными другъ къ другу, получается почти однородное магнитное поле съ очень сплоченными силовыми линіями (*A* рис. 69).

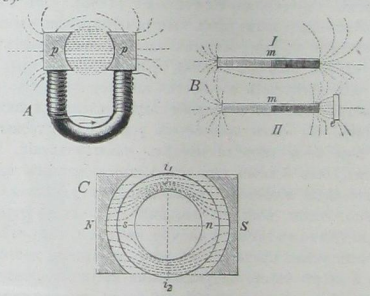


Рис. 69.

Ходъ силовыхъ линій (схематически) *A* — при башмакахъ электромагнита, *BI* — при магнитномъ брускѣ, *BII* — съ кускомъ желѣза въ магнитномъ полѣ; *C* — при кольцѣ (цилиндрѣ) изъ мягкаго желѣза между башмаками электромагнита, по Стефану.

Кусокъ мягкаго желѣза, внесенный въ магнитное поле (*B* рис. 69), тоже имѣетъ свойство сосредоточивать въ себѣ силовыя линіи (какъ видно изъ сравненія I и II), какъ бы впитывать ихъ; отсюда—чрезвычайное усиленіе дѣйствія индукціонной катушки при введеніи въ нее желѣзнаго сердечника (см. выше, стр. 137 и 140).

Кольцевой якорь.

Особенный интересъ представляетъ тотъ случай, когда въ магнитномъ полѣ между башмаками электромагнита вращается кольцо изъ мягкаго желѣза (или полый цилиндръ, котораго поперечное сѣченіе слѣдов. тоже будетъ кольцо). Вычисленіе показало (Стефанъ 1882) и опыты подтвердили, что силовыя линіи входятъ въ желѣзное кольцо (или цилиндръ), но— при достаточной толщинѣ стѣнокъ — не проникаютъ во внутреннее пространство (за исключеніемъ средней силовой линіи, направленной по діаметру), а проходятъ по желѣзной массѣ кольца и выходятъ съ противоположной стороны (*C* рис. 69). При вращеніи такого кольца (около оси, которая на рис. 69 *C* проходитъ чрезъ центръ кольца перпендикулярно къ его плоскости), индуктируемые въ немъ магнитные полюсы (*n* и *s*) остаются пространственно въ прежнемъ положеніи, но перемѣщаются относительно вращающагося кольца.

Если мы сдѣлаемъ на желѣзномъ кольцѣ нѣсколько отдѣльныхъ обмотокъ изъ изолированной мѣдной проволоки, со спаенными между собою концами (*A*, рис. 70), то можемъ вращать кольцо съ проволочными обмотками (около оси, перпендикулярной къ плоскости чертежа) или, что по отношенію къ индукціонному дѣйствію одинаково, перемѣщать обмотку по самому кольцу. Если представить себѣ кольцо перерѣзаннымъ у полюсовъ, то дѣйствіе отъ этого не измѣнится; но тогда мы имѣли бы, какъ при одномъ изъ прежнихъ опытовъ (VII, рис. 64), два магнита (здѣсь полукруговыхъ), сложенныхъ одноименными полюсами, и поясы безразличія которыхъ находятся въ i_1 и i_2. А мы знаемъ, что при перемѣщеніи проволочной обмотки вдоль магнита съ нѣсколькими послѣдовательными полюсами (стр. 131), индукціонный токъ въ проводникѣ дѣлается $= 0$ и измѣняетъ направленіе каждый разъ, какъ проводникъ проходитъ чрезъ точку безразличія.

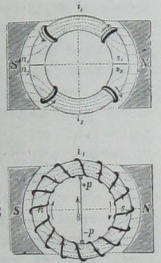


Рис. 70.
Схематическое изображеніе кольца Пачинотти.

Примѣнивъ это къ данному случаю, мы прямо видимъ, что при передвиженіи проволочной обмотки отъ i_1 черезъ s къ i_2 въ ней возбуждается индукціонный токъ, который сперва быстро возрастаетъ въ силѣ, а потомъ (послѣ прохожденія чрезъ полюсъ) убываетъ, въ i_2 (какъ въ i_1) дѣлается $= 0$ и измѣняетъ направленіе, послѣ чего опять усиливается и затѣмъ убываетъ до 0 въ точкѣ i_4. Наибольшая сила тока соотвѣтствуетъ прохожденію близъ полюсовъ, потому что входящія здѣсь сплоченныя силовыя линіи пересѣкаются проводникомъ перпендикулярно, тогда какъ у точекъ безразличія проводникъ перемѣщается параллельно силовымъ линіямъ.

Обмотаемъ теперь желѣзное кольцо изолированной проволокою, такъ, чтобы она образовала собою замкнутый проводникъ (B, рис. 70), и будемъ вращать кольцо вмѣстѣ съ обмоткою: въ оборотахъ обмотки возбудятся индукціонные токи, направленіе которыхъ на рисункѣ обозначено стрѣлочками.

Отъ точки i_1 въ обѣихъ половинахъ кольца происходитъ теченіе электричества къ противолежащей точкѣ i_3. Если сообщить между собою точки i_1 и i_2, прикладывая къ обмоткѣ (съ которой для этого изнутри снята изолировка) проволоку, снабженную на концахъ упругими кисточками ($+ p$ и $- p$), то отъ i_2 къ i_1 (B, рис. 70), пойдетъ электрическій токъ неизмѣннаго направленія, пока желѣзное кольцо съ его обмоткою будетъ вращаться. Если отъ проволочныхъ оборотовъ кольца проведемъ проволоки къ мѣднымъ пластинкамъ, насаженнымъ на оси и изолированнымъ другъ отъ друга (A, рис. 71), и дадимъ металлическимъ щеткамъ, надлежащимъ образомъ установленнымъ, скользить по этимъ мѣднымъ пластинкамъ, то въ каждый моментъ будутъ прикасаться къ щеткамъ тѣ части обмотки, которыя какъ разъ проходятъ черезъ поясъ безразличія (i_1 i_1, рис. 70, A). Если сообщить обѣ щетки (b_1 и b_2, рис. 71, A) проводникомъ, то по немъ будутъ проходить электрическіе токи постояннаго направленія. Въ настоящей машинѣ Грамма (см. ниже), вмѣсто каждаго отдѣльнаго оборота кольцевого якоря, надо представить себѣ проволочную катушку. Но порядокъ дѣйствія тотъ же самый.

Мы не касались здѣсь индуктирующаго дѣйствія магнитныхъ полюсовъ на проволочную обмотку, а также самаго тока, возбуждаемаго въ обмоткѣ. На самомъ же дѣлѣ наружная сторона желѣзнаго кольца, находящаяся противъ магнитнаго полюса, сильно намагничена разноименно съ нимъ, а соотвѣтствующая внутренняя — слабо одноименно; это усложняетъ явленія. Но окончательное дѣйствіе соотвѣтствуетъ, въ существенныхъ чертахъ, нашему описанію. Такъ какъ электрическій токъ, пробѣгающій по обмоткѣ кольца, самъ производитъ магнитное поле, ось котораго не совпадаетъ съ прямою, соединяющею полюсы электромагнита, то при вращеніи кольца его полюсы, а съ ними и точки безразличія, перемѣщаются въ сторону вращенія. Величина этого перемѣщенія зависитъ отъ отношенія напряженностей магнитнаго поля,

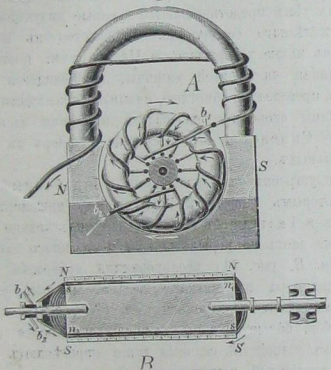


Рис. 71.

A — кольцо Пачинотти-Грамма (модель по Вейнгольду). 1/12. *B* — барабанный индукторъ Гефнера-Альтенека въ продольномъ сѣченіи.

возбужденнаго электромагнитомъ, и того, которое производится кольцомъ, такъ что для каждаго частнаго случая оно должно быть найдено особо. Поэтому приходится испытывать для

каждой машины положеніе контактныхъ щетокъ на пластинкахъ собирателя тока, называемаго коллекторомъ (или, неправильно, коммутаторомъ).

Историческія свѣдѣнія.

Первую магнито-электрическую машину, доставлявшую непрерывные индукціонные токи постояннаго направленія, изобрѣлъ проф. Пачинотти въ Пизѣ (1860). Но его приборъ остался незамѣченнымъ и былъ забытъ. Бельгіецъ Граммъ вторично изобрѣлъ эту машину (1871) и вмѣстѣ съ тѣмъ настолько усовершенствовалъ, что она вытѣснила собою всѣ построенныя раньше магнито-электрическія машины. Онъ же замѣнилъ массивный желѣзный якорь кольцомъ изъ пучка тонкихъ изолированныхъ другъ отъ друга желѣзныхъ проволокъ, ибо такой пучекъ скорѣе намагничивается и размагничивается, нежели сплошной кусокъ желѣза. Вмѣстѣ съ тѣмъ предотвращаются вредные индукціонные токи внутри желѣзнаго сердечника. Первенство въ изобрѣтеніи было лишь позже утверждено за Пачинотти; поэтому самая существенная часть этой машины, вращающееся желѣзное кольцо съ проволочной обмоткою, называется кольцомъ Грамма. Эти машины скоро преобразовались въ динамо-электрическія по началу Сименса и относятся еще и теперь къ числу самыхъ сильныхъ.

Иначе устроенъ такъ называемый барабанный индукторъ, которымъ Гефнеръ-Альтенекъ, инженеръ фирмы Сименсъ и Гальске въ Берлинѣ, замѣнилъ кольцо Грамма. Онъ также даетъ непрерывные токи постояннаго направленія. Здѣсь (см. *B*, рис. 71) изолированная проволока намотана вдоль цилиндра изъ мягкаго желѣза, который вращается между башмаками электромагнитовъ (*NN*, *SS*), охватывающими собою бо́льшую часть боковой поверхности цилиндра. При такомъ устройствѣ силовыя линіи пересѣкаютъ бо́льшую часть индукціонной катушки по нормальному направленію; поэтому барабанный индукторъ также даетъ очень сильный токъ. Мы не будемъ входить здѣсь въ разсмотрѣніе довольно сложнаго дѣйствія этого аппарата и своеобразнаго способа соединенія отдѣльныхъ проволочныхъ оборотовъ между собою и съ коллекторомъ. Въ новѣйшее время разныя фирмы

строятъ, смотря по цѣлямъ, весьма различныя динамо-машины; но всѣ онѣ, въ существенныхъ чертахъ, приводятся къ двумъ основнымъ типамъ: къ кольцу Грамма и къ барабану Гефнеръ-Альтенека.

Необходимо еще сказать кое-что о практическомъ приложеніи динамо-электрическаго начала, т. е. о способѣ пропусканія индукціоннаго тока черезъ обмотку электромагнитовъ, такъ какъ дѣйствіе машины въ значительной степени отъ этого зависитъ.

I. При нормальномъ или послѣдовательномъ включеніи (*I*, рис. 72), впервые примѣненномъ Сименсомъ (1866), индукціонный токъ изъ якоря пропускается въ обмотку электромагнита и далѣе—въ рабочій проводъ (*BL*). Здѣсь индукціонные токи вообще могутъ возникать только тогда, когда цѣпь замкнута помощью рабочаго провода. Этотъ способъ соединенія, дающій при маломъ сопротивленіи провода (*BL*) очень сильный токъ, имѣетъ тотъ недостатокъ, что при увеличеніи сопротивленія, вмѣстѣ съ ослабленіемъ тока, убываетъ и сила электромагнитовъ, что влечетъ за собою дальнѣйшее ослабленіе индукціоннаго тока. Кромѣ того, легко происходитъ обращеніе полюсовъ въ электромагнитахъ (перемагничиваніе), что при нѣкоторыхъ работахъ, напр. при гальванопластикѣ, очень вредно.

II. При включеніи въ отводъ (вѣтвь), которое предло-

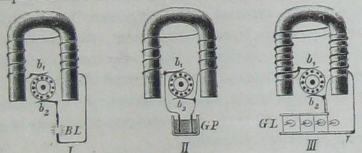


Рис. 72.

Разные способы соединенія при динамо-машинахъ. (*I* нормальное, *II* включеніе въ отводъ, *III* смѣшанное).

жилъ Витстонъ (1867), токъ изъ щетокъ коллектора (b_1 b_2, *II*, рис. 72) раздѣляется на двѣ вѣтви, изъ которыхъ одна идетъ къ электромагниту, а другая въ рабочій проводъ. Если по-

слѣдній будетъ разомкнутъ, то весь токъ пойдетъ въ обмотку электромагнита. При увеличеніи внѣшняго сопротивленія относительно бо́льшая часть тока направляется въ электромагнитъ, и напряженность магнитнаго поля увеличивается; въ результатѣ общая сила тока становится все же нѣсколько больше, чѣмъ это было бы по закону Ома при постоянномъ токѣ. Этотъ способъ включенія выгоднѣе предъидущаго, особенно тогда, когда рабочій проводъ не обладаетъ постояннымъ сопротивленіемъ.

III. При смѣшанномъ включеніи (компоундъ-машина), которое примѣнено Брёшомъ (1879), электромагнитъ имѣетъ двойную обмотку. Одна, изъ толстой проволоки, сообщается, какъ въ машинахъ *I* типа, чрезъ посредство коллектора, съ рабочимъ проводомъ (*L*), тогда какъ другая, изъ тонкой проволоки, есть отвѣтвленіе отъ главнаго провода. При увеличеніи сопротивленія въ рабочемъ проводѣ, въ тонкую проволоку электромагнита (въ отвѣтвленіе) направляется соотвѣтственно бо́льшая часть тока, вслѣдствіе чего магнитное поле и токъ усиливаются. Такая машина (со смѣшаннымъ включеніемъ) можетъ поддерживать весьма постоянную электрическую разность полюсовъ, даже при значительныхъ колебаніяхъ сопротивленія въ рабочемъ проводѣ, почему она особенно удобна при освѣщеніи калильными лампочками, которыхъ включается въ цѣпь то больше, то меньше. При динамомашинѣ наиболѣе сильный токъ получается тогда, когда сопротивленіе рабочаго провода равняется сопротивленію проволочныхъ обмотокъ машины. Послѣднее соотвѣтствуетъ внутреннему сопротивленію гальванической батареи.

Крупныя примѣненія динамо-машинъ въ послѣднее время вамъ, въ общихъ чертахъ, уже извѣстны; поэтому я ограничусь лишь краткими указаніями.

Электрическое освѣщеніе улицъ и маяковъ производится помощью лампъ съ вольтовой дугою, или дуговыхъ лампъ, въ которыхъ двѣ палочки изъ плотнаго угля приводятся во взаимное прикосновеніе концами, а послѣ замыканія тока автоматически раздвигаются и поддерживаются въ надлежащемъ разстояніи другъ отъ друга (самодѣйствующіе «ре-

гуляторы»). Такъ какъ при токѣ постояннаго направленія положительный уголь расходуется быстрѣе отрицательнаго, то для перваго берутъ болѣе плотные сорта или же пользуются особо устроенными машинами, дающими токъ перемѣннаго направленія (приб. 12).

Для силы свѣта, достижимой съ помощью вольтовыхъ дугъ, нельзя указать какой-либо границы, ибо въ послѣднее время эти источники достигаютъ такой напряженности, что освѣщеніе, производимое ими (при опредѣленномъ разстояніи лампы!), превосходитъ солнечное. Свѣтъ электрической дуги особенно богатъ химически-дѣйствующими синими и фіолетовыми лучами и поэтому можетъ быть примѣняемъ для фотографированія. Для комнатнаго освѣщенія предпочтительнѣе калильныя лампы (см. рис. 52, стр. 98), потому что ихъ желтоватый и менѣе рѣзкій свѣтъ пріятнѣе для глаза.

Температура электрической дуги — одна изъ самыхъ высокихъ, получаемыхъ искусственно. При надлежащихъ приспособленіяхъ можно этимъ путемъ плавить приложенные другъ къ другу куски тугоплавкихъ металловъ въ мѣстѣ ихъ соприкосновенія и сваривать ихъ. Этого впервые достигъ Бенардосъ въ Петербургѣ. На послѣдней электрической выставкѣ въ Петербургѣ были, между прочимъ, выставлены большіе церковные колокола, въ которыхъ выбитыя части были вплавлены именно съ помощью электрическаго тока. Самыя прочныя кислородныя соединенія возстановляются въ жару электрической дуги, и въ настоящее время (при помощи электрической печи Сименса) такимъ путемъ изъ весьма распространенныхъ минераловъ, напр. изъ глины, извлекаются легкіе металлы, изъ которыхъ нѣкоторые, какъ алюминій, находятъ много примѣненій въ чистомъ состояніи или въ видѣ сплавовъ.

Электродвигатель.

Если динамо-машину сообщить надлежащимъ образомъ съ «индукторомъ» другой и привести первую въ дѣйствіе, то вторая начнетъ вращаться точно такъ, какъ мы видѣли это на электрофорныхъ машинахъ (ч. I, стр. 98). Если на оси индуктора второй машины находится маховикъ, то этотъ «электродвигатель» можетъ привести въ движеніе какой-ни-

будь другой механизмъ—онъ можетъ доставлять работу, какъ будто бы приводился въ движеніе паровой машиной. Такъ какъ здѣсь обѣ динамо-машины не должны быть непосредственно между собою соединены, а могутъ сообщаться посредствомъ длинныхъ проводовъ, то является возможность пользоваться такими источниками работы въ природѣ, которые иначе пропадали бы безполезно. Если напр. посредствомъ водопада вращать турбины, которыя приводили бы въ движеніе динамо-машины, то можно провести доставляемый ими электрическій токъ на сотни километровъ въ тѣ мѣста, гдѣ нужна движущая сила. При этой «электрической передачѣ работы» (энергіи) очень важную роль играютъ трансформаторы (см. выше, стр. 142). Какъ вы уже знаете (стр. 84), сопротивленіе длиннаго провода преодолѣвается тѣмъ легче, чѣмъ больше электродвижущая сила источника тока. Но многовольтные токи представляютъ то неудобство, что при случайномъ прикосновеніи къ проводамъ могутъ давать удары, опасные для жизни (приб. 12). Поэтому, производя многовольтные индукціонные токи (доходили до 30—40000 вольтъ), ихъ помощью трансформаторовъ превращаютъ въ мѣстѣ назначенія въ токи съ гораздо меньшей электродвижущей силой (100—300 вольтъ), которые затѣмъ уже предоставляются для пользованія. Послѣ того, какъ на выставкѣ во Франкфуртѣ-на-Майнѣ (1891) впервые удалось осуществить въ большомъ видѣ электрическую передачу работы (на разстояніи 175 километровъ, отъ водопада у Лауфена на Неккарѣ), въ Швейцаріи стали приводить этимъ путемъ въ дѣйствіе фабрики, а въ Соединенныхъ Штатахъ Сѣверной Америки — освѣщать электрически цѣлые города. Такъ какъ наши лѣса мало-по-малу истребляются, а залежи каменнаго угля также угрожаютъ современемъ истощиться, то электрическая передача работы есть важная задача будущаго и сообщитъ, конечно, приближающемуся двадцатому столѣтію свой особенный отпечатокъ.

* * *

Прежде чѣмъ закончить главу объ индукціонныхъ токахъ, я долженъ упомянуть еще объ одномъ практическомъ ихъ приложеніи, которое, будучи сравнительно очень новымъ, тѣмъ не менѣе сдѣлалось для людскихъ сношеній почти столь же важнымъ, какъ телеграфъ. Я говорю о телефонѣ. Телефонъ.

Уже въ 1860 г. Рейсъ построилъ нѣчто подобное телефону, основываясь на томъ, что если стальную вязальную спицу обвить изолированною мѣдною проволокою и пропускать по ней прерывистый токъ, то спица начинаетъ звучать, и высота издаваемаго ею тона зависитъ отъ числа токовъ въ секунду. Такъ какъ въ телефонѣ Рейса токъ замыкался и размыкался, то при передачѣ можно было лишь воспроизвести высоту тона, но не его характеръ (тембръ). Это обстоятельство, а также посторонніе рѣзкіе звуки, дѣлали приборъ только курьезомъ физическаго кабинета, и онъ тамъ и сямъ примѣнялся для забавы.

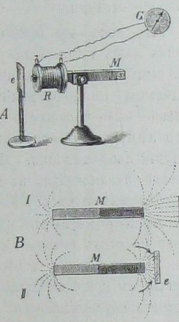


Рис. 73.
Объясненіе дѣйствія телефона. (1/10). *A* — возникновеніе индукціонныхъ токовъ при приближеніи желѣзной пластинки къ сердечнику индукціонной катушки. *B* — ходъ силовыхъ линій магнита при поднесеніи желѣзной пластинки.

Геніальной простотою устройства и вмѣстѣ съ тѣмъ гораздо лучшимъ дѣйствіемъ отличается телефонъ Белля (1877), который большинству изъ васъ, конечно, извѣстенъ, хотя и въ измѣненномъ видѣ.

Чтобы уяснить вамъ дѣйствіе этого прибора, я надѣваю на конецъ стального магнита (*M*, *A*, рис. 73) индукціонную катушку и сообщаю концы ея съ нашимъ мультипликаторомъ (*G*), стрѣлка котораго колеблется апеpіодически (см. рис. 62, стр. 125). На отдѣльной подставкѣ укрѣплена желѣзная пластинка (*c*). Когда я приближаю пластинку къ магниту, стрѣлка мультипликатора отклоняется, но тотчасъ же снова возвращается къ нулю, какъ только желѣзная пластинка бу-

детъ въ покоѣ. При удаленіи пластинки стрѣлка отклоняется въ противоположную сторону. Слѣдовательно, приближеніе желѣзной пластинки къ полюсу магнита возбуждаетъ индукціонный токъ въ насаженной на него катушкѣ; то же самое производитъ удаленіе пластинки, но только индукціонный токъ имѣетъ противоположное направленіе. Если желѣзная пластинка стоитъ очень близко отъ магнита, то достаточно уже легкаго передвиженія, чтобы вызвать отклоненіе стрѣлки.

Такъ какъ мы знаемъ, что индукціонный токъ возбуждается лишь тогда, когда проводникъ пересѣкаетъ магнитныя силовыя линіи, а здѣсь индукціонная катушка и магнитъ неподвижны, то приближеніе (или удаленіе) желѣзной пластинки должно было произвести такое дѣйствіе, какъ будто силовыя линіи перемѣстились и чрезъ это пересѣкли обороты индукціонной катушки. Мы уже видѣли (рис. 69), что присутствіе куска желѣза въ магнитномъ полѣ оказываетъ вліяніе на ходъ силовыхъ линій. Чтобы показать вамъ, какъ дѣйствуетъ перемѣщеніе куска желѣза на силовыя линіи, я кладу на столъ сильный магнитъ, покрываю его кускомъ картона и произвожу извѣстнымъ вамъ образомъ магнитныя кривыя съ помощью желѣзныхъ опилокъ. Въ то время, какъ картонъ поддерживается въ сотрясеніи легкимъ постукиваніемъ, я придвигаю кусокъ желѣза къ одному изъ полюсовъ по направленію магнитной оси (*B*, рис. 73). Вы видите, какъ силовыя линіи, по мѣрѣ приближенія желѣза, все болѣе и болѣе направляются въ его сторону. Теперь (*II*, *B*, рис. 73) силовыя линіи противъ полюса уже гораздо сплоченнѣе, чѣмъ прежде. Обратное происходитъ при удаленіи желѣза. Слѣдовательно, приближеніе желѣзной пластинки къ полюсу магнита равносильно увеличенію напряженности магнитнаго поля (передъ полюсами), или—какъ мы можемъ представить себѣ это нагляднѣе — перемѣщенію силовыхъ линій въ сторону полюсной площадки (т. е. по направленію стрѣлокъ въ *II*, *B*, рис. 73). Тѣмъ самымъ дано условіе для возникновенія индукціонныхъ токовъ (см. выше, стр. 129).

Чтобы дѣйствіе телефона Белля стало вамъ вполнѣ понятнымъ, я беру упрощенную его модель (*A*, рис. 74). Два сильныхъ магнита, на подставкахъ, снабжены проволочными катушками, которыя соединены между собою проволоками такъ, что индукціонный токъ, возбуждаемый въ R_1, проходитъ по R_2 по тому же самому направленію. Передъ полюсомъ одного магнита (M_2) подвѣшена на тонкой часовой пружинѣ

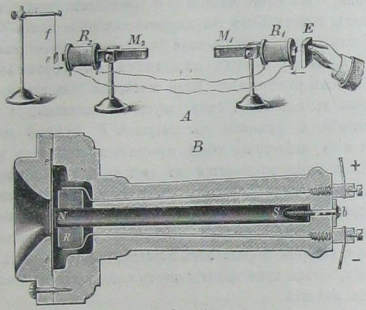


Рис. 74.
A — простая модель телефона по Босхарду (Bosschard). (1/10). *B* — телефонъ Бе́лля. (1/2).

маленькая желѣзная пластинка (*e*), сторона которой, обращенная къ полюсу, оклеена бумагой. Я устанавливаю ее на такомъ разстояніи отъ полюса, чтобы вслѣдствіе притяженія пластинки магнитомъ пружина была лишь слегка напряжена, но чтобы пластинка не прикасалась къ магниту. Если я быстро приближу кусокъ желѣза къ магниту M_1, то пластинка (*e*) притянется магнитомъ M_2; но движеніе ея едва замѣтно. Если же я буду приближать и удалять желѣзо *E* въ томъ самомъ тактѣ, въ какомъ колеблется пружинка *f*, то желѣзная пластинка *e* скоро раскачается, и колебанія ея станутъ ясно видимыми. [Еслибы я скрестилъ соединительныя проволоки или перенесъ проволочную катушку на другой конецъ магнита M_2, то колебанія пластинки *e* также произошли

бы; но только индукціонный токъ оказалъ бы противоположное дѣйствіе на напряженность магнитнаго поля при M_2, такъ что приближеніе желѣза E къ M_1 произвело бы удаленіе пластинки e отъ M_2. Въ телефонахъ это безразлично].

Телефонъ Белля (B, рис. 74) состоитъ изъ сильно намагниченнаго стального стержня, противъ котораго, на очень близкомъ разстояніи, находится никкелированный кружокъ изъ тонкаго листового желѣза (e); разстояніе между нимъ и магнитомъ можетъ быть регулируемо помощью винта b. Желѣзная пластинка, закрѣпленная по краямъ, притягивается къ магниту и потому всегда находится въ нѣсколько напряженномъ состояніи. Если желѣзная пластинка будетъ приведена въ колебаніе, напр. звуковыми волнами, то при ея приближеніи и удаленіи въ катушкѣ R будутъ возбуждаться индукціонные токи противоположныхъ направленій, которые проводятся въ другой подобный же аппаратъ. Здѣсь токи производятъ въ томъ же темпѣ измѣненіе въ напряженіи магнитнаго поля. Вслѣдствіе этого желѣзная пластинка второго телефона приходитъ въ соотвѣтствующія колебанія, которыя, передаваясь воздуху, воспроизводятъ звукъ.

Итакъ, здѣсь происходитъ шесть слѣдующихъ послѣдовательныхъ явленій:

I. Телефонъ подающій.	II. Телефонъ принимающій.
1. Звуковыя колебанія, производимыя передъ телефономъ, приводятъ въ колебаніе желѣзную пластинку.	4. Воспринимаемые токи производятъ измѣненія въ напряженіи магнитнаго поля.
2. Вслѣдствіе этого происходятъ измѣненія въ напряженіи магнитнаго поля.	5. Эти измѣненія приводятъ въ колебаніе желѣзную пластинку.
3. Послѣднія возбуждаютъ индукціонные токи.	6. Вслѣдствіе этого воздухъ приводится въ колебательное движеніе.

Посредствомъ телефона Белля мы, слѣдовательно, можемъ безъ помощи источника тока передавать звукъ изъ одного мѣста въ другое, т. е., говоря правильнѣе, воспроизводить

его въ другомъ мѣстѣ. Такъ какъ при этомъ индукціонные токи возбуждаются колебаніями желѣзной пластинки, и происходятъ превращенія механической энергіи въ магнитную и электрическую (и обратно), причемъ неизбѣжны потери энергіи, то эти телефоны могутъ явственно передавать человѣческую рѣчь лишь на сравнительно короткихъ разстояніяхъ. Впрочемъ, хорошо построенные аппараты этого рода (въ особенности телефоны Сименса въ Берлинѣ и Адера въ Парижѣ, содержащіе подковообразные магниты съ желѣзными насадками) дѣйствуютъ еще на разстояніяхъ въ 30—40 километровъ, а потому часто примѣняются для городскихъ телефонныхъ сообщеній.

Чтобы телефонировать на бо́льшія разстоянія, нужно достичь болѣе сильныхъ колебаній напряженности магнитнаго поля, не впадая въ ошибку Рейса, т. е. не давая току вполнѣ прерываться. Дѣло сводится къ тому, чтобы вмѣсто энергіи звуковыхъ колебаній воспользоваться энергіей источника тока и производить посредствомъ звуковыхъ колебаній усиленія и ослабленія тока, посредствомъ которыхъ въ другомъ аппаратѣ воспроизводились бы звуки по ихъ высотѣ, относительной силѣ и тембру.

Микрофонъ.

Поразительно просто удалось достичь этого Lüdtge въ Берлинѣ (въ январѣ 1878 г.) и почти одновременно и независимо Юзу (Hughes). Если въ цѣпь гальваническаго элемента ввести нѣсколько кусковъ угля, слабо соприкасающихся между собою, то сдавливаніе углей производитъ увеличеніе поверхности прикосновенія, а вмѣстѣ съ тѣмъ уменьшеніе сопротивленія въ мѣстѣ касанія. Если угольную палочку (см. *A*, рис. 75) укрѣпить между двумя угольными опорами, сообщенными съ элементомъ, такимъ образомъ, чтобы надавливаніе можно было регулировать, то уже незначительныя сотрясенія ящика, на которомъ установлены угольныя опоры, произведутъ уменьшенія или увеличенія сопротивленія, вслѣдствіе чего возникнутъ соотвѣтственныя колебанія тока. Послѣднія производятъ въ принимающемъ телефонѣ гораздо болѣе сильныя колебанія напряженности магнитнаго поля, нежели слабые индукціонные токи подающаго телефона.

Звукъ при этомъ на столько усиливается, что напр. ползаніе мухи слышится какъ громкое царапанье. Помощью такого аппарата можно сдѣлать слышимыми самые слабые звуки; поэтому Юзъ и назвалъ его микрофономъ, по аналогіи съ микроскопомъ, дающимъ намъ возможность видѣть мелкіе предметы.

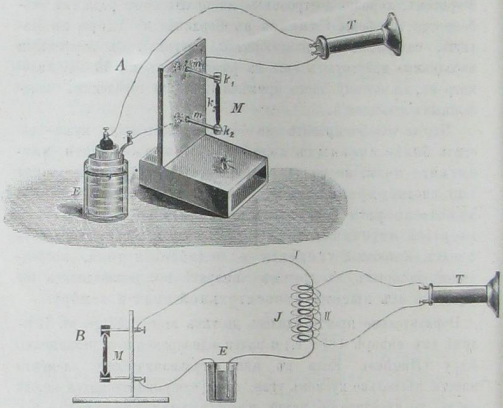


Рис. 75.
A — микрофонъ (1/8). *B* — телефонъ (*T*) съ микрофономъ (*M*) и индукціонной катушкой (*J*).

Еще сильнѣе дѣйствіе, въ особенности при передачѣ на значительныя разстоянія, если воспользоваться индукціонною катушкой (см. *A*, рис. 67, на стр. 139). Токъ отъ микрофона *M* (*B*, рис. 75) проводится къ первичной обмоткѣ (I), а оттуда обратно къ элементу (*E*). Колебанія тока, производимыя въ микрофонѣ, возбуждаютъ во вторичной обмоткѣ (II), состоящей изъ многихъ оборотовъ проволоки, индукціонные токи высокаго потенціала, которые сильно дѣйствуютъ на воспринимающій телефонъ (*T*) даже на боль-

шихъ разстояніяхъ. Такъ удалось установить телефонное сообщеніе между отдаленными мѣстами, напр. между Нью-Іоркомъ и Чикаго; даже морскія пространства не представляютъ въ этомъ отношеніи какихъ-либо непреодолимыхъ трудностей. Телефонная сѣть каждодневно разростается, соединяя между собою города и государства. Такимъ образомъ телефонъ сталъ уже важнымъ факторомъ общественныхъ сношеній и достойнымъ продолжателемъ своего старшаго брата, телеграфа, такъ какъ даетъ намъ возможность узнавать голосъ говорящаго.

* * *

Заключеніе.

Я задержалъ васъ сегодня довольно долго. Тѣмъ не менѣе, мнѣ пришлось коснуться лишь самаго важнаго, ибо вхожденіе въ подробности завело бы насъ слишкомъ далеко.

Не разъ мы должны были прибѣгать въ нашихъ бесѣдахъ къ гипотезамъ, чтобы устанавливать связь между наблюдаемыми явленіями. Быть можетъ, теперь, въ заключеніе, будетъ небезинтересно бросить взглядъ на смѣну гипотезъ физики и взглянуть на то, куда направлены главныя силы современныхъ изслѣдователей *).

Часто можно встрѣтить, даже въ книгахъ, утвержденіе, что задача физики есть объясненіе явленій. Но что вообще значитъ объяснять физическія явленія? Очевидно, это значитъ лишь сводить неизвѣстныя намъ явленія къ извѣстнымъ. А что именно намъ «извѣстно»—это зависитъ отъ условій историческаго развитія физики. Поэтому всѣ попытки объясненія физическихъ явленій носятъ печать случайности и съ тече-

*) При этомъ авторъ слѣдуетъ, въ существенныхъ чертахъ, изложенію проф. О. Д. Хвольсона въ его интересной брошюрѣ «Опыты Герца» (отдѣльный оттискъ взъ журнала «Электричество», 1890). — Изложеніе взглядовъ Герца можно также найти въ его собственномъ чтеніи «Объ отношеніяхъ между свѣтомъ и электричествомъ» (русскій пер. Н. Дрентельна, изд. К. Риккера, 1890).

ніемъ времени подлежатъ смѣнѣ. Не объясненіе физическихъ явленій, а установленіе ихъ взаимной связи,—вотъ что имѣетъ прочное значеніе въ наукѣ и обусловливаетъ ея успѣхи. Итакъ, задача физики состоитъ въ раскрытіи связи между наблюдаемыми явленіями.

Еще въ началѣ нашего столѣтія принимали для теплоты, свѣта, магнитизма и электричества особыя вещества, жидкости (fluida), не подчинявшіяся законамъ тяжести и потому называвшіяся «невѣсомыми» (imponderabilia). Физика распадалась на ученіе о вѣсомыхъ веществахъ (механика твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлъ) и ученіе о невѣсомыхъ, которыхъ принималось четыре (или шесть), именно: тепловая жидкость (теплородъ), свѣтовая, магнитная и электрическая (причемъ двѣ послѣднія подраздѣлялись дуалистами каждая еще на двѣ, съ противоположными свойствами). Между отдѣльными областями никакой связи не существовало. Когда было открыто дѣйствіе гальваническаго тока на магнитную стрѣлку, обнаружившее связь между совершенно различными дотолѣ областями, тогда граница между ними исчезла, принятіе особой невѣсомой жидкости для магнитизма оказалось излишнимъ, и она была оставлена.

Это было важнымъ моментомъ въ исторіи физики, потому что съ нимъ познаніе природы вступило въ новую фазу. Подобнымъ же образомъ, хотя и не столь рѣзко, подѣйствовали спектрально-аналитическія изслѣдованія, доказавшія, что тепловые и свѣтовые лучи (а также принимавшіеся вмѣстѣ съ ними «химическіе лучи») не различны по существу, и что отъ природы тѣла, на которое лучъ падаетъ, зависитъ то, какое дѣйствіе онъ производитъ: тепловое, свѣтовое или химическое. Свѣтовые и тепловые лучи были приписаны колебательнымъ движеніямъ одного проникающаго весь міръ невѣдомаго вещества, свѣтового эфира; вмѣстѣ съ тѣмъ была устранена и «тепловая жидкость». Такимъ образомъ, до новѣйшаго времени оставались еще два различныя невѣсомыя: свѣтовой эфиръ, какъ носитель явленій свѣта и лучистой теплоты, и совершенно таинственный, неуловимый носитель магнитныхъ и электрическихъ явленій.

Ученые до сихъ поръ принимали, что электризація чрезъ вліяніе и индукція — чистыя дальнодѣйствія, т. е. что междулежащая «изолирующая» среда (діэлектрикъ) играетъ въ нихъ только пассивную роль, и что всѣ электрическія явленія ограничиваются тѣми, какія происходятъ на поверхности или внутри проводниковъ. Только Фарадэй не могъ признать дѣйствій на разстояніи и считалъ діэлектрикъ вокругъ проводника главнымъ носителемъ динамическихъ дѣйствій. По Фарадэю магнитныя и электрическія силовыя линіи (указывающія направленія дѣйствующихъ въ полѣ силъ) имѣютъ реальное существованіе. Онъ показалъ помощью конденсатора, что природа діэлектрика оказываетъ существенное вліяніе на электроемкость конденсатора, что напр. безвоздушное пространство тоже дѣйствуетъ какъ діэлектрикъ, и что замѣна воздуха другимъ діэлектрикомъ, напр. сѣрою или стекломъ, опредѣленнымъ образомъ увеличиваетъ электроемкость конденсатора (ч. I, стр. 76). Отсюда Фарадэй заключилъ, что магнитныя и электрическія динамическія дѣйствія совершаются въ самомъ діэлектрикѣ, окружающемъ проводники, и что именно въ немъ происходятъ тѣ измѣненія состоянія, которыя мы называемъ дальнодѣйствіемъ. Фарадэй принялъ, что эти измѣненія распространяются въ діэлектрикѣ посредственно, отъ одной точки къ другой. Отсюда слѣдуетъ, что истиннымъ носителемъ магнито-электрическихъ дѣйствій должна быть всепроникающая міровая среда, и что самыя дѣйствія требуютъ для своего распространенія въ діэлектрикѣ извѣстнаго времени. Даже болѣе: возможно, что эти электрическія дѣйствія въ пространствѣ еще продолжаются, когда возбудившая ихъ причина въ исходной точкѣ уже исчезла, подобно тому, какъ мы можемъ видѣть погасшую уже звѣзду, ибо свѣтъ ея цѣлые годы находился въ пути, прежде чѣмъ достигъ нашего глаза. Отсюда затѣмъ почти съ необходимостью вытекало предположеніе, что міровой или свѣтовой эфиръ есть вмѣстѣ носитель магнитныхъ и электрическихъ явленій. Новѣйшія изслѣдованія сдѣлали это допущеніе въ высшей степени вѣроятнымъ. Фарадэй, одинъ изъ величайшихъ экспериментаторовъ всѣхъ вре-

менъ, не владѣлъ орудіемъ, доставляемымъ высшей математикой. Ученикъ же его Клеркъ Максвелль основалъ на математической почвѣ электромагнитную теорію свѣта, которая разсматриваетъ магнитныя, электрическія и оптическія явленія какъ результатъ движеній одного и того же міроваго эфира. Если эта мысль вѣрна, то должны существовать магнито-электрическія «колебанія», подчиняющіяся законамъ оптики: законамъ отраженія и преломленія. Опытное доказательство этого не удалось ни Фарадэю, ни Максвеллю, а было дано только въ послѣдніе годы молодымъ нѣмецкимъ ученымъ (умершимъ 1 января 1894 г.), профессоромъ Гейнрихомъ Герцомъ, изслѣдованія котораго, подъ названіемъ: «Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft» (1887—1893), возбудили живѣйшій интересъ физиковъ всѣхъ странъ и сразу поставили молодого ученаго въ рядъ величайшихъ естествоиспытателей.

Я не могу входить въ описаніе сложныхъ опытовъ этого геніальнаго изслѣдователя, соединявшаго экспериментальное искусство Фарадэя съ математической подготовкою Максвелля, въ особенности потому, что изслѣдованія еще далеко не закончены. Я укажу лишь на одну трудность, которую надлежало преодолѣть, и вкратцѣ упомяну о нѣкоторыхъ результатахъ.

Свѣтовой эфиръ, какъ всякая совершенно упругая среда, обладаетъ свойствомъ передавать сотрясенія (возмущенія), производимыя въ одномъ мѣстѣ, съ постоянною скоростью, совершенно независящею отъ числа толчковъ въ единицу времени. При свѣтовомъ волнообразномъ движеніи отдѣльныя эфирныя частички производятъ маятникообразныя колебанія, а самый лучъ свѣта распространяется въ пространствѣ по направленію перпендикулярному къ этимъ колебаніямъ (такъ называемыя поперечныя колебанія). Промежутокъ, на который распространяется движеніе въ пространствѣ въ то время, какъ частичка произведетъ полное колебаніе впередъ и обратно (около положенія равновѣсія), называется длиною волны. Такъ какъ (о чемъ упомянуто выше) скорость распространенія волнъ постоянна, то волны будутъ тѣмъ длиннѣе, чѣмъ медленнѣе ко-

лебанія.—Какого рода тѣ возмущенія эфира, которыми, по Максвеллевой теоріи, обусловливаются магнитоэлектрическія явленія (поперечныя-ли волны, подобныя свѣтовымъ, или вихреобразныя, или иныя),—мы не знаемъ; но вычисленіе показываетъ, что «электрическія возмущенія» эфира должны распространяться приблизительно съ тою же скоростью, какъ лучи свѣта, т. е. со скоростью 300000 килом., или 300 милл. метровъ въ секунду. Отсюда, еслибы существовали электрическія волны длиною въ 10 метровъ (болѣе длинныя почти невозможно было бы наблюдать въ закрытыхъ помѣщеніяхъ), то все же онѣ соотвѣтствовали бы 300000000/10 = 30 милліонамъ колебаній въ секунду. А чтобы получить болѣе удобныя для наблюденія въ каждомъ физическомъ кабинетѣ волны въ 3 метра длиною, возмущающіе толчки должны были бы повторяться 100 милліоновъ разъ въ секунду.

Послѣ многихъ напрасныхъ опытовъ Герцу удалось, наконецъ, помощью остроумнаго приспособленія при Румкорфовой спирали, получить достаточно быстрыя электрическія колебанія, давшія ему возможность произвести въ воздухѣ стоячія «электрическія волны», которыхъ длина могла быть измѣрена. Оказалось далѣе, что «электрическія волны» (такъ мы назовемъ эти еще неизвѣстныя намъ по своей природѣ возмущенія) въ однородной діэлектрической средѣ распространяются прямолинейно, но, переходя въ другой діэлектрикъ, преломляются, подчиняясь тѣмъ же законамъ, какъ свѣтовые лучи. Поразительно съ перваго взгляда, но совершенно въ соотвѣтствіи съ Максвеллевой теоріей, было наблюденіе, что проводники (металлы) не проводятъ электрическихъ колебаній, а отражаютъ ихъ.

Такъ опыты Герца подтвердили исходныя положенія электромагнитной теоріи свѣта Максвелля, основанной на воззрѣніяхъ Фарадея. Теперь — приблизительно черезъ столѣтіе послѣ открытія гальваническаго электричества — передъ нашими глазами исчезаетъ рубежъ между оптическими и магнито-электрическими явленіями. Многое еще остается сдѣлать въ этомъ направленіи; но можно сказать, что физика,

благодаря капитальнымъ работамъ Фарадэя, Максвелля и Герца, вступила въ новую фазу своего развитія.

* * *

Этимъ мы кончаемъ наши бесѣды. Я могъ лишь ввести васъ въ ученіе объ электричествѣ. Если же видѣнное и узнанное вами возбудитъ въ васъ охоту познакомиться съ предметомъ ближе, то для меня это будетъ лучшею наградой.

ПРИБАВЛЕНІЕ.

(Дополненія и практическія указанія).

---

1. Пользуясь очень сильными электромагнитами, Фарадэй доказалъ (1845), что всѣ тѣла природы обладаютъ магнитными свойствами, но представляютъ въ этомъ отношеніи одно замѣчательное различіе. Именно, тогда какъ желѣзо, никкель, кобальтъ и нѣкоторые другія притягиваются обоими полюсами магнита, другія тѣла, какъ напр. сурьма, висмутъ, цинкъ и большинство прочихъ, напротивъ, отталкиваются ими. Тѣла первой группы, типическимъ представителемъ которыхъ является желѣзо, Фарадэй назвалъ парамагнитными, а второй — діамагнитными. Прямая линія, соединяющая полюсы магнита, называется магнитною осью, а плоскость, проведенная чрезъ ея средину и къ ней перпендикулярно, — экваторіальною плоскостью. Если подвѣсить палочку изъ парамагнитнаго вещества между полюсами сильнаго электромагнита, то она устанавливается по направленію магнитной оси (осевое направленіе), т. е. параллельно силовымъ линіямъ. Напротивъ, палочка изъ діамагнитнаго вещества устанавливается перпендикулярно магнитной оси (экваторіальное направленіе), т. е. перпендикулярно къ линіямъ магнитныхъ силъ. По предположенію Вебера, это объясняется тѣмъ, что въ діамагнитныхъ тѣлахъ дѣйствіемъ магнита возбуждаются молекулярные токи противоположнаго направленія; по Веберу, это можетъ имѣть мѣсто и въ діэлектрикахъ; и дѣйствительно, стекло и другіе непроводники оказываются сильно діамагнитными. Стр. 1.

2. Такъ называемый «основной опытъ Вольты» состоитъ въ доказательствѣ, что если двѣ пластинки изъ различныхъ металловъ, снабженныя изолирующими рукоятками, привести во взаимное соприкосновеніе чистыми поверхностями Стр. 30.

и затѣмъ разъединить (держа ихъ при этомъ, по возможности, параллельно), то пластинки оказываются наэлектризованными, и наблюдаемая при этомъ разность потенціаловъ зависитъ только отъ природы взятыхъ металловъ, но не отъ величины поверхности прикосновенія. Причину возбужденія электрическаго заряда при такомъ «простомъ соприкосновеніи» разнородныхъ металловъ Вольта назвалъ электродвижущей (электровозбудительной) силою (теорія соприкосновенія, контактная теорія). Въ случаѣ пластинокъ изъ цинка и мѣди, на цинкѣ появляется $+E$, а на мѣди $-E$ (т. е. электризація обратна той, какая наблюдается при одновременномъ погруженіи цинка и мѣди въ подкисленную воду на выдающихся изъ жидкости концахъ, или совпадаетъ съ той, какая возникаетъ на концахъ, находящихся внутри жидкости). Подобно тому, какъ твердыя тѣла располагаются въ рядъ по роду электризаціи при треніи (ч. I, стр. 13), такъ точно можно расположить металлы и нѣкоторыя другія тѣла въ рядъ такимъ образомъ, что каждый металлъ въ соприкосновеніи со слѣдующимъ будетъ заряжаться электроположительно.

Вольтовъ рядъ.

+	Цинкъ.	Свинецъ.	Олово.	Желѣзо.	Мѣдь.	Серебро.	Золото.	Уголь.	Графитъ.	Платинитъ.	—

При этомъ наблюдается слѣдующій найденный Вольтою законъ. Электродвижущая сила при соприкосновеніи двухъ какихъ-либо членовъ ряда = суммѣ электродвижущихъ силъ промежуточныхъ паръ, напр. цинкъ | мѣдь = цинкъ | олово + олово | желѣзо + желѣзо | мѣдь, или еще: цинкъ | уголь + уголь | мѣдь = цинкъ | мѣдь и т. д. Такъ какъ жидкіе проводники не подходятъ подъ выражаемый этимъ рядомъ законъ, то Вольта назвалъ металлы (и уголь) «электровозбудителями перваго рода», а жидкіе проводники «электровозбудителями второго рода». Это различеніе тѣмъ болѣе раціонально, что металлы только нагрѣваются электрическимъ

токомъ, между тѣмъ какъ электровозбудители второго рода непремѣнно подвергаются химическому разложенію. Жидкости, которыя не разлагаются дѣйствіемъ электрическаго тока, какъ напр. вазелиновое масло, спиртъ и даже химически-чистая вода, не проводятъ тока.

3. Для элементовъ съ хромовой кислотою большею частью берутъ растворъ двухромовокаліевой соли, которая имѣетъ то неудобство, что изъ жидкости осаждаются хромовые квасцы. Гораздо лучше пользоваться двухромовонатріевою солью, при которой хромовыхъ квасцовъ почти вовсе не выдѣляется. Можно рекомендовать слѣдующую смѣсь (которую можно заказать въ аптекѣ): 100 вѣс. частей воды, 25 ч. обыкновенной сѣрной кислоты, 12 ч. двухромовонатріевой соли. Къ готовой жидкости прибавляютъ немного сѣрнортутной соли (или окиси ртути) въ количествѣ 3—4 гр. на литръ жидкости; это поддерживаетъ амальгамировку и чистоту цинка. Стр. 31.

4. Въ продажѣ имѣются очень тонкія узкія ленты изъ вальцованнаго металла, употребляющіяся, между прочимъ, для украшенія елокъ; волнистый сортъ предпочтительнѣе. Для очень нагляднаго опыта рис. 34 (стр. 57) можно взять 2 или 3 ленты вмѣстѣ. За неимѣніемъ таковыхъ очень пригодна полоска тонкаго листового олова (станніоль) въ 2—3 мм. шириною и 50 см. длины. Стр. 44, 58, 93.

5. Въ сочиненіи; «Essay théorique et expérimentale sur le galvanisme» par Jean Aldini, Paris, An XII — MDCCCIV (1804) съ посвященіемъ: «A Bonaparte, citoyen, premier consul et président» — на стр. 340 читаемъ слѣдующее: «*M. Romanosi*, physicien de Trente, qui a reconnu, que le galvanisme faisait décliner l'aiguille aimantée.» — [Другіе современники, напр. французъ Izarn, пишутъ Romagnosi. Также Rosenberger, Gesch. d. Physik. Bd. II, S. 196, Zantedeschi (1859) и др.]. Стр. 54.

6. Въ нормальномъ элементѣ Флеминга (который можетъ быть замѣненъ и маленькимъ элементомъ рис. 17 на стр. 35) цинкъ погруженъ въ растворъ 55,5 ч. сѣрноцинковой соли и 44,5 ч. воды (уд. вѣсъ раствора 1,2 при 20° С.) а мѣдь — въ растворъ 16,5 ч. сѣрномѣдной соли и 83,5 ч. воды (уд. в. 1,1 при 20° С.). Цинкъ, если онъ не химически-чистъ, долженъ быть хорошо Стр. 65.

амальгамированъ. Стеклянный сосудъ (рис. 38) можетъ быть цѣльнымъ. Но такъ какъ притертые стеклянные краны дороги, то аппаратъ можно составить и изъ отдѣльныхъ частей, соединивъ ихъ помощью резиновыхъ трубокъ съ эбонитовыми кранами (или зажимами). Для всѣхъ измѣрительныхъ опытовъ можно пользоваться только постоянными элементами. Чтобы они во время опыта дѣйствовали, по возможности, равномѣрно, ихъ предварительно оставляютъ стоять замкнутыми минутъ 10, сообщивъ полюсные зажимы короткой толстой мѣдной проволокою (такъ назыв. «короткое замыканіе»); тогда внутри элемента устанавливается нѣкоторое состояніе равновѣсія.

Стр. 67. 7. При нашемъ опытѣ (рис. 39) магнитная стрѣлка находится подъ вліяніемъ двухъ направляющихъ силъ; земного магнитизма и обоихъ магнитовъ. Первая стремится направить стрѣлку по магнитному меридіану, вторая — къ нему перпендикулярно; стрѣлка устанавливается въ нѣкоторомъ среднемъ положеніи, по направленію равнодѣйствующей названныхъ силъ. Чѣмъ ближе магниты къ буссоли, тѣмъ сильнѣе ихъ дѣйствіе сравнительно съ дѣйствіемъ земного магнитизма, т. е. тѣмъ больше уголъ, составляемый стрѣлкою съ магнитнымъ меридіаномъ. Такъ какъ магниты сильно намагничены и довольно длинны (40 см.), то магнитное поле посрединѣ между ними, гдѣ находится (короткая) магнитная стрѣлка, почти однородно, т. е. напряженность его почти постоянна, и силовыя линіи здѣсь параллельны между собою. На этомъ основывается (при не слишкомъ длинной стрѣлкѣ) примѣнимость употребленнаго нами пріема градуированія.

При градуированіи гальваноскопа сила того тока, который производилъ отклоненіе $\alpha_1 = 14^0$, была произвольно принята за единицу. Чтобы сдѣлать себѣ постоянную шкалу, хорошо изобразить результаты градуированія графически. Для этого на бумагѣ, разграфленной на кв. миллиметры, наносятъ по оси абсциссъ (горизонтально), съ промежутками въ 1 см., силы тока (0, 1, 2, 3, . . .), а по ординатамъ (вертикально) откладываютъ наблюденные углы отклоненія въ градусахъ, отсчитываемые съ точностью до $0^\circ,1$, и проводятъ чрезъ полученныя такимъ образомъ точки кривую. Эта

кривая можетъ служить при болѣе точныхъ измѣреніяхъ для перевода показаній; ею можно пользоваться для нанесенія ненаблюденныхъ частей градуированной шкалы (половинъ или десятыхъ); кромѣ того, ходъ ея служитъ хорошимъ признакомъ степени точности измѣренія.

Подробности о градуированіи см. въ «Zeitschrift für d. physikalischen u. chemischen Unterricht» (для электрометра IV, 1891, S. 293, для гальванометра VII, 1894, стр. 122).

8. Калильная лампа была изобрѣтена уже 1855 г. Генрихомъ Гёбелемъ, ганноверцемъ, переселившимся въ Нью-Іоркъ. Гёбель былъ приглашенъ въ 1881 г. для эксплоатаціи изобрѣтеній Эдисона, и съ того времени появились на рынкѣ такъ называемыя эдисоновскія лампочки (Elektrotechn. Zeitschrift 1892, Heft 7, по Electr. Eng. отъ 25 янв. 1892 г.) Стр. 98.

9. Если чрезъ нашъ лекціонный гальванометръ (см. рис. 37 на стр. 64), при вертикальномъ положеніи кольца R, пропустить постоянный токъ такой силы, чтобы произвести отклоненіе стрѣлки немного больше 45°, то наклоненіемъ кольца всегда легко достичь угла отклоненія въ 45°. Въ этомъ случаѣ чувствительность прибора наибольшая.—[Въ обыкновенной буссоли можно отсчитывать углы съ точностью до $^1/_5$° (въ нашей, благодаря большому раздѣленному кругу, — до $^1/_{10}$°). При малыхъ углахъ это составляетъ замѣтную часть всего отсчитываемаго угла, такъ что погрѣшность въ измѣреніи силы тока (при отклоненіи въ 25° или 5°) можетъ равняться 1% или 4%. Съ другой стороны, при большихъ углахъ отклоненія (свыше 60°) тангенсы возрастаютъ очень быстро (дѣленія градуированной шкалы становятся значительно меньше), такъ что погрѣшность отсчета тоже сильно вліяетъ на результатъ. Поэтому стараются достичь отклоненія въ 45°; тогда вліяніе погрѣшности отсчета наименьшее].— Нашъ гальванометръ можетъ повертываться на своей подставкѣ. Поэтому, когда токомъ произведено нѣкоторое отклоненіе, можно повернуть буссоль вслѣдъ за стрѣлкою такъ, чтобы послѣдняя снова указывала на нуль. Въ этомъ случаѣ сила тока пропорціональна *синусу* угла поворота (δ) Стр. 107.

буссоли ($J = k' \sin z$, гдѣ k' — постоянный множитель). При такомъ измѣреніи инструментъ сперва устанавливаютъ такъ, чтобы указатели магнитной стрѣлки въ положеніи покоя и визиръ (v, рис. 37) стояли какъ разъ на нулѣ. Такъ какъ визиръ не участвуетъ во вращеніи буссоли, то съ помощью него можно на градусной шкалѣ сдѣлать отсчетъ угла отклоненія. Слѣдовательно, нашъ гальванометръ есть вмѣстѣ съ тѣмъ и синусъ-буссоль. Обращеніе съ таковою, вслѣдствіе необходимости поворачивать кольцо, требуетъ бо́льшаго времени; но за то длина стрѣлки не имѣетъ вліянія на результатъ, ибо при отсчетѣ стрѣлка всегда находится въ плоскости кольца. Поэтому синусъ-буссоль (изобрѣтенная Пулье 1837) предпочтительно употребляется для точнаго измѣренія слабыхъ токовъ. Чтобы не задерживаться въ опытахъ вычисленіями, мы пользовались градуированной шкалою, по которой отсчеты прямо пропорціональны силѣ тока ($J = k'' . A$, гдѣ A — число дѣленій по градуированной шкалѣ). — Само собою понятно, что достижимая степень точности измѣреній зависитъ отъ тщательности, съ которорой нанесена градуированная шкала.

Стр. 110. **10**. Право Шиллинга на первенство въ дѣлѣ изобрѣтенія электромагнитнаго телеграфа призналъ уже Мунке (Gehler's Wörterbuch 1838, IX, стр. 111—115). Въ новѣйшее время также Цетше (Zetzsche, Geschichte der Telegraphie, Berlin 1877, стр. 66) и Нетоличка (Netoliczka, Illustrierte Geschichte der Elektricität, Wien 1886, стр. 174—176). — Въ нѣмецкихъ учебникахъ, страннымъ образомъ, объ этомъ не упоминается.

Стр. 125. **11**. Легко устраиваемый универсальный станокъ, служившій намъ и въ качествѣ Амперова станка (рис. 23), и какъ модель мультиплицатора (рис. 35, 36), можетъ годиться для всѣхъ классныхъ опытовъ съ гальваническимъ токомъ, — если не имѣется въ распоряженіи отдѣльнаго градуированнаго гальванометра. [См. болѣе подробное описаніе въ Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unt. VIII, стр. 155]. Чтобы воспользоваться имъ въ качествѣ модели тангенсъ-буссоли, берутъ короткую магнитную стрѣлку (напр. такой формы,

какъ на рис. 35, *B*, длиною въ 3 см. отъ одного изгиба до другого). Тогда совершенно достаточно круга изъ толстой проволоки 20 см. діаметра. — Если поставить кольцо въ разстояніи 5 см. ($^1/_4$ діаметра кольца) отъ средины стрѣлки, то тангенсы угловъ отклоненія будутъ пропорціональны силѣ тока (независимо отъ длины стрѣлки). Эта форма тангенсъ-буссоли была указана Гельмгольцемъ и Гогеномъ (Gaugin). — Для термоэлектрическихъ токовъ и обнаруженія магнито-электрической индукціи берутъ двѣ двойныхъ рамы и астатическую стрѣлку (рис. 62), вслѣдствіе чего приборъ дѣлается очень чувствительнымъ гальванометромъ, стрѣлка котораго, благодаря мѣдному успокоителю, устанавливается очень скоро, — а этимъ сберегается много времени. Еще лучше, вмѣсто упомянутыхъ мѣдныхъ гильзъ 4 мм. толщиною (см. рис. 62), сдѣлать [по предложенію механика G. Lorenz'a (O. Haase) въ Хемницѣ] тѣ 4 рамки, на которыя наматывается изолированная мѣдная проволока, изъ толстыхъ пластинъ электролитической мѣди и оправить края эбонитомъ. Для изготовленія магнитныхъ стрѣлокъ очень пригодны толстыя фортепіанныя проволоки или тонкія спицы велосипедныхъ колесъ, такъ какъ онѣ гнутся холодными, что значительно облегчаетъ работу. Для закаливанія стрѣлокъ, подлежащихъ намагничиванію, ихъ нагрѣваютъ на кускѣ жести надъ пламенемъ спиртовой лампы, пока онѣ не посинѣютъ съ поверхности; тогда ихъ бросаютъ въ сосудъ съ вазелиновымъ масломъ. Та половина стрѣлки, на которой будетъ южный полюсъ, затѣмъ очищается мелкой наждачной бумагою.

Каждая изъ обмотокъ (R_1 R_2 R_3 R_4, рис. 62) состоитъ изъ 50 оборотовъ мѣдной проволоки толщиною въ 1 мм. Въ случаѣ астатической стрѣлки соединеніе проволокъ должно быть таково, чтобы направленіе тока въ обѣихъ верхнихъ обмоткахъ было противоположно направленію его въ обѣихъ нижнихъ. Часто бываетъ желательно, по возможности, приравнять сопротивленіе обмотокъ сопротивленію источника тока (термо-элемента или индукціонной катушки); это до нѣкоторой степени можетъ быть достигнуто различнымъ соединеніемъ обмотокъ. Для

удобства, тотъ конецъ каждой обмотки, чрезъ который токъ долженъ входить, обвитъ красным шелкомъ, а другой зеленымъ. Всѣ 8 концовъ припаяны къ никкелированнымъ мѣднымъ пластинкамъ съ вырѣзами (см. рис. 42, стр. 71). Помощью нѣсколькихъ маленькихъ (гаечныхъ) зажимовъ проволоки можно соединять такъ или иначе. Свободные концы проведены къ двойнымъ гаечнымъ зажимамъ K_1 и K_2 (на рис. 62 K_1 и K_2, по ошибкѣ, изображены въ видѣ обыкновенныхъ винтовыхъ зажимовъ). Если сопротивленіе отдѣльной обмотки $= W$, то мы можемъ слѣдующимъ образомъ измѣнять общее сопротивленіе гальванометра: 1) Всѣ 4 обмотки соединяютъ послѣдовательно; общее сопротивленіе $= 4\ W$. 2) Верхнія и нижнія обмотки соединяютъ параллельно (т. е. сообщаютъ K_1 съ обоими красными концами соотвѣтствующихъ зажиму K_1 обмотокъ, K_2—съ зелеными концами обмотокъ, а потомъ соединяютъ между собою верхнія и нижнія обмотки); сопротивленіе $= 2\ W/2 = W$, т. е. только $^1/_4$ предыдущаго. 3) Всѣ 4 обмотки вводятъ параллельно (т. е. K_1 сообщаютъ со всѣми 4-мя красными концами, K_2 со всѣми 4-мя зелеными); сопротивленіе $= W/4$, т. е. въ 16 разъ меньше, чѣмъ при послѣдовательномъ соединеніи.

Когда обмотки соединены такъ, что токъ обходитъ по нимъ въ одномъ и томъ же направленіи, астатическая стрѣлка (если сопротивленіе и число оборотовъ отдѣльныхъ обмотокъ одинаковы) не должна отклоняться. Поэтому, если напр. въ цѣпь верхнихъ обмотокъ включить проволоку, сопротивленіе которой желаютъ знать, а въ цѣпь нижнихъ вводить опредѣленныя сопротивленія, пока отклоненіе не будетъ $= 0$, то можно сдѣлать очень точное сравненіе сопротивленій, даже пользуясь мало-постояннымъ элементомъ (ибо по обѣимъ вѣтвямъ цѣпи всегда проходитъ одинъ и тотъ же токъ). Подобнымъ же образомъ можно сравнить между собою силу тока отъ двухъ разныхъ гальваническихъ элементовъ; но останавливаться на этомъ подробнѣе было бы здѣсь неумѣстно.

Если, вмѣсто астатической стрѣлки, возьмемъ стрѣлку, состоящую изъ двухъ параллельныхъ и одинаково-направленныхъ магнитиковъ, то получимъ, при употребленіи пар-

ныхъ обмотокъ, обыкновенный чувствительный мультипликаторъ, но съ мѣднымъ успокоителемъ. Конечно, въ этомъ случаѣ токъ долженъ имѣть одинаковое направленіе во всѣхъ 4 обмоткахъ. Такая стрѣлка имѣетъ передъ астатическою то преимущество, что она очень энергично устанавливается въ магнитномъ меридіанѣ. Упомянутыя выше сравненія сопротивленій могутъ быть произведены и съ этимъ приборомъ (хотя и менѣе точно), для чего одно изъ развѣтвленій тока направляютъ по обмоткамъ R_1 и R_2 (рис. 62), другое по обмоткамъ R_3 и R_4 такъ, чтобы дѣйствіе обѣихъ вѣтвей на двойную стрѣлку взаимно уничтожилось. Для обнаруженія термоэлектрическихъ и индукціонныхъ токовъ (рис. 63—65) чувствительность прибора въ этомъ случаѣ недостаточна.

Для обнаруженія очень слабыхъ токовъ, вмѣсто указателя, прикрѣпляютъ зеркальце (S, рис. 62), которое отражаетъ падающіе на него сквозь щель лучи свѣта, направляемые на зеркальце помощью собирательнаго цилиндрическаго стекла съ большимъ фокуснымъ разстояніемъ (около 100 см.); отчетливое изображеніе щели принимается на горизонтальную линейку, раздѣленную на миллиметры. Такимъ образомъ можно замѣтить малѣйшія колебанія стрѣлки. Гальванометръ должно въ этомъ случаѣ защищать отъ движеній воздуха посредствомъ колпака. (Такъ какъ примѣненіе зеркальца требуетъ хорошо затемненной комнаты, то мы имъ не пользовались).

Такъ какъ длинный указатель астатической стрѣлки подверженъ дѣйствію движеній воздуха, то онъ берется лишь 8—10 см. длиною, и вся рама съ указателемъ покрывается стеклянным цилиндромъ, который состоитъ изъ двухъ сдвигающихся частей и на которомъ сдѣланы дѣленія.

12. Перемѣнные токи (токи перемѣннаго направленія) имѣютъ свойства, которыми они существенно отличаются отъ обыкновенныхъ токовъ или прерывистыхъ токовъ постояннаго направленія. Ихъ силу нельзя измѣрять ни гальванометромъ, ни вольтаметромъ, ибо дѣйствія быстро слѣдующихъ другъ за другомъ противоположныхъ токовъ взаимно уничтожаются: для измѣреній необходимы другіе аппараты, которые мы описывать не станемъ. Кромѣ того, самоиндукція въ провод- Стр. 144 153.

никѣ, особенно если онъ имѣетъ спиральную форму, такъ значительна, что сопротивленіе проволочной катушки можетъ быть больше, чѣмъ короткаго воздушнаго промежутка. Слѣдовательно, сопротивленіе проводника при перемѣнныхъ токахъ въ значительной степени зависитъ отъ его формы (чего мы не имѣли въ случаѣ постоянныхъ токовъ). Поэтому и законъ Ома не имѣетъ примѣненія къ перемѣннымъ токамъ. Въ случаѣ постоянныхъ токовъ электропроводимость проволокъ одной и той же длины и изъ одинаковаго матерьяла пропорціональна площади ихъ поперечнаго сѣченія (см. стр. 90). Это отношеніе при перемѣнныхъ токахъ большого числа смѣнъ въ секунду уже не имѣетъ мѣста: повидимому перемѣнные токи (выражаясь образно) не проникаютъ внутрь проволоки, а какъ бы скользятъ по ея поверхности. — Перемѣнные токи магнито-электрическихъ и особенно динамо-электрическихъ машинъ отличаются сильными физіологическими дѣйствіями и могутъ, проходя чрезъ человѣческое тѣло, вызвать смерть. Какъ бы въ противорѣчіи съ этимъ стоятъ опыты Тесла, по которымъ токи очень большого числа смѣнъ въ секунду (до 300000) и большой электродвижущей силы (60000 вольтъ и больше) могутъ быть пропускаемы чрезъ человѣческое тѣло безъ какихъ-либо непріятныхъ ощущеній для субъекта. (Въ 1893 г. эти опыты были повторены проф. Н. Г. Егоровымъ въ физической аудиторіи Военно-Медицинской академіи передъ многочисленными слушателями).—Вы знаете, что раскаленное тѣло испускаетъ лучи весьма различной длины волны. Нашъ глазъ воспринимаетъ изъ нихъ, какъ свѣтъ, только тѣ, которые соотвѣтствуютъ 400—800 билліонамъ колебаній въ секунду. Для прочихъ лучей зрительный нервъ совершенно невоспріимчивъ. Можно думать, что сходнымъ образомъ наши чувствительные нервы настроены лишь на извѣстныя, сравнительно медленныя колебанія, а потому не возбуждаются слишкомъ быстрыми колебаніями токовъ Тесла.

Для тѣхъ изъ читателей, которые пожелали бы подробнѣе познакомиться съ ученіемъ объ электричествѣ и его приложеніями, можно рекомендовать на русскомъ языкѣ слѣдующія книги:

Жуберъ. Введеніе въ ученіе объ электричествѣ. Перев. подъ ред. проф. А. Столѣтова. 2-е изданіе. М. (Превосходное руководство по всѣмъ отдѣламъ ученія объ электричествѣ).

Г. Герцъ. Объ отношеніи между свѣтомъ и электричествомъ. Спб. 1890. (Рѣчь на съѣздѣ нѣмецкихъ естествоиспытателей и врачей въ сентябрѣ 1889).

И. Бортманъ. Магнитный потокъ и его дѣйствія. Физическое объясненіе динамо-машинъ, трансформаторовъ и электромоторовъ съ обыкновеннымъ и вращающимся магнитнымъ полемъ. Спб., 1893.

Эпштейнъ. Очеркъ физическихъ основаній электротехники въ общепонятномъ изложеніи. Шесть популярныхъ опытныхъ чтеній. Спб., 1894.

Кадіа и Дюбостъ. Руководство къ примѣненію электричества въ промышленности. Спб. 1894. (Книга по преимуществу техническая).

К. Красвичъ. Учебникъ физики. XII-е (посмертное) изданіе, подъ редакціей и съ измѣненіями А. Ефимова. Спб., 1895 *).

---

*) На нѣмецкомъ языкѣ въ особенности можно рекомендовать книгу *L. Graetz*, die Elektricität und ihre Anwendungen. (5 Auflage. Stuttgart, 1894), отличающуюся весьма яснымъ изложеніемъ.

ЦѢНЫ

ОПТИЧЕСКАГО и МЕХАНИЧЕСКАГО МАГАЗИНА

О. РИХТЕРА въ С.-Петербургѣ

НА ПРИБОРЫ,

ПОТРЕБНЫЕ ДЛЯ ОПЫТОВЪ ПО НАСТОЯЩЕМУ РУКОВОДСТВУ *).

	Руб.	К.
*Алюминіевый электрометръ рис. 9 съ 2 конденсаторами, дѣленной шкалой, эбонитовою ручкою, 2 крючками новаго серебра и 2 проволочными сѣтками для защиты . . .	18	—
Слюдяная пластинка (10 × 10 см.)	1	—
Эбонитовая пробка съ металлическимъ стержнемъ и бумажнымъ листочкомъ	3	—
Шкала въ вольтахъ для проекціи	5	—
Шаръ въ 50 мм. съ 2 изолированными пробными шариками	4	—
*Проекціонный столъ, 1 лампа, 2 чечевицы, 1 ширма, рис. 13	30	—
Стеклянная склеенная ванна съ параллельными стѣнками, рис. 12	5	—
*Бумажный электроскопъ рис. 8	5	—
Алюминіевый электроскопъ съ конденсаторомъ и дѣленіемъ .	15	—
*Универсальный станокъ рис. 23, 35, 62, въ качествѣ прибора Ампера, тангенсъ-буссоли и мультипликатора для термоэлектрическихъ токовъ	75	—
Стеклянный цилиндръ для покрыванія гальванометра, при демонстраціи съ зеркаломъ, съ дѣленіемъ	8	—
Ящикъ для сбереженія соленоида и стрѣлки	1	50
Отдѣльное плоское зеркало	7	—
Двойная магнитная стрѣлка	5	—
*Коммутаторъ Румкорфа рис. 20	15	—
*Проводникъ для опытовъ Ампера рис. 30	3	50
*Малый подъемный элементъ на деревянномъ брускѣ, рис. 10.	1	50
*Малая подъемная батарея изъ 5 элементовъ на деревянномъ брускѣ, рис. 15	12	—

*) Звѣздочкою обозначены приборы, придуманные или видоизмѣненные Б. Ю. Кольбе. Эти приборы изготовляются также механиками Max Kohl и G. Lorenz въ Хемницѣ, Ferdinand Ernecke въ Берлинѣ и E. Leybold's Nachfolger въ Кельнѣ.

	Руб.	К.
*Малый постоянный элементъ *U*-образный, на деревянномъ брускѣ, рис. 17	3	—
*Батарея изъ 5 постоянныхъ *U*-образныхъ элементовъ, на деревянномъ брускѣ, рис. 18	20	—
Батарея изъ 50 постоянныхъ *U*-образныхъ элементовъ, на деревянномъ брускѣ и доскѣ	100	—
*Синусъ-и тангенсъ-буссоль, рис. 37	50	—
Сосудъ для жидкаго сопротивленія съ цинковыми электродами и дѣленіемъ, рис. 43	15	—
Магнитная стрѣлка на штативѣ, рис. 31	2	—
Подвижной проводникъ Мюленбейна, видоизмѣненный Кольбе рис. 21	18	—
Подковообразный электромагнитъ, рис. 29, *A*	6	—
Электромагнитъ Джоуля, рис. 29, *B*	15	—
Нормальный элементъ Даніеля по Флемингу, для градуировки гальванометра, рис. 38	15	—
*Вольтметръ для гремучаго газа, рис 53, *A*	8	—
*Приборъ для разложенія воды по Гофману, рис. 53, *B*	15	—
Модель телеграфа Морза рис. 57	18	—
Термо-электрическій элементъ Зеебека, рис. 60, *A*	12	—
Индукціонная катушка съ прерывателемъ, рис. 67, *A*	18	—
*Спираль Румкорфа, дающая искру въ 10 мм. длины, съ коммутаторомъ, рис. 67, *B*	18	—
Магнито-электрическая машина Штерера съ принадлежностями рис. 68	125	—
Магнитно-электрическая машина Кларка	35	—
Модель динамоэлектрической машины Грамма по Розенбергу	15	—
Пара телефоновъ	8	—
Модель микрофона Юза	6	—
Желѣзные цилиндрики или шарики для опытовъ рис. 1, по 10 к.	—	—
*Пробный электроскопъ, рис. 4, *B*	2	—
Элементъ Даніеля, рис. 14, *A*	3	—
Элементъ Бунзена, для хромовой жидкости, рис. 14, *B*	5	—

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ СОДЕРЖАНІЯ.

Азотносеребряная соль 103, 115.
Аккумуляторъ 118.
Алюминіевый электрометръ 21; шкала вольтъ 104.
Алмальгамированіе цинковыхъ пластинокъ 28.
Ампера законы 45—47, 54; гипотеза 55; правило 54; станокъ 45 (рис. 23).
Амперъ, единица силы тока, 92, 104.
Аналогія между гидродинамическими и электродинамич. явленіями 13, 77;—между магнитными и электростатическими 7.
Анодъ 101.
Періодическое колебаніе магн. стрѣлки 126; объясненіе 136.
Астатическая стрѣлка 126.
Атомы 5 (выноска).

Батарея изъ малыхъ подъемныхъ элементовъ 32;—внутр. сопротивленіе 93;—способъ соединенія 33, 87; постоянные элементы 36.
Башмаки электромагнита 146.
Белля телефонъ 157.
Бумажный электрометръ 13;—электроскопъ 18.
Бунзеновъ элементъ 31, 37.
Буссоль 64 (рис. 37); синусъ-б. 171 (приб. 9); тангенсъ-б. 107, 172 (приб. 11); градуировка 66—68; постоянная градуиров. шкалы 106; переводный множитель 107.
Буффа контактный опытъ 21 (рис. 9).

Вагнера молотокъ 140.
Веберъ и Гауссъ, электромагнитный телеграфъ 110.
Взаимодѣйствіе между магнитами 4; между магнитами и токами 48; между токами 43.
Взрываніе посредствомъ гальв. тока 98.
Висмутъ 119.
Витстонъ, побочное включеніе при динамомашинѣ 151; стрѣлочный телеграфъ 112.
Вліяніе числа оборотовъ на отклоненіе стрѣлки 60.
Внутреннее сопротивленіе 80; измѣреніе 93.
Внѣшнее сопротивленіе 80.
«Вододвижущая» сила 11, 15, 78.
Водородный вольтаметръ 100.
Волны стоячія электрическія 165.
Вольта, контактная теорія 30, 167 (приб. 2);—основной опытъ 30, 167 (приб. 2);—открытіе 30;—рядъ 168 (приб. 2);—элементъ 23.

Вольтаметръ 100.
Вольтметръ 101.
Вольтовъ элементъ 23.
Вольтъ, какъ практическая единица э. с. 16 (выноска), 104.
Вторичная обмотка 138, 169.
Вторичные токи 116.
Вторичный элементъ (батарея) 117.

Гаечные зажимные винты 71.
Гальвани наблюденіе 29.
Гальванизмъ 30.
Гальваническая поляризація 115.
Гальваническіе оттиски 108.
Гальваническіе элементы 31.
Гальваническое электричество 30.
Гальванометрическое дѣйствіе 70, 71.
Гальванометръ 64 (рис. 37); градуировка 66—68.; постоянная градуиров. шкалы 106.
Гальванопластика 108.
Гальваноскопъ 58.
Гальванотипія 108.
Гаусса и Вебера электромагнитный телеграфъ 110.
Гёбель, изобрѣтатель капильныхъ лампъ 171.
Гельмгольца тангенсъ-буссоль 173 (приб. 11).
Гемпеля астатическая стрѣлка 125 (рис. 62, В).
Герцъ, электрическія волны 165.
Гефнеръ-Альтенека барабанный индукторъ 150.
Гейслеровы трубки 142.
Гидродинамическія явленія 11—13; 75—79.
Гипотезы: Ампера 55, Вебера 5, Вольты 30, 168 (приб. 2)
Гогена тангенсъ-буссоль 173 (приб. 11).
Гофмана водородный вольтаметръ 100.
Градуированіе гальваноскопа 66—68.
Градуированіе электрометра въ вольтахъ 104;—гальванометра 67.
Градуированная шкала: гальванометра 67, 68, 106; постоянная градуир. шкалы 106;—электрометра 13, 37, 104.
Грамма кольцо 149, 150.
Грамма магнито-электрич. машина 149.
Гремучегазовый вольтаметръ 100 (рис. 53), 115.
Гремучій газъ 100.
Гровс элементъ 36.

Даніелевъ элементъ 31; его э. с. 35, 117.
Движеніе проводника въ магнитномъ полѣ 133.
Движеніе тока вокругъ магнита 57.
Двухромокаліевая соль 169 (приб. 3).
Двухромонатріевая соль, растворъ 31, 79, 169 (приб. 3).
Деларивъ, химическая теорія гальв. тока 29.
Дерево, изолирующій матерьялъ при гальв. токахъ 32.
Джоуля электромагнитъ 52;—законъ развитія теплоты 99.
Динамическое электричество 9; отличіе отъ статическаго 16
Динамо-машины 145—152; способы включенія 151.
Динамо-электрическое начало 145.
Діамагнитизмъ 167 (приб. 1)
Доказательства: Амперовыхъ законовъ 53—54;—законовъ Ленца 130;—законовъ Ома 80—82.

Дуговая лампа, электр. 152.
Дѣйствіе большого сопротивленія на теченіе воды 78;—короткихъ толстыхъ проволокъ на показ. гальванометра 71 (длинныхъ 72);—магнита на др. магнитъ 4, 7;—магнита на подвижный токъ 48;—тока на подвижный магнитъ 53;—столба жидкости, включеннаго въ цѣпь, 73, 74.
Дѣйствіе, производимое мягкимъ желѣзомъ на магнитное поле 146, 155, 156.
Дѣйствіе телефона 155—158.

Единица, практ., силы тока 92, 104 (Якоби 101); сопротивленія 91, 105; э. с. 104, 105.
Единица силы тока 92, 101, 104.
Единица сопротивленій 83.

Желѣзныя опилки 1, 127.
Животное электричество (Гальвани) 29.

Зависимость паденія электр. уровня отъ длины провода 15; отъ проводимости 19; отъ поперечнаго сѣченія 18.
Зависимость силы тока отъ э. с. 82; отъ общаго сопротивленія 81; отъ длины провода 87, 89, 90; отъ попер. сѣченія 87, 90; отъ сопротивленія 81.
Зажимные винты 32, 43, 71.
Зажимы при элементахъ 71.
Законъ магнитнаго притяженія и отталкиванія 4;—взаимнаго дѣйствія токовъ 45, 47;—направленія тока 55;—индукціонныхъ токовъ 132, 134;—Вольтова ряда 168.
Законы: Ампера 45—47. Джоуля 99. Ленца 132, Фарадэя 133—135; Якоби 101.
Зёммеринга электрохимический телеграфъ 110.
Земной магнитизмъ, направляющее дѣйствіе 47.
Земной отводъ 22 (выноска);—Штейнгейля 112.
Зеркальный гальванометръ 175 (приб. 11)
Золоченіе (гальванич.) 109.
Зубчатое колесо, какъ прерыватель 137.

Измѣреніе малыхъ разностей температуры 121;—сильныхъ токовъ 95.
Измѣреніе силы тока 103, 107.
Измѣреніе сопротивленія 93;—внутренняго 93.
Изолирующая способность дерева при гальв. токахъ 32.
Изолирующія рукоятки 21, 23, 33, 35, 70.
Индуктируемый токъ (вторичн. катушка) 138.
Индуктирующій токъ 131.
Индукторъ 153.
Индукціонная катушка (спираль) 138—140.
Индукціонные токи постояннаго направленія 148.
Индукціонный приборъ (спираль) 139.
Индукціонный токъ 129, законъ 135.
Индукція, магнитоэлектрическая 128; правило 132, 134.
Истинныя отклоненія стрѣлки гальванометра 67.
Историческія свѣдѣнія: аккумуляторы 117; гальванизмъ 29; Граммово кольцо 150; діамагнитизмъ 167 (приб. 1); контактное электричество 30, 167 (приб. 2); магнито-электрич. машина 143; машина съ кольцомъ Грамма 149; отклоненіе магнитной стрѣлки 53, 169 (приб. 5); телеграфія 109, 172 (приб. 10).

Калильныя лампы, электр. 98, 153, 171.
Катодная пластинка 103.
Катодъ 101.
Кирхгоффа законъ 94.
Кларка нормальный элементъ 37.
Клише, гальванопластич. 108.
Коксъ (ретортный уголь) 36
Колебанія, электрическія 165.
Количество электричества 75, 105;—мѣра силы тока 79.
Коллекторъ динамомашины 150.
Кольдани открытіе 29.
Кольцевой якорь 147.
Коммутаторъ (обратитель тока) 42, 144.
Компоундъ-машины 152.
Конденсаторъ 24, 104, 141.
Контактная теорія 29.
Контактный ключь (замыкатель) 41, 49, 113.
Контактный опытъ: Буффа 22, Вольты 30, 167 (приб. 2).
Контактъ 23, 30.
Кулонъ, единица количества электричества 105.

Латимеръ Кларка нормальный элементъ 37.
Лекланше элементъ 36.
Лекціонный гальванометръ 64 (рис. 37), 104.
Лекціонный мультипликаторъ 125 (рис. 62), 172 (приб 11).
Ленца законъ 99, 132.
Лесажа электростатическій телеграфъ 109.
Лоджа опытъ 57.
Лютге (Lütdge), изобрѣтатель микрофона 159.

Магазинъ (наборъ) сопротивленій 91 (выноска)
Магнитная ось 66.
Магнитная стрѣлка 3, 59, 64; астатическая 126; двойная 174 (приб. 11).
Магнитное вліяніе 2, 6.
Магнитное поле 57, 128, 146, 156.
Магнитные полюсы 1, 3, 5, 6, 49, 128.
Магнитныя притяженія и отталкиванія 2;—дѣйствія проводника, по которому проходитъ токъ, 47—49.
Магнитныя силовыя линіи 127, 135, 146, 155.
Магнитный брусокъ (4), 47, 66, 133.
Магнитный желѣзнякъ 1.
Магнито-электрическая индукція 127 и слѣд.
Магнитъ, естественный 1; стальной 3, 47, 57, 131, 133; электромагнитъ 50, 52.
Максвелль, электромагнитная теорія свѣта 164.
Манганинъ 93.
Математическая формула для силы тока 83.
Машина, динамоэлектрич. 145—152; магнито-электрич. 143—144; для токовъ постояннаго направл. 144, 148; — для перемѣнныхъ токовъ 143, 153.
Машина съ кольцевымъ якоремъ 149.
Машина съ нормальнымъ включеніемъ 151.
Машина съ побочнымъ включеніемъ 151.
Металлическая тонкая тесьма (Lametta) 58, 98, 169 (приб. 4).
Микрофонъ 159.

Модель телефона (Bosschard) 157.
Молекулы 5 (выноска).
Молекулярные магниты 5, 55;—токи 55.
Морза пишущій телеграфъ 112.
Мультипликаторъ 61, 121, 125 (рис. 62).
Мѣдные успокоители 126, 136.
Мѣдный вольтаметръ 102.
Мѣдный купоросъ 31.
Мѣдный осадокъ 31, 108.
Мѣра эл.-дв. с. 15, 101, 105; — силы тока 82, 92, 101, 104, 105; — силы водяного тока 76.
Мѣстная батарея 113.
Мѣхъ при подъемныхъ элементахъ 69.
Мюленбейна приборъ 43.

Нагрѣваніе токомъ 98, 153.
Наибольшая сила тока 87.
Наибольшая чувствительность гальванометра 89, 103, 171 (праб. 9).
Наивыгоднѣйшее соединеніе элементовъ батареи 87.
Намагничиваніе 2, 3, 5, 56;—нагираніемъ 3;—чрезъ вліяніе 6; — токомъ 49—52.
Намагничивающая спираль 50.
Направленіе Амперовыхъ молекулярныхъ токовъ 56;— земныхъ электр. токовъ 57;—индукціоннаго тока 129, 132;—магнитныхъ силовыхъ линій 134;—электрическаго тока 17, 55.
Направленіе тока 17, 55.
Направляющая сила земного магнитизма 3, 7, 47.
Негативъ, гальванопластическій 108.
Непостоянство Вольтова элемента 26; причина 27, 28.
Нейзильберная проволока 41, 72.
Никкель 2.
Нормальный элементъ Кларка 37; Флеминга 65.
Нулевой уровень 12;—электрическій 10.

Обзоры пройденнаго: 20, 38, 62, 96, 122, 135.
Образованіе водорода въ Вольтовомъ элементѣ 28.
Обратитель тока (коммутаторъ) 42, 144.
Одноименные полюсы 4.
Оловянная фольга (станніоль) 44, 141.
Ома, законъ 82, 85; доказательство 80—82.
Омъ, единица сопротивленія 91.
Опредѣленіе внутр. сопротивленія батареи 93.
Опредѣленіе э. с. гальванометромъ 74; электрометромъ 34, 37.
Оптическій телеграфъ 109.
Основной опытъ Фарадея 124; Вольты 36, 167 (праб. 2).
Остаточный магнитизмъ 145.
Ось магнитной стрѣлки 66.
Отвѣтвленный токъ (въ динамомашинѣ) 151.
Отклоненіе магнитной стрѣлки токомъ 53, 67—68; законъ (Амперово прав.) 54.
Отношеніе желѣза и стали къ намагничиванію 3, 6, 56.
Отраженіе электрическихъ волнъ 165.
Отталкиваніе магнитн. полюсовъ 4; токовъ 45.

Паденіе потенціала 16.

Паденіе уровня 12; электрич. 13, 14; зависимость отъ длины проводника 15;— отъ проводимости 19; постоянство паденія 14.
Паденіе электр. уровня въ проводникахъ 13, 14, 18, 41.
Параллельное соединеніе элементовъ 33, 84—85.
Парамагнитизмъ 167 (приб. 1).
Параффинъ, какъ изоляторъ 13.
Пачинотти кольцо 147.
Первичная катушка (спираль) 138, 160.
Первичный токъ 116.
Переводный множитель тангенсъ-буссоли 107.
Передача силы, см. передача работы
Передача работы, электр. 154.
Перекись свинца 117.
Перемѣнные токи 144, 153, 175 (приб. 12).
Пикси, первая магнито-электрическая машина 143.
Пишущій телеграфъ 112.
Планте, вторичная батарея 117.
Подвижные проводники 43, 45, 48, 53, 57, 127, 133.
Подковообразный электромагнитъ 52.
Подъемная батарея, малая 32 (рис. 15), 40 (рис. 18).
Подъемная сила электромагнита Джоуля 52.
Подъемный элементъ 69;—малый 23, 32.
Покрытіе мѣдью (гальванич.) 108;—угольныхъ брусковъ 32 (выноска).
Полупроводники 9.
Полюсныя проволоки 23, 25.
Полюсы: гальваническаго элемента 25; магнитные 1, 4.
Поляризаціонная батарея 117.
Поляризаціонный токъ 116.
Поляризація. гальваническая 115
Понятіе о «вододвижущей силѣ» 11; о силѣ тока электр 74, 79; о силѣ тока воды 76; объ электродвижущей с. 15.
Пористые цилиндры гальв. элементовъ 31.
Послѣдовательное включеніе при динамомашинѣ 150.
Послѣдовательное соединеніе элементовъ 33, 84—85.
Постоянная градуированной шкалы 106.
Постоянные элементы 31, 35, 36—37; ихъ э. с. 37.
Постоянный элементъ, малый 35 (рис. 17).
Поясъ безразличія 1
Правило Ампера 54.
Практическія единицы: силы тока 92, 101, 105;—сопротивленія 91, 105;— эл.-дв. силы 104, 105.
Превращеніе токовъ въ многовольтные и обратно 138, 142, 154.
Превращенія энергіи въ телефонѣ 158.
Преломленіе электр. волнъ 165.
Прерыватель тока 49, 115, 137, 140
Приводныя проволоки, скрученныя 66 (выноска).
Припаяваніе проволокъ къ угольнымъ брускамъ 32 (выноска).
Притяженіе магнитныхъ полюсовъ 4; токовъ 44—46.
Причина гальваническаго тока 28—30;—индукціоннаго тока 132, 135;—электрическаго тока 17.
Пробный электроскопъ 9.
Провода. телеграфные 110, 112.
Проводники электричества (таблица) 92.
Проводникъ для Амперова опыта 53; изъ нейзильберной проволоки 41, 72; изъ шнурка 9, 14.

Проводящая способность: проволокъ 91, жидкостей 88, сплавовъ 93, различныхъ тѣлъ 92; удѣльная—91; измѣненіе съ температурою 93.
Проволочная катушка, магнитное дѣйствіе 49.
Проектированіе шкалы электрометра 22.
Противорѣчіе между показаніями электрометра и гальванометра 60, 75.
Пулуя трубки 142.

Развѣтвленіе тока 94.
Различіе дѣйствія гальв. элементовъ и электрофорной машины 26, 61;—магнитн. и электр. явленій 6—8;—статич. и динамич. электричества 16;—унитарной и дуалистич. гипотезъ 7, 10.
Разложеніе воды 99, 101.
Разноименные магн. полюсы 4.
Разность полюсовъ (электр.) 25, 152.
Разность потенціаловъ 10 (выноска);—какъ мѣра «вододвижущей» силы 12;—какъ мѣра э.-дв. силы 15.
Разность уровней 11, 77;—электрическая 15, 18, 25, 41.
Разряженіе наэлектризован. тѣла 8.
Расходованіе цинка въ гальв элементѣ 28.
Рейса телефонъ 155.
Робинзонъ улучшенный пишущій телеграфъ 112.
Романози, отклоненіе магнитной стрѣлки токомъ 54, 169. (приб 5).
Ртутная единица сопротивленія 91.
Ртутный замыкатель 25 (рис. 25, *B*), 49, 115.
Румкорфа коммутаторъ 42.
Румкорфова спираль 139 (рис. 67, *B*), 140.
Рядъ Вольты 168 (приб. 2).

Самодѣйствующій обратитель тока 144.
Самодѣйствующій указатель направл. тока 42.
Самоиндукція проводника 138, 175.
Свариваніе, электрич. 153.
Свѣтъ, электрическій 152.
Серебряный вольтаметръ 103.
Сила тока 74, 77, 79 105, 107, 116;—водяного 76.
Силовыя линіи магнитныя 127, 135.
Сименсово динамо-электрическое начало 145.
Синусъ-буссоль 64 (рис. 37), 171 (приб. 9)
Склоненіе магнитной стрѣлки 3 (выноска).
Слѣдствія изъ закона Ома 84, 85.
Слюдяныя пластинки, какъ изоляторы, 21, 141.
Смѣна гипотезъ 162.
Соединеніе, параллельное 33, 34; послѣдовательное 33, 34, 36.
Снединеніе элементовъ въ батарею 84, 86; наивыгоднѣйшее 87.
Соединеніе элементовъ другъ противъ друга 36.
Соленоидъ 48 (рис. 26).
Сопротивленіе при различной группировкѣ элементовъ 86;—обмотокъ гальванометра 174 (приб. 11);—индукціонныхъ катушекъ 144.
Сопротивленіе электр. 73, 75, 89 (внѣшнее 80, внутреннее 80, удѣльное 91).
Сплавы, ихъ эл. проводимость 93.
Способы соединенія въ динамомашинѣ 151—152;—индукціонныхъ катушекъ 144;—обмотокъ мультипликатора 174 (приб.—11); элементовъ 33, 36.
Сравненіе градусной и градуированной шкалъ гальванометра 106;—

Даніелева и хромоваго элемента 35;—магнитн. и электростатич. явленій 7;—нѣсколькихъ постоян элементовъ 37.
Сравненіе сопротивленія проволокъ 89.
Стальной магнитъ 47, 50, 57, 131.
Станніоль для подвижныхъ проводниковъ 44.
Степень наполненія 12.
Стереотипное печатаніе 109.
Стрѣлка, астатическая 125 (рис. 62, *B*)
Сурьма 120.
Сѣверный полюсъ магн. 3.

Таблица сопротивленія и проводимости 92.
Тангенсъ-буссоль 107 (см. рис. 37, стр. 64); градуировка 66, 106; длина стрѣлки 107; переводный множитель 107; постоянная градуированной шкалы 106.
Телеграфная модель 113.
Телеграфная установка 114.
Телеграфъ съ магнитн. стрѣлкою 110, 114.
Телеграфъ. электромагнитный 110; электростатическій 109; электрохимическій 110; эл. пишущій 112; эл. стрѣлочный 112
Телефонъ 155—159; модель 157,
Теоретическія слѣдствія изъ закона Ома 84, 94.
Теорія динамомашины 145—152;—гальваническаго тока 29, 30.
Тепловое дѣйствіе электрическаго тока 98, 152.
Термическій (термоэлектрич.) столбъ 120.
Термоэлектрическій рядъ 120.
Термоэлектрическій токъ 119; его направленіе 119, 120.
Термоэлементъ 119 (рис. 60).
Токъ размыканія (индукц.) 137.
Точка безразличія 132, 147, 149.
Трансформаторъ 142. 154.
Трансформація токовъ 138, 142, 154.

Угольные бруски 32, 36; припаиваніе проволокъ 32 (выноска).
Удѣльная проводящая способность 91
Удѣльное сопротивленіе 91.
Указатель направленія тока. автоматическій 42.
Универсальный станокъ 172—175 (приб. 11).
Успокоеніе магнитной стрѣлки 126, 136.
Устраненіе водорода, выдѣляющ. въ элементахъ 31.

Фарадэй, химич. теорія гальванич. тока 29; основной индукціон. опытъ 124 (рис. 61); правило магнито-электрич. индукціи 134.
Физіологическія дѣйствія экстратока 137, 138.
Флеминга нормальный элементъ 65 (рис. 38).
Фора аккумуляторъ 118.
Формула силы тока 82, 84

Химическая теорія гальваническаго тока 29.
Химическіе измѣрители тока 101.
Химическіе процессы въ элементѣ 28.
Химическое взаимодѣйствіе между металлами и жидкостями 29.
Ходъ степени электризаціи (потенціала) въ проводникѣ 9, 10, 41;—магнитныхъ силовыхъ линій 146, 155.
Хромовая жидкость 31; 169 (приб. 3).
Хромовый элементъ 31.

Центрированіе стального шпенька буссоли 65 (выноска)
Цинковая проволока 21.
Цинковыя палочки 32;—пластинки 21, 73.
Цинковый купоросъ (сѣрнацинковая соль) 28, 31.
Цинкъ, амальгамированіе 28.
Цѣпь (батарея) 34; э. с. 33—36, 86; см. также батарея.

Число оборотовъ обмотки, вліяніе на уголъ отклоненія 61.

Швейгера мультипликаторъ 61.
Шиллинга электромагнитный телеграфъ 110.
Шкала вольтъ электрометра 104.
Штерера магнито-электрическая машина 143.
Штейнгейль, земной проводъ 112.

Эдисона калильная лампа 171 (приб. 8).
Эквиваленты, электрохимическіе 105.
Экстратокъ 137, 138.
Электризація металловъ при соприкоснов. съ жидкостями 21, 24.
Электрич. передача работы 154.
Электрическіе токи, земные 57.
Электр. калильныя лампы 98, 153, 171 (приб. 8).
Электрическій токъ 17.
Электрическое воспламененіе 98.
Электрическое освѣщеніе 152.
Электрическое свариваніе 153.
Электрическое теченіе 9.
Электричество, явленія статическаго 7.
Электродвижущая сила (э. с.) 15, 33—батареи при различн. соединеніи 34;—разныхъ элементовъ 37;—при различной группировкѣ элементовъ батареи 86;—поляризаціи 116; мѣра э. с. 15, 16, 104.
Электролизъ 99.
Электромагнитизмъ 50.
Электромагнитный телеграфъ Витстона 112; Гаусса и Вебера 110; Морза 112; Шиллинга 110.
Электромагнитъ 51; Джоуля 52; подковообразный 52.
Электрометрическое дѣйствіе 70.
Электрометръ, алюминіевый 21, 104; бумажный 13.
Электроскопъ 9, 18.
Электрофорная машина, какъ источникъ электр. 9, 14.
Электрохимическіе эквиваленты 105.
Электрохимическій телеграфъ 110.
Элементъ для проектированія 27 (рис. 12), 28.
Эрстедъ, отклоненіе магнитной стрѣлки 55.

Южный полюсъ, магн. 4.
Юза микрофонъ 159.

Якоби, единица силы тока 101; гальванопластика 108.
Якорь подковообразнаго магнита 52; динамо-машины 147.

Изданія К. Л. Риккера въ С.-Петербургѣ.

Невскій проспектъ, № 14.

Астрономія въ общепонятномъ изложеніи

С. Ньюкомба и **Р. Энгельмана**, дополненная **Г. Фогеленъ**.

Переводъ со 2-го нѣм. изданія **Н. С. Дрентельна**. 748 стр. съ 196 рис. и 2 фототипическ. таблицами. 1896. Цѣна 6 р.

По своимъ выдающимся достоинствамъ книга эта заслуживаетъ особаго вниманія со стороны лицъ, интересующихся астрономическими занятіями. Въ сжатомъ и богатомъ по содержанію изложеніи въ ней сообщается все наиболѣе доступное и существенное по этому въ высокой степени интересному предмету. Всѣ эти достоинства сохранились и въ русскомъ переводѣ, который исполненъ съ большою тщательностью. Внѣшность русскаго изданія также вполнѣ удовлетворительна. Все сочиненіе обильно иллюстрировано пояснительными рисунками.

(«Русская Мысль». 1895. Мартъ).

Звѣздный атласъ для небесныхъ наблюденій.

2-ое изданіе.

2 общія карты сѣвернаго и южнаго неба и 26 спеціальныхъ картъ звѣздъ, видимыхъ простымъ глазомъ до 35 градуса южнаго склоненія, съ обозначеніемъ перемѣнныхъ и двойныхъ звѣздъ, звѣздныхъ кучъ и туманныхъ пятенъ. Съ объяснительнымъ текстомъ и 46 рисунками въ текстѣ.

Составилъ, начертилъ и описалъ **Я. Мессеръ**.

1891. Цѣна въ переплетѣ 5 р., съ пересылкою 5 р. 50 к.

Одобрено Учен. Ком. Мин. Народн. Просвѣщ. *для фундаментальныхъ и ученическихъ библіотекъ средн. учебн. заведеній.*

Появленіе второго изданія «Звѣзднаго Атласа» какъ нельзя лучше доказываетъ, что въ нашемъ образованномъ обществѣ несомнѣнно существуетъ интересъ къ изученію небесныхъ явленій и притомъ изученію болѣе или менѣе серьезному, систематическому, а не поверхностному только.

(«Новости». 1891. № 65).

Подвижная карта звѣзднаго неба, съ объясненіями.

Начертилъ и описалъ **Я. Мессеръ**. 1892. Цѣна 2 р. 50 к.

Лекціи о душѣ человѣка и животныхъ.

Проф. **Вильгельма Вундта**.

Переводъ со 2-го нѣм. изданія д-ра **П. Я. Розенбаха**.

465 стр. съ 45 рис. 1894. Цѣна 5 р., въ переплетѣ 5 р. 75 к.

Лекціи Вундта на столько прославлены у насъ и такъ часто, со времени своего перваго изданія, лѣтъ 25 тому назадъ, цитировались, что не требуютъ здѣсь особой рекомендаціи. Вышедшее 2-е изданіе представляетъ собою и возобновленіе старой прекрасной книги, и вмѣстѣ съ тѣмъ новое сочиненіе даровитаго автора по психологіи душевныхъ ощущеній, гдѣ многія области психологическаго анализа, съ усовершенствованіемъ экспериментальнаго метода, стали на твердую почву. Переводъ этой книги издан вполнѣ прекрасно, какъ по внутреннимъ своимъ качествамъ, такъ и по внѣшнимъ.

(«Крымскій Вѣстникъ». 1894. № 217).

Изданія К. Л. Риккера въ С.-Петербургѣ.
Невскій проспектъ, № 14.

Русская исторія.

Профессора **А. Трачевскаго.**

2-е исправл. и расширен. изданіе съ указателями именъ, годовъ и предметовъ, съ 96 рис., 6 картами, 6 планами и 3 раскраш. картинами. 2 тома VIII+587 и III+637 стран. 1895. Цѣна 8 р., въ изящномъ переплетѣ 9 р. 60 к.

Никто не станетъ отрицать, что знать исторію своего отечества — долгъ всякаго образованнаго человѣка. Мы, конечно, не можемъ пожаловаться на недостатокъ у насъ исторій и историковъ. Такія имена, какъ Карамзинъ, Соловьевъ, Костомаровъ, сдѣлали бы честь всякой націи. Но если мы возьмемъ просто образованнаго человѣка, не спеціалиста по исторіи, но тѣмъ не менѣе интересующагося ею и желающаго ею заняться, то для него огромныя сочиненія явятся нѣсколько громоздкими. Профессоръ Трачевскій, преподававшій въ Новороссійскомъ университетѣ, конечно, постигъ въ совершенствѣ то легкое, понятное и вмѣстѣ съ тѣмъ глубокое изложеніе взятаго предмета, которое заставляетъ читателя и слушателя вполнѣ проникаться идеями и взглядами, объясненными въ лекціи или книгѣ. Масса разбросанныхъ по тексту мелкихъ и крупныхъ иллюстрацій наглядно объясняетъ многое. Само-собою, выборъ рисунковъ принадлежитъ автору, и тотъ вполнѣ выказалъ въ немъ и свои обширныя знанія, и свою опытность, и свой вкусъ. Къ изданію приложены: указатель именъ, годовъ и предметовъ, раскрашенныхъ картинъ, 6 картъ и 6 плановъ. Однимъ словомъ, въ изданіи дано все необходимое, что есть въ многотомныхъ прежнихъ исторіяхъ, и все пропущенное, но важное въ большей части учебниковъ.

(«Журналъ Обозрѣніе», 1895. № 38).

Ограничиваемся замѣчаніемъ, что книга проф. Трачевскаго представляетъ **единственное** въ своемъ родѣ руководство по русской исторіи, особенно пригодное для лицъ, видящихъ въ исторіи не собраніе пустыхъ анекдотовъ, а науку. («Научное Обозрѣніе», 1895. № 40).

Таблицы для опредѣленія минераловъ

помощью простыхъ испытаній сухимъ и мокрымъ путемъ. **Фр. ф. Кобелля** Переводъ съ 13 вновь обработаннаго **К. Эббеке** нѣмецкаго изданія **А. Леша**. Русское изданіе 2-е. 1894. Ц. 1 р., въ пер. 1 р. 30 к.

На русскомъ языкѣ книга Кобелля выдерживаетъ уже 2 изданіе, что должно служить признакомъ ея полезности. Дѣйствительно, таблицы Кобелля могутъ служить не только справочной книжкой для спеціалистовъ минералоговъ, но явиться пособіемъ при опредѣленіи ископаемыхъ веществъ и для лицъ, незнакомыхъ съ минералогіей. Эти таблицы окажутъ пользу особенно тѣмъ лицамъ, которыя, не имѣя возможности или не желая посвятить себя спеціально изученію минералогіи, все-таки нерѣдко могутъ встрѣтить необходимость опредѣлять минералы.

Учебникъ минералогіи и физической геологіи

для среднихъ учебныхъ заведеній. Составилъ **Н. Крачагинъ**, съ 222 рисунками въ текстѣ. 2-е исправл. изд. 1895. Цѣна 1 р. 25 к., въ переплетѣ 1 р. 40 к.

Элементарный учебникъ минералогіи и основанія геологіи.

Составилъ **М. Соловьевъ.** Съ 89 рис. 1894. Цѣна 80 коп.

Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 20 мая 1896 года.
Типографія Шредера, Гороховая, 49.