

Р. 2. 15059

НА Д
НЕ ВЫДАЕ

00350

О ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ

ПРОВОДИМОСТИ ЖИДКОСТЕЙ.

=

А. Васильева.

=

00350

15059

1935

Библиотека ИМПЕРАТОРСКАГО Москов-
скаго Техническаго училища

Д

IV
1.

P.
2.15059

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



2.15059

Савельев А.О. гальваническо

АЛЕКСАНДРЪ НИКОЛАЕВИЧЪ

ХЕУСТРОЕВЪ.

О ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЖИДКОСТЕЙ.

СОЧИНЕНИЕ

По инвентарной
описи № 2030.

А. Савельева,

Доктора Физики и Э. О. Профессора Императорскаго Казанскаго
Университета.



КАЗАНЬ,

ВЪ ТИПОГРАФИИ ИМПЕРАТОРСКАГО КАЗАНСКАГО УНИВЕРСИТЕТА.

1853.

00350

УЧЕНЫХЪ ЗАПИСОКЪ

1853

О ТАВЯНИЧЕСКОМЪ

ПРОВОДИМОСТИ ЗАПИСОКЪ

СОДЕРЖАНИЕ

М. В. В. В.

Перепечатано изъ 1-й книжки Ученыхъ Записокъ за 1853 годъ.

Въ Типографіи Императорскаго Ученнаго Завѣдѣнія

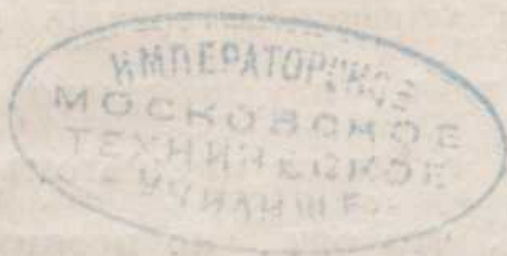
Ученнаго Завѣдѣнія

В. В. В.

Въ Типографіи Императорскаго Ученнаго Завѣдѣнія

1853

50300



00350

О ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЖИДКОСТЕЙ.

Изъ всѣхъ отраслей физики, наука о гальванизмѣ преимущественно останавливаетъ на себѣ наше вниманіе. Два обстоятельства, характеризующіе эту науку, уже при первомъ, поверхностномъ взглядѣ на историческій ходъ ея, должны, безспорно, поразить насъ. Это — быстрое и безпримѣрное развитіе ея и практическія приложенія, непрерывно ее сопровождающіе. Будучи одолжена началомъ своимъ концу прошедшаго столѣтія, наука эта, по настоящее время насчитываетъ уже четыре эпохи своего развитія, развитія, повторяемъ, столь быстрого, какого мы не находимъ ни въ одной изъ прочихъ отраслей физики; наука эта, своими важными и истинно чудесными примѣненіями, въ настоящее время глубоко входитъ въ жизнь общественную, такъ что нѣкоторыя изъ ея практическихъ приложеній нынѣ составляютъ отдѣльныя, обширныя отрасли техники. Смѣло можемъ сказать, что каждое изслѣдованіе, каждый трудъ ученыхъ въ этой наукѣ представляетъ большее или меньшее отношеніе къ практикѣ;

каждый шагъ, сдѣланный въ ней, влечетъ за собою большее или меньшее усовершенствованіе въ ея техническихъ приложеніяхъ. И такъ, неудивительно, что въ настоящее время гальванизмъ сдѣлался предметомъ изслѣдованій столь многихъ ученыхъ, что онъ, по преимуществу, изъ всѣхъ другихъ частей физики, обращаетъ на себя всеобщее вниманіе. Здѣсь мы видимъ, какъ теорія и практика взаимно вспомоществуютъ другъ другу: изслѣдованія, имѣвшія, по видимому, чисто ученый интересъ, интересъ науки, породили практическія примѣненія, а эти примѣненія, практика, въ свою очередь, заставляютъ развиваться и самую науку — теорію.

Къ числу вопросовъ въ области гальванизма, изслѣдованіе которыхъ одинаково важно какъ въ теоретическомъ, такъ и практическомъ отношеніяхъ, безъ сомнѣнія, долженъ быть отнесенъ вопросъ о гальванической проводимости жидкостей. Въ настоящемъ разсужденіи я имѣю цѣлью, рассмотреть критически всѣ произведенныя доселѣ изслѣдованія надъ этимъ отношеніемъ жидкостей къ гальваническому току, представить, по возможности, современное состояніе нашихъ познаній объ этомъ предметѣ.

Первымъ основаніемъ моего труда послужило значительное число наблюденій, произведенныхъ мною за нѣсколько лѣтъ предъ симъ съ цѣлью чисто практической, а именно: съ цѣлью опредѣлить гальваническую проводимость сѣрной кислоты при различныхъ степеняхъ ея концентраціи и также сравнительно съ нею найти проводимость нѣкоторыхъ другихъ жидкостей. Все это имѣло прямое примѣненіе

къ наивыгоднѣйшему устройству гальваническихъ баттарей. Наблюденія мои произведены были съ возможною тщательностью и. могу смѣло сказать, съ такою точностью, съ какою до того времени, проводимость жидкостей никѣмъ не была опредѣляема; однакоже я не рѣшался сдѣлать эти наблюденія извѣстными по той причинѣ, что способъ, употребленный мною для опредѣленія проводимости, способъ, поддерживаемый авторитетами *Ленца* и *Уитстона*, оказался не совершенно точнымъ въ своемъ основаніи. Нѣсколько лѣтъ прошло — и потому же самому предмету явились изслѣдованія другихъ ученыхъ, изслѣдованія, относительно точности не имѣвшія никакихъ преимуществъ передъ моими. Рѣшившись, вслѣдствіе этого, издать прежнія мои наблюденія надъ проводимостью сѣрной кислоты, я вмѣстѣ съ тѣмъ принялся за изученіе проводимости жидкостей вообще, и не ограничиваясь однимъ только нумерическимъ опредѣленіемъ величины этого элемента, я вознамѣрился изслѣдовать его и во многихъ другихъ отношеніяхъ.

Трудъ мой — далеко еще не конченъ, но при всемъ томъ я льщу себя надеждою, что и тѣ немногія изслѣдованія, какія до сихъ поръ время и обстоятельства дозволили мнѣ исполнить, не останутся бесполезными для науки.

§ 1. Съ самаго начала гальванизма, съ изобрѣтенія Вольтова столба, простые опыты и наблюденія могли показать, что сила гальваническаго тока зависитъ отъ двухъ обстоятельствъ: во первыхъ отъ величины *электровозбудительной силы*, которая производитъ токъ, и которая, (въ цѣпяхъ гидроэлектрическихъ) раждается, какъ полагали, или вслѣдствіе прикосновенія разнородныхъ металловъ и жидкостей или вслѣдствіе химическаго дѣйствія жидкости на металлы; во вторыхъ отъ матеріальныхъ свойствъ и вида тѣхъ тѣлъ — проводниковъ —, чрезъ которые токъ проходитъ: находили, что проводники болѣе или менѣе ослабляютъ силу тока, представляютъ току какое то препятствіе — *сопротивленіе*. Слѣдовательно, съ самаго начала гальванизма, необходимо должны были сознать, что сила тока зависитъ отъ электровозбудительной силы баттарей и отъ сопротивленія проводниковъ, чрезъ которые токъ проходитъ. Однакоже въ продолженіе почти тридцати лѣтъ, никто изъ занимавшихся гальванизмомъ не принималъ на себя труда изслѣдовать ту зависимость, какая существуетъ между силою тока и упомянутыми двумя элементами. Въ продолженіе тридцати и даже болѣе лѣтъ, въ гальванизмѣ господствовали какія то темныя, сбивчивыя понятія о *количествѣ* и *напряженности* (*quantité, intensité*) тока, понятія, служившія только ко вреду науки и недопускавшія никакихъ точныхъ мѣрительныхъ изслѣдованій въ гальванической цѣпи. Въ 1827 году, одинъ германскій ученый, Омъ въ Нюррембергѣ, первый показалъ, что функція, связывающая силу тока съ электровозбудительною силою и сопротивленіемъ, имѣетъ весьма простой

видъ, а именно: сила тока прямо пропорціональна алгебраической суммѣ всѣхъ электровозбудительныхъ силъ цѣпи и обратно пропорціональна суммѣ всѣхъ сопротивленій цѣпи. Вывелъ ли Омъ эту зависимость сначала теоретически и послѣ подтвердилъ опытами или же теоретическій выводъ совершенъ имъ послѣ опытовъ — мнѣ неизвѣстно; какъ бы то ни было, однако же несомнѣнно то, что Омъ своими наблюденіями надъ цѣпью термоэлектрическою, строго доказалъ справедливость своей формулы и вмѣстѣ съ тѣмъ опредѣлилъ, что сопротивление твердыхъ проводниковъ — проволокъ — прямо пропорціонально длинѣ проводника и обратно его поперечному разрѣзу. Простая формула Ома, подобно искрѣ, озарила всю темноту тогдашнихъ понятій о гальванической цѣпи; объяснивъ множество фактовъ, казавшихся загадочными или противорѣчащими и уничтоживъ неопредѣленные понятія о количествѣ и напряженности тока, она послужила прочнымъ основаніемъ для всѣхъ будущихъ точныхъ изысканій въ области гальванизма и въ короткое время породила множество новыхъ, весьма важныхъ изслѣдованій, которыя безъ нея были бы рѣшительно невозможны. — Послѣдующими опредѣленіями доказано было, что формула Ома справедлива не только относительно токовъ термоэлектрическихъ, но строго примѣняется къ токамъ всякаго рода, изъ какого бы источника они не происходили. Однакоже, не смотря на всю свою важность, она въ продолженіе десяти лѣтъ почти не выходила изъ запредѣловъ Германіи, а слѣдствіемъ этого было то, что весьма многіе изслѣдованія, произведенныя въ продолженіе этого времени во Фран-

ція и Англіи, совершенно потеряны для науки. Въ 1837 году *Нумье* во Франціи, совершенно не зная о трудахъ Ома, снова вывелъ эту формулу изъ опытовъ, а въ 1841 году она официально была принята въ Англіи и съ тѣхъ поръ уже распространилась между всѣми физиками.

§ 2. Въ настоящее время, послѣ столь важныхъ изслѣдованій въ гальванизмѣ, совершенныхъ на основаніи этой формулы, нѣтъ физика, который бы не признавалъ, что нисколько точное изысканіе въ гальванизмѣ, безъ знанія формулы Ома, невозможно. Поэтому формула эта должна служить намъ путеводною нитью при всѣхъ изслѣдованіяхъ нашихъ надъ гальваническою проводимостью жидкостей и при оцѣнкѣ всѣхъ предшествовавшихъ трудовъ по этому предмету.

§ 3. При дѣйствіи токомъ на какой нибудь проводникъ, мы вставляемъ этотъ проводникъ въ гальваническую цѣпь, и тѣмъ самымъ увеличиваемъ сопротивленіе ея, а слѣдовательно ослабляемъ силу тока. Если данный проводникъ есть тѣло твердое, то ослабленіе тока происходитъ только отъ увеличенія сопротивленія или знаменателя формулы Ома; но если проводникъ принадлежитъ къ тѣламъ жидкимъ, то онъ уменьшаетъ силу тока по двумъ причинамъ: прибавляя новое сопротивленіе къ цѣпи, онъ увеличиваетъ знаменателя формулы, а вводя новую электровозбудительную силу противнаго направленія, онъ уменьшаетъ ея числителя. Нынѣ доказано, что жидкости, при пропусканіи черезъ нихъ тока, подвергаются уже съ перваго момента прохожденія тока химическому разложенію, и элементы этого разложенія, отдѣляясь на электродахъ, дѣлаютъ ихъ разнородными и произ-

водятъ новую электровозбудительную силу противнаго направленія, силу названную *поляризаціею*. Поляризація была предметомъ изслѣдованій нѣсколькихъ извѣстныхъ ученыхъ: въ разсужденіи, написанномъ мною въ 1844 году ⁽¹⁾ я изложилъ результаты всѣхъ трудовъ, произведенныхъ до того времени и показавъ между прочимъ нѣкоторые до того неизвѣстные факты относительно поляризаціи, я представилъ способъ опредѣлять электровозбудительную силу баттарей независимо отъ этого элемента и этимъ способомъ могъ доказать совершенную справедливость закона электровозбудительныхъ силъ Вольты. Въ другомъ трудѣ, совершенномъ мною вмѣстѣ съ Акад. Ленцомъ ⁽²⁾ развиты были болѣе подробно мои прежнія положенія и представлена была таблица численныхъ величинъ поляризаціи для различныхъ металловъ и жидкостей и таблица электровозбудительныхъ силъ. Въ то время — въ 1844 году — я принималъ, согласно опытамъ *Ленца, Даниеля и Уитстона*, что величина поляризаціи независитъ отъ силы тока, однакоже болѣе точные опыты, произведенные мною по окончаніи моего общаго съ Г. Ленцомъ труда показали ⁽³⁾ несправедливость этого положенія — и теперь уже строго доказано, что поляризація есть функція силы тока, функція различная не только для различныхъ

(1) О явленіяхъ поляризаціи въ гальванической цѣпи. Спб. 1845.

(2) Bulletin physico-math. de l'Académie de St. Pétersbourg. Томъ V. N° 1. Poggend. Ann. T. 67 стр. 497. Annales de Chimie et de Physique T. 20. Troisième série стр. 184 Arch. d. sc. phys. et natur. I. 59; l'Institut. XIII N° 210.

(3) См. тамъ же.

электродовъ и жидкостей, но и для однихъ и тѣхъ же тѣлъ при неодинаковомъ состояніи ихъ поверхностей и при томъ такая сложная функція, которую до сихъ поръ не удалось найти изъ наблюденій. Здѣсь не мѣсто распространяться подробно объ этомъ предметѣ и я упомянулъ о немъ единственно потому, что онъ имѣетъ весьма важное отношеніе ко всѣмъ изслѣдованіямъ надъ гальваническою проводимостью жидкостей и что отъ небращенія вниманія на поляризацию и ея зависимость отъ различныхъ обстоятельствъ можно впасть въ весьма грубыя ошибки и ложныя заключенія о самой проводимости — что мы и увидимъ при историческомъ обзорѣ изъ многихъ примѣровъ.

§ 4. Вслѣдствіе поляризаціи и ея непостоянства, изслѣдованія надъ проводимостью жидкостей, и безъ того уже представляющія нѣкоторыя практическія затрудненія, дѣлаются еще болѣе затруднительными. Въ то время, какъ сопротивленіе твердыхъ тѣлъ можетъ быть весьма легко и просто опредѣляемо, при опытахъ для опредѣленія проводимости жидкостей, надобно обращать вниманіе и на измѣняемость этой проводимости въ слѣдствіе химическаго разложенія и на поляризацию, непрерывно измѣняющуюся и на поверхность электродовъ, подверженной также измѣненіямъ — однимъ словомъ на такія обстоятельства, которыя не имѣютъ мѣста при прохожденіи тока чрезъ проводники твердые. Потому въ опредѣленіяхъ законовъ и величины сопротивленія жидкостей нельзя ожидать такой точности и того согласія въ результатахъ, какихъ мы можемъ достигнуть при опредѣленіи этого элемента въ тѣлахъ твердыхъ, тѣмъ бо-

лѣе нельзя требовать большой точности отъ прежнихъ изслѣдованій, произведенныхъ при помощи прежде употреблявшихся непостоянныхъ гидроэлектрическихъ батарей, которыхъ сила и сопротивленіе подвержены непрерывному измѣненію.

§ 5. Изслѣдованіямъ надъ сопротивленіемъ жидкостей ⁽¹⁾ представляются на разрѣшеніе слѣдующіе главные вопросы:

1) Опредѣлить связь этого элемента съ силою тока.

2) Найти зависимость между нимъ и видомъ жидкаго слоя, узнать какъ измѣняется оно съ измѣненіемъ разстоянія и поверхности электродовъ, съ измѣненіемъ длины и поперечнаго разрѣза слоя.

3) Опредѣлить величину его въ различныхъ жидкостяхъ и показать измѣняемость его при различныхъ степеняхъ концентраціи жидкостей т. е. смѣшенія ихъ съ водою.

4) Найти въ какомъ отношеніи находится сопротивленіе къ химическому составу тѣлъ, и всегда ли проводимость сопровождается разложеніемъ.

5) Опредѣлить зависимость сопротивленія отъ температуры и отъ другихъ физическихъ свойствъ, зависящихъ отъ молекулярнаго расположенія.

§ 6. Разсмотрѣвъ въ историческомъ обзорѣ всѣ главныя изслѣдованія о проводимости жидкостей, мы увидимъ, какіе

(¹) Читатель можетъ замѣтить, что мы иногда употребляемъ слово »сопротивленіе«, иногда »проводимость«. Считаю излишнимъ напоминать, что по значенію своему »проводимость« обратно пропорціональна сопротивленію или равна единицѣ, раздѣленной на сопротивленіе; и что слѣдоват. такое же отношеніе имѣетъ и сопротивленіе къ проводимости.

отвѣты въ настоящее время можетъ представить наука на означенные выше вопросы. При этомъ я считаю необходимымъ замѣтить, что въ историческомъ обзорѣ я буду держаться хронологическаго порядка, представляя изслѣдованія такъ, какъ они слѣдовали одно за другимъ по времени, хотя бы они касались и различныхъ вопросовъ о проводимости, только для нѣкоторыхъ случаевъ я позволю себѣ небольшія отступленія.

§ 7. Съ самаго изобрѣтенія Вольтова столба было уже извѣстно, что жидкости, составляя одну изъ существенныхъ частей столба, принадлежатъ къ числу проводниковъ тока; съ открытіемъ же химическаго дѣйствія токовъ (сдѣланномъ въ 1800 году — вслѣдъ за открытіемъ столба — *Никольсономъ* и *Карвилемъ*) ученые, обративъ вниманіе на это новое явленіе, подвергали различныя жидкости дѣйствію тока и при этомъ, очевидно, могли изслѣдовать и проводимость ихъ. Результатомъ первыхъ наблюденій былъ тотъ фактъ, что жидкости, представляя значительныя разности между собою относительно проводимости, стоятъ въ этомъ свойствѣ далеко ниже металловъ. Спиртъ, масла, эфиръ, какъ показали опыты, вовсе не пропускаютъ токъ, слѣдовательно суть непроводители; дистиллированная вода, хотя и принадлежитъ къ числу весьма дурныхъ проводниковъ, но все же проводитъ токъ и проводимость ея увеличивается по мѣрѣ прибавленія къ ней такихъ веществъ, твердыхъ или жидкихъ, которыя въ ней могутъ растворяться; кислоты въ жидкомъ состояніи, какъ напримѣръ: сѣрная, азотная, соляная, проводятъ лучше. Замѣчательно, что этими немногими результатами,

полученными въ началѣ настоящаго столѣтія, ограничивались, въ продолженіе почти тридцати лѣтъ. всѣ наши познанія о проводимости жидкостей. Изслѣдованія, произведенныя въ теченіе этого времени, показали, что различныя жидкости обладаютъ въ различной степени свойствомъ проводимости; но сравнительная величина этого элемента была совершенно не опредѣлена; даже относительно порядка, въ которомъ жидкости должны быть расположены по этому свойству, ученые не были между собою согласны. Результаты различныхъ трудовъ представляли значительное несогласіе и даже часто были одинъ другому противорѣчащи. Разсматривая всѣ эти изслѣдованія, мы не можемъ не согласиться съ *Фехнеромъ* ⁽¹⁾ въ томъ, что всѣ они не могутъ заслуживать довѣрія и что причина того заключается не въ неточности опытовъ или наблюденій, но въ самыхъ методахъ, по которымъ опредѣляли или сравнивали проводимость. Мы представимъ здѣсь обзоръ только нѣкоторыхъ, замѣчательнѣйшихъ изслѣдованій изъ произведенныхъ въ періодъ времени отъ 1800 до 1829 года: изъ этого обзора можно судить о всѣхъ остальныхъ трудахъ и убѣдиться, что всѣ они въ настоящее время могутъ имѣть только одинъ историческій интересъ.

§ 8. Въ этотъ періодъ времени, когда не было извѣстно отношеніе силы тока къ силѣ электровозбудительной и къ сопротивленію цѣпи, о проводимости жидкостей судили по

⁽¹⁾ *Fechner. Lehrbuch des Galvanismus und der Electrochemie. Leipzig, 1829, стр. 197, 225 и 233.*

силѣ тока, пропускаемаго чрезъ нихъ отъ одной и той же батареи и полагали проводимость пропорціональною силѣ тока. Для измѣренія же этой силы до 1820 года могло быть употреблено изъ всѣхъ тогда извѣстныхъ дѣйствій тока, только одно и именно: дѣйствіе *химическое*. Изъ всѣхъ извѣстныхъ намъ изслѣдованій, произведенныхъ до этого года, мы рассмотримъ здѣсь труды *Дэви*, *Ге-Люссака* и *Тенара* ⁽¹⁾.

§ 9. Знаменитый *Дэви* опредѣлялъ проводимость жидкостей по количеству газовъ, какое освобождается изъ нихъ вслѣдствіе химическаго разложенія, производимаго пропускаемымъ черезъ нихъ токомъ ⁽²⁾. Очевидно, что это количество газовъ, находясь въ зависимости отъ самаго состава

(¹) Я не считаю нужнымъ упоминать здѣсь объ опытахъ знаменитаго *Біо* (Gilb. Ann. T. 18 стр. 139) и *Риттера* (Gilb. Ann. Томъ 8 стр. 455 и Т. 9 стр. 296), которые старались опредѣлить проводимость жидкостей изъ электроскопическихъ измѣреній. Первый строилъ Вольтовы столбы, совершенно равные по величинѣ поверхности и по числу паръ, и опредѣлялъ посредствомъ вѣсовъ Кулона степень электрическаго напряженія, обнаруживаемаго на полюсахъ столба, при различныхъ жидкостяхъ, которыми были смачиваемы кружки столба. По степени этого электричества онъ судилъ о проводимости употребленныхъ жидкостей. Но, принявъ это, необходимо предположить, что жидкости дѣйствуютъ въ столбѣ, только какъ проводники, а не возбудители электричества — что совершенно несправедливо. При томъ же такой способъ опредѣленія проводимости и въ практическомъ отношеніи долженъ былъ представлять чрезвычайныя трудности. — О способѣ *Риттера* я не упоминаю, потому что Риттеръ излагаетъ его весьма неопредѣлительно и темно.

(²) Gilbert's Annalen der Physik. Bd. VII. стр. 121.

жидкостей, не можетъ служить мѣрою химическаго дѣйствія т. е. силы тока, а слѣдоват. и проводимости. Жидкое тѣло можетъ быть весьма хорошимъ проводникомъ, токъ можетъ имѣть значительную силу, а слѣдов. при этомъ и разложеніе жидкости будетъ быстрее, но при всемъ томъ газы могутъ и не освободиться, какъ наприм. при уксуснокисломъ свинцѣ, концентрированной сѣрной и азотной кислотахъ (при окисляющихся электродахъ), въ мѣдномъ купоросѣ (при мѣдныхъ электродахъ) и многихъ другихъ жидкостяхъ, при разложеніи которыхъ происходятъ второстепенные, независимые отъ дѣйствія тока, процессы. Поэтому неудивительно, что Деви причисляетъ концентрированныя сѣрную, азотную и соляную кислоты къ числу самыхъ дурныхъ жидкихъ проводниковъ, хотя тѣла эти, по наблюденіямъ другихъ ученыхъ, представляютъ, напротивъ, весьма хорошую проводимость сравнительно со всѣми прочими жидкостями ⁽¹⁾.

§ 10. *Ге-Люссакъ и Тенаръ* въ своемъ обширномъ трудѣ: »Recherches physicochimiques, faites à l'occasion de la grande batterie voltaïque, donnée par S. M. I. et R. à l'école polytechnique à Paris. 1811. Tome I. Première partie. ⁽²⁾« представили также нѣсколько изслѣдованій о проводимости различныхъ жидкостей. Способъ, употребленный этими учеными,

⁽¹⁾ Впрочемъ и самъ Деви въ другомъ своемъ мемуарѣ (Gilb. Ann. Bd. VIII стр. 11) противорѣчитъ прежнему своему выводу.

⁽²⁾ Извлеченіе въ переводѣ на нѣмецкомъ языкѣ въ Gilb. Ann. Bd. 38. стр. 121 — 160.

въ сущности тотъ же, какой употребленъ былъ *Дэви*, но самые опыты ихъ произведены были съ бѣльшею тщательностью и точностью. Они пропускали токъ отъ 20 парной батареи изъ цинка и мѣди чрезъ платиновые электроды въ изслѣдуемую жидкость и измѣряли количество гасовъ (по объему) освобожденныхъ изъ нея въ продолженіе опредѣленнаго времени (20') вслѣдствіе химическаго дѣйствія тока. Ге-Люсакъ и Тенаръ и сами отчасти сознавали недостатокъ своего способа, говоря справедливо, что количество гасовъ не можетъ быть принято пропорціональнымъ проводимости жидкости; однакоже, тѣмъ не менѣе принимали его — мѣрою химическаго дѣйствія батареи и считали его *весьма удобнымъ* (?) средствомъ для сравненія между собою проводимостей различныхъ жидкостей. Не останавливаясь, поэтому, на изслѣдованіяхъ этихъ знаменитыхъ ученыхъ и не приводя полученныхъ ими результатовъ, изъ коихъ многіе, естественно, должны были со временемъ оказаться ложными, мы скажемъ, что изслѣдованія эти въ томъ отношеніи замѣчательны, что они принадлежатъ къ числу первыхъ, которыми показано было вліяніе концентраціи и температуры жидкостей на ихъ проводимость: Ге-Люсакъ и Тенаръ нашли, что съ возвышеніемъ температуры жидкостей, количество освобождающихся гасовъ — а слѣдовательно — и проводимость увеличивается и этотъ результатъ подтвержденъ впоследствии, какъ мы далѣе увидимъ, весьма многими наблюденіями. Что же касается до концентраціи, то изъ опытовъ этихъ ученыхъ можно было только заключить, что проводимость жидкостей находится въ зависимости отъ нея, но

относительно самой зависимости заключенія этихъ ученыхъ неосновательны.

§ 11. Въ 1825 году мы встрѣчаемъ трудъ *Ферстемана* ⁽¹⁾ предпринятый единственно для опредѣленія величинъ проводимости жидкостей, тогда какъ во всѣхъ предъидущихъ изслѣдованіяхъ предметъ этотъ былъ только второстепеннымъ. Разсмотрѣвъ труды своихъ предшественниковъ, *Ферстеманъ* доказываетъ невѣрность положенія *Девы*, *Ге-Люссака* и *Тенера* относительно пропорціональности химическаго дѣйствія количеству освобождаемыхъ газовъ и въ своихъ изслѣдованіяхъ принимаетъ способъ, который не имѣетъ недостатковъ происходящихъ отъ этого положенія. *Ферстеманъ* пропускаетъ токъ отъ батареи изъ 204 паръ, посредствомъ платиновыхъ электродовъ чрезъ изслѣдуемую жидкость и чрезъ сосудъ, наполненный дистиллированной водою (вольтаметръ) и измѣряетъ количество газовъ освобождающихся въ продолженіе опредѣленнаго времени въ вольтаметрѣ. Очевидно, что это количество служитъ мѣрою химическаго дѣйствія, а слѣдов. и силы тока; а какъ сила тока находится въ зависимости отъ проводимости того вещества, чрезъ которое токъ проходитъ, то поэтому *Ферстеманъ* и принимаетъ количество газовъ въ вольтаметрѣ пропорціональнымъ проводимости изслѣдуемой жидкости. Изъ наблюній, произведенныхъ такимъ образомъ, *Ферстеманъ* составилъ слѣдующую таблицу:

(1) *Kastner's Archiv für die gesammte Naturlehre. Bd. IV. 1825 года. стр. 82 — 116.*

Жидкости.	Уд. вѣсъ.	Количество га- совъ освобод. въ одно и тоже время.	Времена, въ ко- торыхъ освобод. одно и тоже ко- личество газовъ.
Соляная кислота.....	1,126	2,464	0,410
Уксусная кислота.....	1,024	2,398	0,423
Азотная кислота.....	1,236	2,283	0,438
Амміакъ.....	0,936	2,177	0,459
Растворъ нашатыря.....	1,064	1,972	0,509
Сѣрная кислота.....	1,848	1,737	0,575
Растворъ кали.....	1,172	1,709	0,585
Растворъ поваренной соли	1,166	1,672	0,598
Растворъ свинцоваго са- хара.....	1,132	1,560	0,632
Дистиллированная вода...	1,000	1,000	1,000

Числа третьяго столбца выражаютъ количество газовъ, освобождающихся въ вольтметрѣ въ одно и тоже время, при чемъ принято за единицу то количество газовъ, которое освобождается въ немъ при вставленіи въ цѣпь слоя дистиллированной воды; слѣдов. эти числа выражаютъ прямо силу тока при различныхъ вставляемыхъ въ цѣпь жидкихъ проводниковъ. Числа послѣдняго столбца означаютъ времена, въ которыя освобождается въ вольтметрѣ одно и тоже количество газовъ при вставленіи въ цѣпь различныхъ жидкостей т. е. эти числа равны единицѣ раздѣленной на соотвѣтствующія числа третьяго столбца. Ферстеманъ принимаетъ, какъ мы сказали, проводимость пропорціональною силѣ тока. слѣдовательно числа *третьей* колонны выражаютъ *проводимость*, а числа *послѣдняго* столбца равны единицѣ раздѣленной на проводимость т. е. означаютъ *сопротивленіе*. Од-

накоже, не трудно видѣть, зная формулу Ома, что положеніе *Ферстемана* совершенно несправедливо и что числа эти вовсе не имѣютъ приписываемаго имъ значенія. Въ самомъ дѣлѣ, назовемъ черезъ A электровозбудительную силу столба, черезъ L его сопротивленіе вмѣстѣ съ сопротивленіемъ постоянно находящагося въ цѣпи вольтметра, чрезъ x сопротивленіе, а слѣдовъ чрезъ $\frac{1}{x}$ проводимость данной жидкости чрезъ p поляризацию обнаруживающуюся въ вольтметрѣ, а чрезъ q поляризацию въ электродахъ данной жидкости. Для силы тока F мы будемъ имѣть слѣдующее выраженіе:

$$F = \frac{A - p - q}{L + x} = \frac{A - p}{L + \frac{q}{F} + x} \quad (1)$$

При вставленіи въ цѣпь другой жидкости, въ которой сопротивленіе x' и поляризація q' , сила тока измѣняется въ F' $F' = \frac{A - p - q'}{L + x'}$, (предполагая, что A , p , L неизмѣнились, что впрочемъ въ строгости несправедливо.)

$$\text{или } F' = \frac{A - p}{L + \frac{q'}{F'} + x'} \quad (2)$$

Изъ сравненія (1) и (2) мы будемъ имѣть:

$$\frac{F'}{F} = \frac{L + \frac{q}{F} + x}{L + \frac{q'}{F'} + x'} \quad (3)$$

а *Ферстеманъ* принимаетъ, какъ мы сказали:

$$\frac{F'}{F} = \frac{1}{x' \cdot \frac{1}{x}} = \frac{x}{x'}. \text{ Отношеніе } \frac{F'}{F} \text{ было бы равно } \frac{x}{x'} \text{ въ одномъ}$$

только случаѣ, а именно, если бы членъ $L + \frac{q}{F}$ имѣлъ бы ничтожную величину въ отношеніи x и членъ $L + \frac{q'}{F'}$, въ отношеніи x' т. е. если бы сопротивленіе батареи и поляризація имѣли бы незначительную величину сравнительно съ сопротивленіемъ жидкостей, что впрочемъ вовсе не имѣло мѣста въ опытахъ Ферстемана, въ которыхъ батарея, состоя изъ 204 паръ, должна была представлять сопротивление L весьма значительное относительно x . Поэтому числа третьяго и четвертаго столбцевъ приведенной нами таблицы, не пропорціональны проводимостямъ и сопротивленіямъ; сопротивленія измѣняются, какъ это видно изъ 3) въ гораздо большемъ отношеніи, чѣмъ эти числа. Числа эти могли бы служить для означенія порядка, въ которомъ жидкости могутъ быть расположены относительно ихъ проводимости и сопротивленія, да и то въ такомъ только случаѣ, для такихъ только жидкостей, въ которыхъ поляризація не разнятся значительно между собою: изъ формулы (3) видно, что $F' >$ или $< F$ въ случаѣ $x >$ или $< x'$ только тогда, когда $\frac{q}{F} = \frac{q'}{F'}$ или когда q возрастаетъ или уменьшается вмѣстѣ съ сопротивленіемъ. Что отношеніе сопротивленій жидкостей на самомъ дѣлѣ значительно болѣе, чѣмъ отношеніе чиселъ таблицы Ферстемана, такъ это можно видѣть изъ сравненія этихъ чиселъ съ тѣми, какіе получены въ новѣйшее время изъ опытовъ довольно точныхъ. Напримѣръ, по Ферстеману, отношеніе сопротивленій сѣрной ки-

слоты и азотной $= \frac{0,575}{0,438} = 1,31$, а по моимъ опытамъ это отношеніе $= 5,2$; также отношеніе сѣрной кислоты къ соляной, по *Ферстеману* $= 1,4$, а изъ моихъ опытовъ оно $= 6,3$.

При всей неточности выводовъ *Ферстемана*, наблюденія его, произведенныя съ весьма большою тщательностью, замѣчательны въ исторіи гальванизма, какъ первая попытка нумерически опредѣлить сравнительную проводимость жидкостей. Впрочемъ мы должны здѣсь замѣтить, что и самъ *Ферстеманъ* не даетъ большаго вѣса своимъ числамъ, говоря ⁽¹⁾ что »при употребленіи другой, болѣе сильной, баттарей, они могутъ измѣнить свою величину, но при всемъ томъ порядокъ, въ которомъ расположены жидкости относительно своей проводимости, долженъ остаться тѣмъ же самымъ« (что впрочемъ, какъ мы сейчасъ видѣли, не совершенно справедливо).

§ 12. Открытіе *Эрстеда* въ 1820 году — дѣйствія гальваническаго тока на магнитную стрѣлку — составляющее, по справедливости, эпоху не только въ исторіи гальванизма, но, можетъ быть, и въ исторіи всей физики, дало простое, легкое и вѣрное средство узнавать присутствіе самыхъ слабыхъ токовъ и вмѣстѣ съ тѣмъ доставило способъ опредѣлять силу тока для *каждаго даннаго момента* — что до того времени, когда одно химическое дѣйствіе могло служить мѣрою тока, опредѣлить было невозможно. Поэтому, весьма естественно, что съ этого открытія, при мѣрительныхъ гальвани-

(¹) См. *Kastner's Archiv*. Bd. IV. стр. 115.

ческихъ изслѣдованіяхъ, начали употреблять для измѣренія силы тока не химическое его дѣйствіе, а магнитное; гальванометръ или мультипликаторъ замѣнилъ приборъ для разложенія воды — вольтаметръ.

§ 13. На ряду съ изслѣдованіями *Ферстемана* мы должны поставить изслѣдованія *Валькера*, *Деларива*, *Маріанини* и *Фаффа*. Способъ, употребленный ими для опредѣленія проводимости совершенно тотъ же, какъ и *Ферстемановъ*, только мѣрою силы тока служило не химическое дѣйствіе, не количество гасовъ, освобождающихся въ вольтаметрѣ въ продолженіе опредѣленнаго времени, а дѣйствіе тока на магнитную стрѣлку — отклоненіе стрѣлки отъ ея положенія равновѣсія (магнитнаго меридіана).

§ 14. *Валькеръ* въ своихъ трудахъ ⁽¹⁾ имѣлъ въ виду изслѣдовать нѣкоторыя изъ тѣхъ обстоятельствъ, отъ которыхъ зависитъ сила тока (или, какъ онъ выражается, величина электрической напряженности), какъ на примѣръ: разстояніе пластинокъ, изъ которыхъ состоитъ гальваническій элементъ, величина ихъ и свойство, концентрація и температура жидкостей элемента. Силу тока онъ опредѣлялъ прямо — угломъ отклоненія стрѣлки гальванометра, состоявшаго изъ 500 оборотовъ проволоки. Такимъ образомъ, наливая различныя жидкости въ гальваническую пару и замѣчая показанія гальванометра, *Валькеръ* составилъ таблицу отклоненій стрѣлки, соотвѣтствующихъ каждой изслѣдованной жидкости. Но очевидно, что эти отклоненія не пропорціональны

(1) Poggendorff's Annalen der Physik und Chemie. Bd. 4. стр. 89.

силѣ тока, но могутъ только служить показателями бѣльшей или мѣньшей силы его; при томъ же, какъ сила тока зависитъ и отъ электровозбудительной силы и отъ проводимости, и какъ при различныхъ жидкостяхъ въ элементѣ и электровозбудительная сила необходимо измѣнялась, то, поэтому изъ таблицы *Валькера* ни зависимость проводимости жидкостей, ни зависимость электровозбудительной силы цѣпи отъ природы жидкостей отдѣльно опредѣлены быть не могутъ. *Валькеръ*, между прочимъ, нашелъ: 1) что сила тока т. е. отклоненіе стрѣлки уменьшается съ увеличеніемъ разстоянія между пластинками пары, 2) увеличивается съ увеличеніемъ ихъ поверхности погруженной въ жидкость. 3) увеличивается вмѣстѣ съ температурою и 4) съ концентраціею жидкостей, (для растворовъ хлористаго натра и сѣрниокислаго натра въ водѣ). Эти результаты относительно силы тока могутъ быть отнесены и къ проводимости жидкостей, какъ мы увидимъ далѣе.

§ 15. Изслѣдованія *Деларива* ⁽¹⁾ должны быть замѣчены только въ томъ отношеніи, что онъ первый указалъ въ нихъ на тотъ фактъ, что при опредѣленіи проводимости жидкостей необходимо обращать вниманіе на особенное сопротивленіе, которое происходитъ при переходѣ тока изъ твердаго проводника въ жидкій и обратно — однимъ словомъ на то явленіе, которое теперь мы называемъ *поляризациею*. *Деларивъ* первый выразилъ мнѣніе, что жидкости совсѣмъ не столь дурные проводники, какими ихъ принимали, но

(¹) *Annales de Chimie et de Physique*. 1828. Томъ 37. стр. 225 — 286.

что большое ослабленіе тока, при вставленіи ихъ въ цѣпь, по бѣльшей части происходитъ отъ сопротивленія при переходѣ (поляризаціи), которое при различныхъ электродахъ имѣетъ различную величину ⁽¹⁾.

§ 16. О трудахъ *Маріанини* и *Фаффа* мы не можемъ здѣсь много распространяться; достаточно сказать, что способъ, употребленный ими для опредѣленія проводимости жидкостей имѣетъ такія же (и даже бѣльшія) погрѣшности, какъ и способъ *Ферстемана*, и что, поэтому, составленные ими таблицы численныхъ величинъ проводимости различныхъ жидкостей не только не показываютъ проводимости, но даже не могутъ служить и для показанія порядка, въ которомъ жидкости могутъ быть расположены относительно этого свойства. Первый изъ этихъ ученыхъ — *Маріанини* ⁽²⁾, при составленіи своей таблицы проводимостей, принималъ за мѣру проводимости уголь отклоненія стрѣлки гальванометра вставленнаго въ цѣпь вмѣстѣ съ жидкостью, которая всегда была наливаема въ самые элементы батареи. Но уголь отклоненія стрѣлки зависитъ, какъ мы то замѣтили при опытахъ *Валькера*, не только отъ проводимости, но и отъ электро-возбудительной силы батареи, кѣторая можетъ при различныхъ жидкостяхъ имѣть величину весьма различную. Въ опытахъ *Фаффа* изслѣдуемая жидкость была наливаема не

⁽¹⁾ Ibid. стр. 272.

⁽²⁾ *Fechner*. Lehrbuch des Galvan. und der Electrochemie. стр. 236.
Fechner. Repertorium der Experimental-Physik. T. I. стр. 408.
Becquerel. Traité experim. de l'électricité et du magnetisme.
 T. III. стр. 192.

въ элементы баттарей, но въ особенный сосудъ, черезъ который токъ пропусклся посредствомъ позолоченныхъ электродовъ ⁽¹⁾ и отклоненія стрѣлки гальванометра, принимались за мѣру проводимости жидкостей ⁽²⁾.

§ 17. И такъ, изъ разсмотрѣнія приведенныхъ нами изслѣдованій мы можемъ убѣдиться, что въ продолженіе почти тридцати лѣтъ познанія наши о проводимости жидкостей весьма мало подвинулись впередъ, и что ни одинъ изъ предложенныхъ нами въ § 5 вопросовъ не получилъ опредѣленнаго отвѣта. Труды наблюдателей, какъ мы видѣли, обращены были болѣе на опредѣленіе численной величины проводимости жидкостей; да и эти труды не повели далеко, не привели къ искомому. Что же касается до вліянія самыхъ размѣровъ, самой формы жидкаго слоя, то въ этомъ отношеніи изъ нѣкоторыхъ опытовъ (напр. изъ опытовъ Валькера) можно было вывести только то, что сопротивленіе жидкости увеличивается съ увеличеніемъ длины слоя и уменьшается съ увеличеніемъ поверхности, но законъ этихъ измѣненій оставался не-

(¹) *Fechner*. Lehrbuch des Galv. стр. 236 и 549.

(²) *Фаффе* производилъ еще опыты надъ проводимостью жидкостей — совершенно по другому способу, а именно: онъ опредѣлялъ силу заряда Лейденской балки, необходимаго для того, чтобы токъ электричества, прошедши черезъ слой жидкости, могъ зажечь порохъ; эту силу заряда *Фаффе* измѣрялъ числомъ оборотовъ своей электрической машины и принималъ за мѣру сопротивленія жидкости. Неточность и невѣрность такого способа очевидна сама собою; и поэтому странно, что знаменитый *Фехнеръ* считаетъ этотъ способъ болѣе точнымъ, чѣмъ прежній способъ употребленный *Фаффомъ*. (См. *Lehrb. d. Galv.* стр. 237).

опредѣленнымъ. Тоже должно сказать и о сравненіи проводимостей жидкостей и металловъ: всѣ принимали, что жидкости несравненно худшіе проводники, чѣмъ металлы; но численное отношеніе никѣмъ точнымъ образомъ опредѣлено не было⁽¹⁾. Главная причина такого слабаго развитія познаній нашихъ о проводимости жидкостей въ этотъ періодъ времени, заключается въ темныхъ понятіяхъ, которыя господствовали между физиками относительно гальванической цѣпи.

§ 18. Съ 1829 — 30 года начинается новая эпоха въ исторіи нашего предмета: въ это время *Фехнеръ*, понявши важность формулы *Ома* для гальванизма и многочисленными опытами доказавши ея справедливость для токовъ гидроэлектрическихъ, вмѣстѣ съ тѣмъ необходимо долженъ былъ изслѣдовать и проводимость жидкостей. О трудахъ *Фехнера*, какъ представляющихъ первый примѣръ точныхъ изслѣдованій въ гальванизмѣ, какъ о первыхъ, имѣвшихъ такое

(1) *Кевендишъ* принимаетъ, что желѣзная проволока въ 400,000,000 разъ лучше проходитъ, нежели дистиллированная вода, но не описываетъ способа, по которому онъ получилъ это число. *Фаффе* опредѣлилъ, что насыщенный растворъ нашатыря (принадлежащій по его изслѣдованіямъ къ лучшимъ проводникамъ) долженъ составлять слой въ 6 квадр. дюймовъ поперечнаго разрѣза, для того, чтобы, будучи вставленъ въ гальваническую цѣпь вмѣсто желѣзной проволоки такой же длины и $\frac{1}{41236}$ кв. д. поперечнаго разрѣза, производилъ бы тоже самое отклоненіе стрѣлки. Изъ этого, по второму закону *Фехнера*, будетъ слѣдовать, что сопротивленіе этого раствора въ 247,416 разъ болѣе сопротивленія желѣза (при этомъ, впрочемъ, не принята во вниманіе поляризація). См. *Fechner Lehrbuch des Galv.* стр. 239.

прочное основаніе — формулу Ома, — мы должны распространить здѣсь нѣсколько подробнѣе.

При всѣхъ своихъ опытахъ Фехнеръ мѣрою силы тока бралъ не отклоненіе магнитной стрѣлки, но выводилъ эту силу изъ наблюденій временъ, употребляемыхъ стрѣлкою на совершеніе одинаковаго числа колебаній 1) подъ вліяніемъ на нея совокупнаго дѣйствія земнаго магнетизма и силы тока и 2) подъ вліяніемъ одной только магнитной силы земли ⁽¹⁾. Для этого Фехнеръ ставилъ проволоку, по которой проходилъ гальваническій токъ, перпендикулярно къ магнитному меридіану и приводилъ находящуюся подъ нею магнитную стрѣлку въ колебанія (выведа ея приближеніемъ желѣза изъ ея положенія равновѣсія). Положимъ сила тока есть F ; магнитная сила, удерживающая стрѣлку въ магнитномъ меридіанѣ $= M$; T' время опредѣленнаго числа колебаній стрѣлки при совокупномъ дѣйствіи на нея F и M . T время того же числа колебаній при одномъ дѣйствіи M ; основываясь на законахъ колебанія маятника, мы будемъ имѣть: $F + M : M = T^2 : T'^2$, отсюда

$$F : M = T^2 - T'^2 : T'^2, \text{ и } F = M \cdot \left(\frac{T^2 - T'^2}{T'^2} \right)$$

Слѣдов. въ ряду опытовъ, въ продолженіе котораго мы можемъ предположить, что M неизмѣняется, сила тока будетъ

пропорціональна $\frac{T^2 - T'^2}{T'^2}$ Въ отношеніи теоретическомъ этотъ способъ не представляетъ никакихъ затрудненій и дастъ точ-

⁽¹⁾ См. Ibid. стр. 148.

ную мѣру силы тока, но въ отношеніи практическомъ онъ имѣетъ ту невыгоду передъ обыкновеннымъ гальванометромъ, что онъ не можетъ дать силу тока для даннаго момента, потому что самое наблюденіе колебаній продолжается нѣкоторое время; при томъ же и въ продолженіе этого времени сила тока можетъ измѣняться, особливо, если при опытахъ, каковы *Фехнеровы*, употребляются для произведенія тока непостоянныя гидроэлектрическія цѣпи. Тѣмъ болѣе мы должны удивляться *Фехнеру*, что при этомъ затруднительномъ способѣ и при всѣхъ невыгодныхъ обстоятельствахъ, имѣвшихъ мѣсто при его опытахъ, онъ подарилъ науку такимъ важнымъ трудомъ, каковы его »*Maasbestimmungen der galvanischen Kette.* (¹)«

§ 19. Доказавъ справедливость законовъ, найденныхъ *Омомъ* для сопротивленія твердыхъ проводниковъ, *Фехнеръ* опредѣлилъ эти же законы и для тѣлъ жидкихъ, чего *Омъ*, производившій свои опыты съ цѣпью термоэлектрическою, опредѣлить не могъ и что также не было найдено ни однимъ изъ прочихъ предшественниковъ *Фехнера*. Эти законы совершенно одинаковы съ законами для твердыхъ тѣлъ, а именно: 1) сопротивленіе жидкостей прямо пропорціонально длинѣ жидкаго слоя и 2) обратно пропорціонально поперечному разрѣзу и справедливы только для того случая, когда

(¹) *Maasbestimmungen der galvanischen Kette von T. Fechner.* Leipzig, 1831. При составленіи этого разсужденія я не имѣлъ подъ руками книги *Фехнера*, а потому по необходимости долженъ ссылатся или на *Fechner. Lehrbuch des Galvanismus* или его же *Repertorium der Experiment.-Physik.*

поперечный разръзъ жидкаго слоя по всей длинѣ одинаковъ и электроды погруженною своею поверхностью съ нимъ совпадаютъ. Первый законъ *Фехнера* доказалъ слѣдующимъ образомъ: двѣ разнородныя пластинки изъ цинка и мѣди онъ ставилъ параллельно одну другой въ длинный ящикъ, наполненный слабымъ растворомъ какой нибудь кислоты. Разстояніе между пластинками, занимавшими всю ширину ящика и составлявшими гальваническій элементъ, могло быть измѣняемо по произволу. Измѣряя при различныхъ разстояніяхъ пластинокъ силу тока на гальванометрѣ (концы проволоки котораго соединены были съ элементомъ) по способу, объясненному выше, *Фехнеръ* находилъ, что для различныхъ разстояній пластинокъ, для различной длины жидкаго

слоя, сила тока F удовлетворяетъ выраженію:
$$F = \frac{A}{L + n.d}$$

гдѣ A электровозбудительная сила элемента, L сопротивленіе твердыхъ частей цѣпи (вмѣстѣ съ сопротивленіемъ при переходѣ), d сопротивленіе жидкаго слоя при единицѣ длины, n длина слоя. Для примѣра я привожу слѣдующее наблюденіе *Фехнера*: ⁽¹⁾

Дл. слоя n .	1.	2.	4.	8.	12.	16.	20.	28.	32.	36.	44.
Сила { наб.	19,6	15,0	10,8	6,51	4,39	3,52	3,00	2,24	1,93	1,77	1,45
тока F { выч.	19,3	15,1	10,6	6,61	4,40	3,65	2,94	2,21	1,96	1,75	1,47

Если дѣйствительно сила тока F удовлетворяетъ приведенной формулѣ, то мы можемъ изъ каждаго двухъ наблюденій получить величину d и L въ функціи отъ A , такъ какъ

(¹) См. послѣднее сочиненіе Т. I. стр. 406.

мы имѣемъ два уравненія $L + nd = \frac{A}{F}$ } Принимая $A = 1$,
 $L + n'd = \frac{A}{F'}$ }

и предполагая, что A въ продолженіе этого ряда наблюденій неизмѣнилась, *Фехнеръ* получилъ изъ всѣхъ наблюденій среднюю величину $d = 0,0142$, а для L изъ первыхъ четырехъ опредѣленій величину $= 0,0377$, а изъ остальныхъ $L = 0,0566$. Зная такимъ образомъ величины L и d , обратно можно вычислить для каждаго разстоянія n силу тока F и сравнить эти вычисленные величины съ наблюденными. Нижній горизонтальный столбецъ представляетъ силы тока вычисленные и согласіе его съ верхнимъ вполне подтверждаетъ формулу и слѣдовательно доказываетъ, что сопротивленіе жидкаго слоя прямо пропорціонально n — длинѣ слоя. Подобныхъ наблюденій можно найти нѣсколько въ сочиненіи *Фехнера* и всѣ они приводятъ къ тому же результату.

§ 20. Этотъ же законъ подтверждается и опытами, произведенными въ 1831 году *Videon'омъ* ⁽¹⁾, которому, впрочемъ, изслѣдованія *Фехнера* не были извѣстны и который, по незнанію формулы *Ома*, самъ не могъ открыть его. Опыты *Videon'a* отличаются отъ *Фехнеровыхъ* тѣмъ, что въ нихъ былъ употребленъ другой способъ для измѣренія силы тока, а именно: *Videon* за мѣру силы принималъ число градусовъ, на которое необходимо было закрутить верхній конецъ серебряной вертикальной проволоки, для того, чтобы привести магнитную горизонтальную стрѣлку привѣшенную къ ниж-

(1) Annales de Chimie et de Physique. T. 46. стр. 85.

нему ея концу и отклоненную дѣйствіемъ тока отъ положенія равновѣсія снова въ положеніе магнитнаго меридіана. Слѣдоват. *Videon* измѣрялъ силу тока (подобно Ому) силою крученія, такимъ же образомъ какъ *Кулонъ* (Coulomb) употреблялъ крученіе за мѣру электрической и магнитной напряженности. Впрочемъ величины силы тока, наблюденныя *Videon'омъ* и вычисленныя по формулѣ не представляютъ слишкомъ большаго согласія ⁽¹⁾. Однакоже мы не должны приписывать это несогласіе невѣрности самаго закона, во первыхъ потому, что величина *A* (электровозбудительная сила непостояннаго элемента) которую мы принимали постоянною, могла подвергаться значительнымъ измѣненіямъ, а во вторыхъ потому, что *Videon* при своихъ опытахъ не принималъ такихъ предосторожностей, какъ *Фехнеръ*, который всегда выжидалъ, по возможности, того времени, когда элементъ или батгарея сдѣлается болѣе постояннымъ.

§ 21. Для доказательства втораго закона — зависимости сопротивленія отъ поперечнаго разрѣза — *Фехнеръ* измѣнялъ поперечный разрѣзъ жидкости и пластинокъ въ определенномъ отношеніи *m* и замѣчалъ при этомъ соотвѣтствующую силу тока *F*. Вычисленіе показало, что *F* удовлетво-

ряетъ формулѣ $F = \frac{A}{L + \frac{d}{m}}$, гдѣ *A*, *L*, *d* имѣютъ прежнія

значенія. Измѣненіе — увеличеніе или уменьшеніе — поперечнаго разрѣза жидкаго слоя можно было произвести двоякимъ образомъ, или 1) наливая въ ящикъ, въ которомъ

⁽¹⁾ *Fechner*. Repertorium der Experim.-Physik. Т. I. стр. 407.

находился элементъ, жидкость до различной, опредѣленной величины или 2) взявъ нѣсколько совершенно равныхъ элементовъ въ различныхъ ящикахъ, соединить всѣ цинковыя пластинки между собою и также всѣ мѣдныя между собою; тогда, по соединеніи цинка съ мѣдью мы получимъ такое же дѣйствіе отъ нашего сложнаго элемента, какое произошло бы отъ простаго элемента, имѣющаго въ m разъ большую поверхность (если число элементовъ есть m) ⁽¹⁾. Изъ многихъ наблюденій *Фехнера* я представлю для примѣра одно ⁽²⁾, въ которомъ употреблено было шесть равныхъ элементовъ изъ цинка и мѣди.

	Величина поверхности = m	Сила = F .		$A = 1.$
		Наблюд.	Вычислен.	
I.	6.	7,351	7,35	$L = 0,0446$
	1.	1,686	1,69	$d = 0,5479$
II.	6.	5,393	5,39	$L = 0,0423$
	4.	3,894	3,89	$d = 0,8558$
	2.	2,133	2,12	

⁽¹⁾ *Фехнеръ* доказалъ особенными опытами, что m гальваническихъ элементовъ, совершенно равныхъ и имѣющихъ каждый поверхность S , будучи соединены между собою параллельно, (т. е. цинкъ съ цинкомъ и мѣдь съ мѣдью) даютъ по соединеніи составляющихъ ихъ разнородныхъ металловъ, токъ такой силы, какая произошла бы отъ одного элемента, имѣющаго поверхность mS . Это явленіе есть прямое слѣдствіе законовъ распредѣленія тока по проводникамъ параллельнымъ.

⁽²⁾ Repertorium d. Experim.-Physik. T. I. стр. 419.

III.	6.	4,960	4,96	$L = 0,0423$ $d = 0,9503$
	5.	4,284	4,28	
	4.	3,542	3,56	
	2.	1,762	1,92	
	1.	1,027	1,00	
IV.	6.	4,117	4,13	$L = 0,0429$ $d = 1,1952$
	5.	3,542	3,54	
	4.	2,901	2,93	
	3.	2,262	2,27	
	2.	1,543	1,56	
	1.	0,812	0,808	

Эти наблюденія раздѣлены на 4 ряда; цѣпь, по мнѣнію Фехнера, находилась въ четырехъ различныхъ періодахъ своего дѣйствія, измѣняя свою силу отъ одного ряда до другаго, но оставаясь почти постоянною въ продолженіе одного и того же ряда. Уменьшеніе силы цѣпи видно изъ сравненія наблюденій, произведенныхъ при одномъ и томъ же поперечномъ разрѣзѣ въ различныхъ рядахъ; это уменьшеніе происходило, по мнѣнію Фехнера, отъ увеличенія величины d , которая при этихъ наблюденіяхъ означаетъ не только сопротивленіе жидкости, но вмѣстѣ съ нимъ и сопротивленіе при переходѣ.

§ 22. Фехнеръ своими изслѣдованіями надъ цѣпью гидроэлектрическою доведенъ былъ до того заключенія, что полное сопротивленіе такой цѣпи не выражается суммою сопротивленій твердыхъ и жидкихъ частей ея, но что въ ней заключается еще особенное сопротивленіе, проявляющееся при переходѣ тока изъ твердаго проводника въ жидкій и

обратно и названное имъ сопротивленіемъ при переходѣ. Я имѣлъ случай въ другомъ мѣстѣ ⁽¹⁾ показать, что это предполагаемое сопротивление не существуетъ, но что ослабленіе тока приписываемое ему происходитъ отъ дѣйствія поляризаціи; я также показалъ, что законы, найденные Фехнеромъ для этого сопротивленія, (которые можно отнести съ извѣстными измѣненіями и на поляризацію), несправедливы. Фехнеръ полагалъ, что 1) сопротивление при переходѣ есть величина постоянная независимая отъ силы тока (т. е. поляризація пропорціональна силѣ тока) различная для различныхъ электродовъ и жидкостей; 2) что оно обратно пропорціонально поперечному разрѣзу (также слѣдоват. и поляризація) и 3) подвержено различнымъ измѣненіямъ въ своей величинѣ въ продолженіе дѣйствія тока. Основываясь на этомъ, Фехнеръ и принималъ, что величина L въ формулѣ

§ 19: $F = \frac{A}{L + nd}$ выражаетъ не одно сопротивление твердыхъ частей цѣпи l но также и это новое сопротивление p т. е. $L = l + p$ и что измѣненія въ величинѣ L въ продолженіе наблюденія приведеннаго на 29 стр. происходили именно вслѣдствіе измѣненія p . Такимъ же образомъ въ наблюденіи, приведенномъ въ предъидущемъ § на 32 стр., величина d означаетъ не одно сопротивление жидкости, но сумму сопротивленія жидкости и p , т. е. $d = d' + p$ и какъ величина p , по мнѣнію Фехнера, измѣняется также обратно пропорціонально поперечному разрѣзу, то поэтому она не

(1) О явленіяхъ поляризаціи въ гальванической цѣпи. Спб. 1845.

могла быть отдѣлена отъ величины d и поэтому всѣ измѣненія въ d въ приведенныхъ четырехъ рядахъ происходили, по мнѣнію *Фехнера*, отъ переменъ сопротивленія при переходѣ — p . Конечно, *Фехнеръ* ошибался въ значеніи p , тѣмъ не менѣе онъ первый доказалъ строго, что въ гидроэлектрической цѣпи, при прохожденіи тока чрезъ жидкость, существуетъ особенное сопротивленіе при переходѣ p — которое мы въ настоящее время приписываемъ поляризаціи. Въ наукѣ не рѣдко мы не достигаемъ прямо истины, но идемъ къ ней по пути большаго или меньшаго ряда заблужденій.

§ 23. Опредѣливъ зависимость сопротивленія жидкостей отъ длины и поперечнаго разрѣза, *Фехнеръ* вмѣстѣ съ тѣмъ предложилъ два способа для опредѣленія величины этого сопротивленія. Первый изъ этихъ способовъ ⁽¹⁾ весьма простъ и замѣчателенъ тѣмъ, что онъ съ нѣкоторыми измѣненіями и въ настоящее время долженъ считаться самымъ простымъ и точнымъ способомъ. *Фехнеръ* описываетъ его слѣдующимъ образомъ: изслѣдуемая жидкость наливается въ ящикъ, въ который погружены двѣ пластинки разнородныхъ металловъ, занимающія всю ширину ящика и составляющія такимъ образомъ вмѣстѣ съ жидкостью гальваническій элементъ. Эти пластинки могутъ быть передвигаемы на различныя одна отъ другой разстоянія т. е. длина жидкаго слоя, при томъ же поперечномъ разрѣзѣ, можетъ быть увеличиваема и уменьшаема. Соединивъ пластинки съ гальванометромъ, 1) замѣчаютъ силу тока F , за тѣмъ 2) передвигаютъ ихъ на раз-

(¹) *Fechner*. Repertorium der Experim.-Physik. Т. I. стр. 409.

стояніе n разъ большее и дѣлають тоже наблюденіе; сила тока F' будетъ менѣе F ; послѣ того 3) ставятъ пластинки на первое разстояніе, а въ цѣпь вставляютъ металлическую проволоку извѣстнаго діаметра и вещества, но такой длины l , чтобы сила тока равнялась F' . Тогда, очевидно, сопротивление вставленной въ цѣпь проволоки будетъ равно сопротивленію жидкаго слоя длиною $= n - 1$; потому что эта проволока столько же ослабляетъ силу тока, приводя ее отъ величины F до F' , сколько ослабляетъ эту силу прибавленный слой жидкости длиною $= n - 1$. Назовемъ чрезъ A электровозбудительную силу элемента, чрезъ p поляризацию, чрезъ L сопротивление гальванометра и соединительныхъ проволокъ, чрезъ d сопротивление жидкости элемента при единицѣ разстоянія между пластинками. Мы имѣемъ изъ перваго наблюденія:

$$F = \frac{A - p}{L + d} \quad (1); \text{ изъ втораго наблюденія:}$$

$$F' = \frac{A - p}{L + nd} \quad (2) \text{ и изъ третьяго:}$$

$$F' = \frac{A - p}{L + l + d} \quad (3)$$

предполагая, что A , p , L и d неизмѣнились во все продолженіе трехъ наблюденій и принимая сопротивление единицы длины вставленной проволоки за единицу. Изъ (2) и (3) мы будемъ прямо имѣть: $nd = l + d$ и $d = \frac{l}{n - 1}$. Первое наблюденіе силы тока F , какъ отсюда видно, вовсе нѣтъ необходимости производить; для опредѣленія d достаточно слѣдоват.

только двухъ послѣднихъ наблюденій т. е. достаточно замѣтитъ силу тока F' при длинѣ слоя n и затѣмъ, укоротивъ эту длину до единицы, вставить въ цѣпь проволоку и измѣнять длину этой проволоки до тѣхъ поръ, пока сила тока сдѣлается снова прежнею $= F'$. Это уже есть одно упрощеніе способа Фехнера; но способъ этотъ въ томъ видѣ, какъ мы его сейчасъ описали, представляетъ бѣольшія практическія затрудненія; во *первыхъ* то, что не всѣ жидкости могутъ быть наливаемы въ самый элементъ цѣпи: отъ дѣйствія нѣкоторыхъ электровозбудительная сила A можетъ подвергаться во время наблюденій большимъ измѣненіямъ, а другія же могутъ сильно дѣйствовать химически на самыя пластинки; во *вторыхъ* при употребленіи Фехнерова гальванометра этотъ способъ дѣлается весьма продолжительнымъ: требуется довольно значительное время для того, чтобы измѣненіемъ длины проволоки достигнуть тойже самой силы тока F' , какъ и безъ проволоки, такъ какъ эта сила измѣняется, по Фехнеру, временемъ опредѣленнаго числа колебаній магнитной стрѣлки. Это второе затрудненіе можетъ быть легко устранено, если мы возьмемъ вмѣсто Фехнерова гальванометръ обыкновенный ⁽¹⁾ и длину проволоки будемъ измѣнять не прерывая тока (къ чему, въ настоящее время, агометръ предста-

(¹) Такъ какъ намъ нѣтъ необходимости знать величину силы тока F' , а необходимо только, чтобы силы тока въ двухъ наблюденіяхъ были равны, то слѣдовательно мы можемъ употребить какой ниестъ (только чувствительный) не градуированный гальванометръ, въ которомъ отношеніе силы тока къ отклоненію стрѣлки намъ неизвѣстно: равное отклоненіе стрѣлки всегда покажетъ и равенство токовъ.

вляеть весьма простое средство). Что же касается до перваго затрудненія, то и отъ него можно освободиться весьма просто, вставляя жидкость не въ самый элементъ, но отдѣльно отъ него, въ сосудѣ цилиндрическомъ, въ которомъ поперечный разрѣзъ вездѣ одинаковъ и въ которомъ электроды, занимая весь поперечный разрѣзъ, могли бы быть удаляемы или приближаемы на различныя разстоянія. Въ этомъ случаѣ для увеличенія силы тока можно употребить и не одинъ гальваническій элементъ, а нѣсколько. Устранивъ такимъ образомъ неудобства способа Фехнера, мы получаемъ простой способъ для опредѣленія сопротивленія жидкостей, способъ, совершенно тождественный съ тѣмъ, который былъ въ 1843 году предложенъ *Уитстономъ* (Wheatstone).

§ 24. Второй способъ, предложенный и употребленный *Фехнеромъ* для опредѣленія сопротивленія жидкостей, состоитъ въ наблюденіи силы тока при различныхъ длинахъ жидкаго слоя (налитаго, какъ и прежде, въ самый элементъ) и при различныхъ длинахъ соединительной проволоки. Положимъ при извѣстной длинѣ n жидкаго слоя, мы замыкали цѣпь проволоками длиною въ $l, 2l, 3l, \dots$ и замѣтили соотвѣтствующія силы тока $F', F'', F''' \dots$, слѣдовательно по *Фехнеру*, имѣемъ нѣсколько уравненій вида:

$$F' = \frac{A}{p + nd + l}, F'' = \frac{A}{p + nd + 2l}, F''' = \frac{A}{p + nd + 3l}, \dots \quad (\alpha)$$

изъ нихъ *Фехнеръ* выводитъ величину $\frac{l}{A}$. Измѣняя теперь длину жидкаго слоя при той же длинѣ ml соединительной проволоки, *Фехнеръ* получаетъ нѣсколько уравненій вида

$$F_1 = \frac{A}{p + d + ml}, F_2 = \frac{A}{p + 2d + ml}, F_3 = \frac{A}{p + 3d + ml} \dots (\beta)$$

и изъ нихъ выводять величину $\frac{d}{A}$; а сравнивъ $\frac{d}{A} : \frac{l}{A}$ получаетъ $\frac{d}{l}$ т. е. отношеніе сопротивленія жидкости къ сопро-

тивленію проволоки длиною въ l . Фехнеръ производилъ два ряда наблюденій — 1) при различныхъ длинахъ жидкаго слоя и 2) при различныхъ длинахъ соединительной проволоки — по той единственно причинѣ, что онъ принималъ въ знаменателѣ формулы F членъ p , сопротивленіе при переходѣ; но какъ мы теперь знаемъ, что p входитъ не въ знаменатель, а въ числитель, то для насъ достаточно для опредѣленія $\frac{d}{l}$ одного изъ двухъ рядовъ наблюденій. Воз-

мемъ, на примѣръ, два наблюденія изъ перваго ряда (α); измѣнивъ формулы Фехнера въ истинныя, мы имѣемъ:

$$F = \frac{A - p}{l + nd}, F'' = \frac{A - p}{2l + nd}; \text{ изъ нихъ мы получимъ}$$

$$A - p = F'(l + nd) = F''(2l + nd) \text{ или}$$

$$F'(1 + n \cdot \frac{d}{l}) = F''(2 + n \cdot \frac{d}{l}), \text{ отсюда}$$

$$\frac{d}{l} = \frac{2F'' - F'}{n(F' - F'')} \quad (\gamma)$$

Недостатки этого способа, который впрочемъ Фехнеръ предпочитаетъ первому, одинаковы съ недостатками перваго и могутъ быть устранены такимъ же образомъ, какъ мы описали въ предыдущемъ §; однако же, рассматривая его ближе, мы легко замѣтимъ, что онъ далеко уступаетъ пер-

вѣдѣнію и въ простотѣ и въ точности; во *первыхъ* при употребленіи его мы должны имѣть гальванометръ градуированный — для опредѣленія F' и F'' — что вовсе не было необходимо въ предъидущемъ способѣ; а во *вторыхъ* величина p , которую мы предполагали постоянною при различныхъ силахъ тока, на самомъ дѣлѣ есть величина переменная, увеличивающаяся съ увеличеніемъ силы тока; потому выраженіе (γ) въ строгости не вѣрно и мы не можемъ получить точнаго опредѣленія $\frac{d}{l}$, такъ какъ законъ измѣненія поляризаціи намъ неизвѣстенъ.

§ 25. Употребляя этотъ послѣдній способъ, *Фехнеръ* опредѣлилъ сопротивленіе нѣкоторыхъ жидкостей и доказалъ, что сопротивленіе вовсе не зависитъ отъ вещества электродовъ — обстоятельство, которое до того времени было подвержено сомнѣнію (прежніе наблюдатели не отдѣляли отъ сопротивленія поляризацію и потому, естественно, при различныхъ электродахъ находили и различную величину для сопротивленія). Число жидкостей, которыхъ сопротивленіе опредѣлено *Фехнеромъ*, весьма незначительно: эти жидкости состояли изъ весьма слабыхъ растворовъ кислотъ сѣрной, азотной и соляной (¹); поэтому познанія наши объ относительной проводимости различныхъ жидкостей трудами *Фехнера* нисколько не разширились: при всемъ томъ труды эти замѣчательны въ исторіи нашего предмета, какъ первые, которые показали необходимость отдѣлять поляризацію отъ сопротивленія.

(¹) Repert. d. Experim.-Phys. T. I. стр. 411.

§ 26. Не смотря на изслѣдованія *Фехнера*, формула *Ома*, какъ я выше упомянулъ (см. § 1), не скоро вышла изъ-за предѣловъ Германіи, и потому, неудивительно, что и послѣ этихъ изслѣдованій, мы встрѣчаемъ такіе труды о проводимости жидкостей, которые, не будучи основаны на формулѣ *Ома*, не могли прибавить ничего новаго къ наукѣ, кромѣ ложныхъ и вредныхъ для нея результатовъ. Къ этому ряду мы должны причислить изслѣдованія, произведенныя въ 1837 году извѣстнымъ италіянскимъ физикомъ *Маттеуччи*: въ обширномъ мемуарѣ (') »Sur la propagation du courant electrique dans les liquides« *Маттеуччи* представляетъ длинный рядъ наблюденій надъ зависимостью силы тока отъ природы жидкостей, ея температуры, объема, отъ поверхности и вещества электродовъ. Не рассматривая эти изслѣдованія въ подробности, я скажу только, что изъ результатовъ, выводимыхъ *Маттеуччи* изъ своихъ опытовъ, одни не заслуживаютъ большаго довѣрія, потому что самые опыты произведены были не надлежащимъ образомъ, другіе объясняются отчасти формулою *Ома*; третьи же, наконецъ, не могутъ быть вовсе допущены, доказывая только незнаніе этой формулы. Такимъ образомъ, напримѣръ, *Маттеуччи* принимаетъ, что всѣ соли въ расплавленномъ состояніи оказываютъ такую же проводимость, какъ ихъ концентрированные, насыщенные растворы въ водѣ при температурѣ $+20^{\circ}$ R. (Уксуснокислый свинецъ, квасцы, цинковый купоросъ, хлористый кальцій). При описаніи опытовъ, изъ которыхъ *Мат-*

(') Ann. de Ch. et de Phys. T. 66. стр. 225 — 313.

теуччи выводитъ это положеніе, во 1-хъ) не говорится о томъ, имѣли ли слои расплавленной соли и раствора ея въ водѣ одинаковую длину и одинъ и тотъ же поперечный разрѣзъ — условіе, необходимое для того, чтобы, безъ знанія законовъ проводимости можно было сравнивать ее въ двухъ тѣлахъ; во 2-хъ) не было обращено вниманія на поляризацию, которой величина въ нѣкоторыхъ случаяхъ могла быть довольно значительная и притомъ неодинаковая для расплавленной соли и для ея раствора. Для примѣра я приведу еще одинъ замѣчательный результатъ выводимый *Маттеуччи*: если въ растворѣ въ водѣ находятся нѣсколько различныхъ солей, не дѣйствующихъ взаимно химически, то проводимость такого раствора равна суммѣ проводимостей того же самаго количества воды, содержащаго отдѣльно въ растворѣ тоже самое количество каждой соли. Этотъ результатъ выводитъ *Маттеуччи* изъ того, что токъ, проходившій чрезъ растворъ, содержавшій $\frac{1}{100}$ часть нашатыря въ дистиллированной водѣ, отклонялъ стрѣлку гальванометра на 12° , тотъ же токъ, проходя чрезъ растворъ $\frac{1}{100}$ азотнокислаго кали, производилъ отклоненіе стрѣлки $= 8^\circ$, а проходя чрезъ растворъ, содержавшій тѣже количества обѣихъ солей вмѣстѣ, отклонялъ стрѣлку на 20° . Принимая отклоненіе стрѣлки мѣрою проводимости, *Маттеуччи* изъ этихъ наблюденій заключаетъ, что проводимость послѣдняго раствора $= 20^\circ$ равна суммѣ проводимостей первыхъ двухъ $= 12^\circ + 8^\circ$. Однакоже, во *первыхъ* отклоненіе стрѣлки не выражаетъ силы тока, а во *вторыхъ*, если бы даже оно и было пропорціонально этой силѣ, то и въ такомъ случаѣ проводимость не всегда

можно полагать пропорціональною этому отклоненію. Означимъ силы тока при приведенныхъ трехъ наблюденіяхъ чрезъ F', F'', F''' , сопротивленіе жидкостей чрезъ x', x'', x''' (а слѣдов. проводимости будутъ $\frac{1}{x'}, \frac{1}{x''}, \frac{1}{x'''} \rangle$ и чрезъ p', p'', p''' поляризаціи; мы имѣемъ

$$F' = \frac{A - p'}{L + x'}, \quad F'' = \frac{A - p''}{L + x''}, \quad F''' = \frac{A - p'''}{L + x'''}; \text{ если } F''' = F' + F''$$

(какъ полагалъ *Маттеуччи*), то

$$\frac{A - p'''}{L + x'''} = \frac{A - p'}{L + x'} + \frac{A - p''}{L + x''}, \text{ а изъ этого мы тогда только}$$

можемъ получить: $\frac{1}{x'''} = \frac{1}{x'} + \frac{1}{x''}$, когда L есть величина

ничтожная сравнительно съ x', x'', x''' и когда $p' = p'' = p'''$.

Имѣли ли эти обстоятельства мѣсто въ опытахъ *Маттеуччи* или нѣтъ — объ этомъ въ мемуарѣ не говорится ни слова.

Принимая отклоненіе стрѣлки гальванометра за мѣру проводимости жидкостей, и не обращая вниманія на поляризацію,

Маттеуччи впалъ въ такую же ошибку, какъ и всѣ предшественники *Фехнера*; поэтому и составленная имъ таблица проводимостей нѣкоторыхъ веществъ не имѣетъ почти никакого значенія. Всякой, имѣющей терпѣніе прочитатъ обширный мемуаръ италіянскаго ученаго, легко можетъ убѣдиться, что, не смотря на свою обширность, это есть трудъ, потерянный для науки, трудъ, который, безъ всякаго сомнѣнія не былъ бы обнародованъ, если бы *Маттеуччи* была извѣстна формула *Ома* и изслѣдованія *Фехнера*.

§ 27. Послѣ трудовъ *Фехнера*, въ продолженіе почти семи лѣтъ, до 1837 года, мы не находимъ, за исключеніемъ

изслѣдованій знаменитаго Фареде, замѣчательныхъ трудовъ относительно проводимостей жидкостей. Разсмотрѣніе изслѣдованій Фареде, имѣвшихъ предметомъ опредѣленіе вліянія на проводимость молекулярнаго расположенія и отношенія ея къ химическому разложенію — я отложу до концаэ того разсужденія.

§ 28. Въ 1837 году мы встрѣчаемъ изслѣдованія Пулье (Pouillet), который вывелъ формулу *Ома*, не зная вовсе о ея десятилѣтнемъ существованіи въ наукѣ. Эти изслѣдованія⁽¹⁾ относятся къ численному опредѣленію проводимости нѣкоторыхъ жидкостей сравнительно съ платиною, но къ сожалѣнію, представляютъ тотъ важный недостатокъ, что при нихъ не было обращено вниманія на поляризацию. Прежде всего Пулье опредѣлилъ сопротивленіе насыщеннаго раствора мѣднаго купороса относительно платины. Для этого онъ вставлялъ въ цѣпь слой мѣднаго купороса (ограниченный мѣдными электродами) въ 1 метръ длиною и 20 миллим. въ діаметръ и замѣчалъ отклоненіе стрѣлки гальванометра; за тѣмъ онъ вставлялъ вмѣсто мѣднаго купороса платиновую проволоку толщиною въ 0,144 миллиметра и измѣнялъ ея длину до тѣхъ поръ, пока отклоненіе стрѣлки не сдѣлалось равнымъ прежнему, (при этомъ длина проволоки равнялась 132 метрамъ). Сопротивленіе этой длины проволоки, какъ справедливо заключалъ Пулье, было равно сопротивленію вставленнаго прежде въ цѣпь слоя мѣднаго купороса. Въ самомъ дѣлѣ въ первомъ случаѣ, при вставленіи въ цѣпь жидкаго

(¹) *Pogg. Ann.* Т. 42. стр. 297. *Becquerel. Traité de l'électricité.* Т. V. partie 1. стр. 271. *Comptes rendues* Т. IV, стр. 785.

слоя, сила тока $F = \frac{A-p}{L+r}$ (1), гдѣ r сопротивленіе, а p поляризація мѣднаго купороса; во второмъ наблюденіи, по замѣщеніи жидкости платиновою проволокою: $F = \frac{A}{L+Q}$ (2); гдѣ Q сопротивленіе этой проволоки. Изъ сравненія (1) и (2) имѣемъ $r + \frac{p}{F} = Q$, но какъ p — поляризація мѣдныхъ электродовъ въ насыщенномъ растворѣ мѣднаго купороса — равна нулю $= 0$ ⁽¹⁾, то поэтому мы и можемъ безошибочно положить $r = Q$, что и принималъ Пулье, не зная впрочемъ вовсе о величинѣ этой поляризаціи. Называя сопротивленіе слоя купороса при единицѣ длины и единицѣ поперечнаго разрѣза чрезъ λ , а сопротивленіе платиновой проволоки при тѣхъ же обстоятельствахъ чрезъ l , мы будемъ имѣть, основываясь на двухъ законахъ Фехнера:

$$r = \frac{\lambda \cdot 1000}{(20)^2} = Q = \frac{132000 l}{(0,144)^2}$$

отсюда $\frac{\lambda}{l} = \frac{132 \cdot (20)^2}{(0,144)^2} = 2546680$ т. е. сопротивленіе насыщеннаго раствора мѣднаго купороса при $+15^\circ$ и 16° С въ 2546680 разъ болѣе сопротивленія платиновой проволоки той же длины и того же поперечнаго разрѣза. Опредѣливши такимъ образомъ сопротивленіе мѣднаго купороса, Пулье сравнивалъ съ нимъ сопротивленіе нѣсколькихъ другихъ жидко-

(¹) См. »О явленіяхъ поляризаціи« или »Ueber galvanische Polarisation und electromotorische Kraft der Hydroketten. Bullet. Physico-Mathematique T. V. N^o 1.

стей и для этого поступалъ совершенно по предъидущему, т. е. онъ находилъ длину слоя мѣднаго купороса, которая, будучи вставлена въ цѣпь вмѣсто испытуемой жидкости, производила тоже самое отклоненіе стрѣлки, какъ и эта жидкость. Назвавши чрезъ r' сопротивленіе изслѣдуемой жидкости, чрезъ ϱ' сопротивленіе мѣднаго купороса, изъ сравненія

двухъ выраженій: $F = \frac{A}{L + \varrho'}$ и $F = \frac{A - p}{L + r'}$ мы будемъ

имѣть $\varrho' = r' + \frac{p}{F}$. Полагая $\varrho' = r'$ т. е. не обращая вниманія на поляризацію, Пулье, очевидно, долженъ былъ полу-

чить для сопротивленія жидкости r' величину, бѣльшую истинной или для проводимости ея величину мѣньшую истинной.

Впрочемъ опредѣленія Пулье не многочисленны и я приведу здѣсь всѣ полученные имъ результаты:

- 1) Проводимость насыщеннаго раствора мѣднаго купороса..... = 1,0000
- 2) Проводимость этого же раствора, смѣшаннаго съ однимъ объемомъ воды..... = 0,6400
- 3) id. съ двумя объемами воды..... = 0,4400
- 4) id. съ четырьмя объемами воды..... = 0,3100
- 5) Насыщенный растворъ цинковаго купороса.. = 0,4170
- 6) Дистиллированная вода..... = 0,0025
- 7) Дистиллированная вода съ $\frac{1}{20000}$ объема сѣрной кислоты..... = 0,0150

Двѣ послѣднія величины мѣньше истинныхъ; а величина для цинковаго купороса выведена вѣрно, потому что эта жидкость была заключена между цинковыми электродами,

такъ что поляризація, какъ и при опытахъ съ мѣднымъ купоросомъ, была равна нулю.

§ 29. *Пулье* изслѣдовалъ также вліяніе длины и поперечнаго разрѣза на сопротивленіе жидкостей и приведенъ былъ къ тѣмъ же законамъ, какіе найдены были *Фехнеромъ*, но которые однако же онъ нашелъ справедливыми только для тѣхъ случаевъ, когда длина слоя по крайней мѣрѣ въ пять разъ болѣе ширины ⁽¹⁾. Это ограниченіе законовъ (справедливыхъ, какъ въ настоящее время строго доказано, для всякой длины и ширины, если только поверхность электродовъ совпадаетъ съ поперечнымъ разрѣзомъ жидкости) произошло, можетъ быть, или оттого, 1) что *Пулье* принималъ при своихъ опытахъ сопротивленіе баттарей и соединительныхъ проволокъ ничтожнымъ въ сравненіи съ сопротивленіемъ вставленной въ цѣпь жидкости и потому принималъ прямо силу тока за мѣру проводимости — тогда какъ, можетъ быть, эти сопротивленія не при всякой длинѣ жидкаго слоя можно было принимать величинами ничтожными; или во 2-хъ) причина тому могла заключаться въ измѣненіяхъ величины поляризаціи при различныхъ наблюденіяхъ. За неимѣніемъ оригинала, подробностей самыхъ наблюденій, которые не были обнародованы, я не могу утвердительно сказать отъ какой изъ этихъ причинъ произошло ложное заключеніе *Пулье*.

§ 30. Открытіе магнитоэлектричества (индукціи) дало новое средство производить токи и при томъ токи постоян-

(1) См. *Becquere*l. Traité de l'électricité T. V. partie 1. стр. 271.

ной силы безъ помощи жидкостей; и это то средство въ рукахъ нашего академика *Ленца* послужило ко многимъ весьма важнымъ изысканіямъ въ области электродинамики. Показавъ способъ измѣрять силу мгновенныхъ магнитоэлектрическихъ токовъ (напр. производимыхъ въ спиральной проволоцѣ уничтоженіемъ магнетизма въ желѣзѣ, на которое она навита), *Г. Ленцъ* прежде всего этими токами повѣрилъ законы сопротивленія твердыхъ проводниковъ (доказанные уже *Омомъ* и *Фехнеромъ*) и опредѣлилъ величину сопротивленія нѣкоторыхъ металловъ съ такою точностію, какой еще не представляли ни одни изысканія въ гальванизмѣ. За тѣмъ, въ 1838 году, *Г. Ленцъ* этотъ же способъ приложилъ и къ изслѣдованію сопротивленія жидкостей. Желая опредѣлить сопротивленіе насыщеннаго раствора мѣднаго купороса ⁽¹⁾ — вещества представляющаго столь важную роль въ устройствѣ постоянныхъ гидроэлектрическихъ батарей, начинавшихъ только въ то время входить въ употребленіе, — *Г. Ленцъ* пропускалъ мгновенный магнитоэлектрическій токъ чрезъ этотъ растворъ (помѣщенный въ длинномъ четырехъугольномъ ящикѣ, котораго поперечный разрѣзъ былъ по всей длинѣ одинаковъ) и, ставивъ мѣдные электроды (занимавшіе весь поперечный разрѣзъ ящика) на различныя опредѣленные разстоянія n одинъ отъ другаго, замѣчалъ при каждомъ разстояніи силу тока $F_{(n)}$. Присоединивъ къ тому наблюденію силы тока F , когда въ цѣпь не была вставлена жидкость,

(¹) Bullet. scientif. de l'Acad. de St. Pétersb. T. II. стр. 237.
Pogg. Ann. T. 44. стр. 349.

онъ могъ получить изъ всѣхъ этихъ наблюденій величину сопротивленія жидкости d при единицѣ разстоянія равной одному миллиметру и величину сопротивленія при переходѣ, существованіе котораго онъ принималъ въ то время. Въ самомъ дѣлѣ, Г. Ленцъ имѣлъ слѣдующія уравненія: $F = \frac{A}{L}$ и

нѣсколько уравненій вида $F_{(n)} = \frac{A}{L + nd + p}$, полагая, что сопротивленіе жидкости прямо пропорціонально длинѣ, а величина сопротивленія при переходѣ p , также какъ A и L при всѣхъ силахъ тока остаются постоянными. Изъ этихъ уравненій могли быть выведены величины d и p относительно L по способу наименьшихъ квадратовъ; и обратно изъ этихъ величинъ могла быть *вычислена* сила тока для каждаго разстоянія n . Согласіе этихъ вычисленныхъ силъ съ наблюденными показало Г. Ленцу справедливость перваго закона Фехнера. Въ другомъ мѣстѣ ⁽¹⁾ я имѣлъ случай показать, что согласіе между этими величинами будетъ еще болѣе, если вмѣсто уравненій вида $F_{(n)} = \frac{A}{L + nd + p}$, мы

примемъ, согласно съ настоящими понятіями о поляризації, уравненія $F_{(n)} = \frac{A - p}{L + nd} = \frac{A}{L + nd + \frac{p}{F_{(n)}}}$. Г. Ленцъ получилъ

для d величину $= 0,01843 L$, и какъ L найдено изъ предварительныхъ опытовъ $= 398,72$ относительно мѣдной проволоки, имѣющей одинъ футъ длины и 0,0008856 квадратн. дюйма

⁽¹⁾ О явленіяхъ поляризації. стр. 20.

въ поперечномъ разрѣзѣ, то сопротивленіе d , относительно такой проволоки, будетъ слѣдовательно $= 7,3482$. Чтобы получить изъ этого числа отношеніе сопротивленія жидкости къ сопротивленію мѣдной проволоки, имѣющей съ нею одинаковую длину и одинаковый поперечный разрѣзъ, мы должны, по законамъ Фехнера, умножить это число на факторъ $= \frac{1 \text{ футъ}}{1 \text{ милл.}} \cdot \frac{2,7115}{0,0008856}$, гдѣ 2,7115 есть поперечный разрѣзъ жидкаго слоя выраженный въ квадр. дюйм.; такимъ образомъ мы получимъ сопротивленіе насыщеннаго раствора мѣднаго купороса $= 6.857.500$ относительно сопротивленія мѣди принятаго за единицу. Изъ опытовъ Пуллье сопротивленіе той же жидкости найдено, какъ мы видѣли, въ 2.546.680 болѣе сопротивленія платины, а какъ платина по крайней мѣрѣ въ шесть разъ проводитъ хуже, чѣмъ мѣдь, то изъ опытовъ Пуллье для сопротивленія мѣднаго купороса относительно мѣди выходитъ величина равная 15.000.000 т. е. въ два слишкомъ раза болѣе величины найденной Г. Ленцомъ. Это несогласіе результатовъ надобно приписать или тому обстоятельству, что при опытахъ этихъ ученыхъ употребленныя жидкости не были химически чистыя и вѣроятно не въ одинаковой степени концентрированныя или надобно приписать погрѣшностямъ, ошибкамъ, самаго способа наблюденій. Новѣйшія изслѣдованія, какъ я буду имѣть случай изложить далѣе, болѣе согласны съ опредѣленіями Пуллье. Такимъ же способомъ, какой употребленъ при опредѣленіи сопротивленія мѣднаго купороса, Г. Ленцъ изслѣдовалъ и сопротивле-

ніе слабой сѣрной кислоты ⁽¹⁾ и для нея также подтвердилъ первый законъ *Фехнера*.

§ 31. Разсматривая способъ *Г. Ленца* опредѣлять сопротивленіе жидкостей посредствомъ мгновенныхъ индуцированныхъ токовъ, мы, казалось бы, должны отдать этому способу преимущество передъ способами опредѣленія этого элемента помощію цѣпей гидроэлектрическихъ — по той главной причинѣ, что электровозбудительная сила магнитоэлектрической цѣпи неподвержена такимъ непостояннымъ, неправильнымъ, измѣненіямъ, какія имѣютъ мѣсто въ цѣпяхъ гидроэлектрическихъ. Однакоже, опыты показали мнѣ, что, какъ ни точенъ способъ *Г. Ленца* для измѣренія силы мгновенныхъ магнитоэлектрическихъ токовъ синусомъ половины угла отклоненія стрѣлки гальванометра, мы не можемъ приложить его во всей строгости къ тому случаю, когда въ цѣпь вставлена жидкость, когда токъ проходитъ чрезъ жидкій проводникъ. Въ самомъ дѣлѣ, въ этомъ случаѣ, съ первымъ моментомъ прохожденія тока чрезъ жидкость, раждается новый противный токъ отъ поляризаціи, дѣйствующей во все время движенія стрѣлки, которая, слѣдовательно, отклоняется отъ своего положенія равновѣсія, разностью двухъ токовъ: одного — мгновеннаго, другаго — дѣйствующаго во все время ея движенія; а поэтому и синусъ половины угла отклоненія не можетъ служить въ этомъ случаѣ мѣрою силы тока. Въ моемъ разсужденіи »О явленіяхъ поляризаціи« я достаточно доказалъ это положеніе ⁽²⁾.

⁽¹⁾ См. Bulletin Scientif. de l'Acad. de St. Pétersbourg. T. VI. стр. 95.

⁽²⁾ О явленіяхъ поляризаціи. стр. 27 — 30.

Кромѣ того способъ Г. Ленца не можетъ быть употребляемъ и по слѣдующимъ двумъ обстоятельствамъ: 1) законъ измѣненія поляризаціи при различныхъ силахъ мгновеннаго магнитоэлектрическаго тока намъ вовсе неизвѣстенъ — величина p въ наблюденіяхъ, приведенныхъ въ предъидущемъ параграфѣ, не могла оставаться постоянною, 2) электроды, чрезъ которые проходитъ токъ въ жидкость, дѣлаются отъ прохожденія тока разнородными и эту разнородность иногда нельзя открыть иначе, какъ только посредствомъ тѣхъ же мгновенныхъ токовъ ⁽¹⁾.

§ 32. При всѣхъ изслѣдованіяхъ надъ проводимостью жидкостей, произведенныхъ помощію непостоянныхъ гидроэлектрическихъ цѣпей, главнымъ обстоятельствомъ, вредившимъ точности наблюденій, было непостоянство силы самыхъ цѣпей, происходившее отъ непрерывнаго измѣненія поляризаціи. Этотъ важный недостатокъ былъ наконецъ устраненъ въ 1836 году — спустя тридцать шесть лѣтъ послѣ изобрѣтенія перваго гальваническаго столба Вольтою. Англійскій физикъ *Даніель* первый придумалъ гидроэлектрическія баттарей такого устройства, въ которыхъ поляризація не можетъ образоваться и которыхъ сила, вслѣдствіе этого, долгое время можетъ оставаться постоянною. Гальваническій элементъ *Даніелля* состоитъ, какъ извѣстно, изъ двухъ металловъ: амальгмированного цинка и мѣди и двухъ жидкостей: слабаго раствора сѣрной кислоты и насыщеннаго

(¹) См. о явленіи, открытомъ мною при прохожденіи мгновенныхъ магнитоэлектрическихъ токовъ черезъ жидкости, въ пред. разсужденіи стр. 30. или *Pogg. Ann.* Т. 73, стр. 516.

раствора мѣднаго купороса; цинкъ погружается въ первую жидкость, а мѣдь во вторую и обѣ жидкости отдѣляются одна отъ другой глиняною перегородкою, которая не позволяетъ жидкостямъ смѣшиваться, но тѣмъ не менѣе не препятствуетъ имъ прикасаться въ порахъ своихъ. При соединеніи цинка съ мѣдью, при замыканіи этого элемента, на отрицательномъ металлѣ не освобождается водородный газъ, какъ въ обыкновенныхъ непостоянныхъ цѣпяхъ, но вслѣдствіе разложенія мѣднаго купороса освобождается на немъ мѣдь въ чистомъ металлическомъ видѣ; по этому поляризація и не можетъ обнаружиться. Изобрѣтеніе Даниелля надобно поставить на ряду самыхъ важныхъ въ области гальванизма: постоянная батарея этого физика, устранивъ существенное неудобство цѣпей гидроэлектрическихъ, представила возможность — въ мѣрительныхъ гальваническихъ изслѣдованіяхъ достигать такой точности, какая до того времени была рѣшительно невозможна. Впослѣдствіи придуманы были другія постоянныя гидроэлектрическія цѣпи (основанныя на томъ же началѣ, какъ и *Даниеллева*), какъ на примѣръ: *Грове*, *Буизена*, *Сми*), но всѣ онѣ, имѣя свои преимущества и свои невыгоды, не могли вытѣснить изъ употребленія батарею *Даниелля*.

§ 33. Первые мѣрительныя, точныя гальваническія изслѣдованія, произведенныя при помощи постоянной цѣпи *Даниелля*, относятся къ 1843 году и принадлежатъ нашему академику *Ленцу* ⁽¹⁾. Эти изслѣдованія — хотя и имѣютъ

(1) Bullet. physico-math. de l'Acad. de St. Pétersb. T. I. NN^o 14, 15, 16.

главнымъ предметомъ опредѣленіе законовъ освобожденія теплоты дѣйствіемъ гальваническихъ токовъ — однакоже важны для насъ во *первыхъ* въ томъ отношеніи, что въ нихъ заключается новое строгое подтвержденіе двухъ законовъ Фехнера и во *вторыхъ* замѣчательны еще по самой методѣ, употребленной Г. Ленцомъ при своихъ наблюденіяхъ. Г. Ленцъ, воспользовавшись изобрѣтеннымъ въ 1840 году приборомъ — *агометромъ* и усовершенствовавъ его, понялъ всю важность его для гальваническихъ изслѣдованій и одинъ изъ *первыхъ* употребилъ его для опредѣленія проводимостей и электро-возбудительныхъ силъ. Послѣдующіе труды Г. Ленца вполне служатъ доказательствомъ важности изобрѣтенія *агометра*.

§ 34. Основаніе устройства этого прибора, изобрѣтеннаго почти въ одно и тоже время Уитстономъ въ Англіи и нашимъ академикомъ Якоби, очень просто: *агометръ* состоитъ изъ проволоки (обыкновенно выбираемой изъ металлическаго вещества дурной проводимости, напр. новаго серебра, по возможности однородной и по всей длинѣ одинаковой толщины); произвольную, но всегда точно опредѣленную, длину этой проволоки можно вставлять въ цѣпь и измѣнять эту длину, не прерывая тока. *Агометръ* можетъ быть употребляемъ съ двоякою цѣлью: во 1-хъ) онъ можетъ служить для удержанія силы тока въ продолженіе какого угодно времени на постоянной величинѣ (для этого вставивши приборъ въ цѣпь, мы наблюдаемъ положеніе стрѣлки гальванометра; при увеличеніи силы тока, мы увеличиваемъ длину проволоки и тѣмъ самымъ увеличиваемъ сопротивленіе цѣпи, а при ослабленіи силы тока, уменьшаемъ эту длину,

пока токъ не дойдетъ до опредѣленной силы); во 2-хъ) агометръ даетъ простое и удобное средство опредѣлять сопротивленіе проводниковъ и электровозбудительную силу цѣпи — о чемъ мы будемъ говорить далѣе — и это есть самое важное приложеніе этого прибора. Замѣтимъ здѣсь ⁽¹⁾, что проволока агометра навивается спирально на цилиндръ (непроводникъ) и одинъ оборотъ этой спирали принимаютъ за единицу сопротивленія. Число этихъ оборотовъ, вставленныхъ въ цѣпь (съ ихъ десятыми и даже тысячными частями) должно быть точно опредѣлено. если мы хотимъ приложить агометръ къ вышесказаннымъ опредѣленіямъ и притомъ предварительными опытами необходимо увѣриться, что сопротивленіе каждаго оборота одинаково или, въ случаѣ небольшой разности между сопротивленіями различныхъ оборотовъ, необходимо привести ихъ къ одному сопротивленію (изъ опытовъ найти поправку для каждаго оборота). Также для сравнительныхъ опредѣленій необходимо, чтобы сопротивленіе проволоки неизмѣнялось, а потому необходимо при наблюденіяхъ устранять всѣ тѣ обстоятельства, которыя могли бы имѣть вліяніе на сопротивленіе и потому преимущественно надобно обращать вниманіе на то, чтобы температура проволоки неизмѣнялась — а это обстоятельство будетъ всегда имѣть мѣсто, если мы употребляемъ сильные токи, которые въ состояніи замѣтнымъ образомъ нагрѣвать проволоку.

§ 35. При опредѣленіи сопротивленія жидкостей, Г. Ленцъ поступалъ слѣдующимъ образомъ: онъ пропускалъ токъ отъ

(¹) Подробное описаніе агометра, въ томъ видѣ, какъ онъ былъ употребленъ Г. Ленцомъ, см. *Bullet. Scientif.* Т. X. стр. 257 и 285.

постоянной баттарей Даниелля чрезъ гальванометръ, агометръ и испытуюмую жидкость, которая находилась въ длинномъ четырехугольномъ сосудѣ, имѣвшемъ по всей длинѣ одинаковый поперечный разрѣзъ, (съ которымъ поверхность электродовъ совпадала) и доводилъ посредствомъ агометра стрѣлку гальванометра до опредѣленнаго отклоненія т. е. силу тока до извѣстной величины. За тѣмъ жидкость была выставляема изъ цѣпи, тогда, очевидно, сила тока увеличивалась, но посредствомъ агометра (увеличеніемъ числа его оборотовъ) она могла быть снова доведена до прежней величины. При каждомъ изъ этихъ наблюденій замѣчаемо было число полныхъ оборотовъ и частей оборота, вставленныхъ въ цѣпь. Назовемъ чрезъ F силу тока, чрезъ L сопротивленіе баттарей, гальванометра и соединительныхъ проволокъ, чрезъ d сопротивленіе жидкости при единицѣ длины ея слоя, чрезъ n длину слоя, чрезъ a число оборотовъ (или все равно сопротивленіе) агометра въ первомъ наблюденіи, чрезъ a' во второмъ: тогда мы будемъ имѣть:

$$F = \frac{A - p}{L + nd + a} = \frac{A}{L + nd + \frac{p}{F} + a} \quad (1) \text{ изъ перваго наблю-}$$

денія и изъ втораго: $F = \frac{A}{L + a'}$, (2); слѣдоват. $nd + \frac{p}{F} = a' - a = \Delta \dots (A)$. Измѣняя длину жидкаго слоя, изъ подобныхъ же наблюденій мы получимъ нѣсколько уравненій: $n'd + \frac{p}{F} = \Delta' \dots (B)$. Изъ каждой пары такихъ уравненій (A) и (B) съ двумя неизвѣстными можетъ быть вы-

ведена величина d и всѣ выведенныя величины d должны быть согласны между собою, если дѣйствительно сопротивление пропорціонально длинѣ. Г. Ленцъ ставилъ электроды на три различныя разстоянія: 140,75 и 10 полулиній и слѣдовательно получалъ три уравненія вида (A), изъ которыхъ могъ опредѣлить три величины для d и эти величины были весьма согласны между собою; употребляя различныя силы тока $F, F' \dots$, Г. Ленцъ для каждой силы производилъ подобныя же опредѣленія d и получилъ величины совершенно согласныя. Такимъ образомъ этими наблюденіями былъ не только подтвержденъ первый законъ Фехнера, но и также доказано, что сопротивление жидкости вовсе не зависитъ отъ силы проходящаго чрезъ нея тока.

§ 36. Для опредѣленія величины d достаточно было бы и двухъ наблюденій при двухъ различныхъ длинахъ жидкаго слоя n и n' ; тогда бы имѣли два уравненія:

$$F = \frac{A - p}{L + nd + a}, \quad F' = \frac{A - p}{L + n'd + a}, \quad \text{изъ которыхъ полу-}$$

чили бы $nd + a = n'd + a$, и $d = \frac{a_1 - a}{n - n'}$; однако же Г.

Ленцъ, имѣя въ виду собственно изслѣдованіе поляризаціи, для вывода ея величины по необходимости долженъ былъ присоединить къ тому еще третье наблюденіе, при которомъ жидкость была исключается изъ цѣпи и которое давало урав-

$$\text{неніе } F = \frac{A}{L + a'}.$$

§ 37. Чтобы не возвращаться болѣе къ первому закону Фехнера, подтвержденному Г. Ленцомъ, я приведу здѣсь на-

блюденія *Horsford'a* ⁽¹⁾, произведенныя въ 1847 году по методѣ *Уитстона*. о которой мы уже упоминали въ § 23 и которой сущность заключается въ сказанномъ въ предъидущемъ §. *Horsford* увеличивалъ длину жидкаго слоя на извѣстную величину и замѣчалъ число оборотовъ агометра, которое при этомъ необходимо исключить изъ цѣпи для того, чтобы привести токъ на ту же величину, какую онъ имѣлъ прежде до удлиненія слоя. Это число оборотовъ, очевидно, равно сопротивленію прибавленнаго слоя жидкости.

Длина прибавленнаго слоя жидко- сти.	Сопротивленіе.		
	Наблюдаем.	Вычисленн.	Разность.
Цент.			
2,5	2,11	2,10	— 0,01
5,0	4,25	4,20	— 0,05
7,5	6,98	6,30	— 0,68
12,5	10,75	10,50	— 0,25
25,0	20,67	21,00	+ 0,33

Принимая, что сопротивленіе прямо пропорціонально длинѣ слоя, я вычислилъ изъ всѣхъ наблюденій, по методѣ наименьшихъ квадратовъ, сопротивленіе при длинѣ слоя = 2,5 цент. и по величинѣ этого сопротивленія получилъ уже величины третьяго столбца. Разности между вычисленными и наблюденными сопротивленіями были бы значительно меньше, если бы при этихъ наблюденіяхъ не имѣло мѣсто одно

⁽¹⁾ *Pogg. Ann.* Т. 70. стр. 238.

явленіе, вредящее точности опредѣленій. Это явленіе, которое, безъ сомнѣнія, происходило при наблюденіяхъ *Horsford'a*, хотя *Horsford* и не упоминаетъ о томъ, состоитъ въ непрерывной измѣняемости поляризаціи катода (платинового) вслѣдствіе освобожденія на немъ водороднаго газа (употребленная жидкость состояла изъ слабой сѣрной кислоты) ⁽¹⁾. Въ опытахъ, произведенныхъ мною для опредѣленія сопротивленія сѣрной кислоты и о которыхъ мы будемъ говорить далѣе, мы встрѣтимъ снова подтвержденіе закона пропорціональности сопротивленія жидкостей длинамъ. *Horsford*, подобно *Г. Ленцу*, употребляя различныя силы тока, убѣдился также въ независимости сопротивленія отъ этой силы.

§ 38. Второй законъ *Фехнера*: сопротивленіе жидкостей обратно пропорціонально поперечному разрѣзу слоя — доказанъ также *Г. Ленцомъ* наблюденіями, произведенными совершенно по той же методѣ, которую мы описали въ § 35. Для каждаго поперечнаго разрѣза жидкаго слоя, опредѣлялась величина d изъ наблюденій агометра при различныхъ разстояніяхъ электродовъ, но при одной и той же силѣ тока, какъ въ § 35.

Въ слѣдующемъ примѣрѣ приведены прямо величины d (для длины $= \frac{1}{2}$ линіи), выведенныя изъ уравненій вида

$$a' - a = n\lambda + \frac{p}{F}. \text{ Жидкость сѣрная кислота удѣльнаго вѣса } = 1,055.$$

(1) Въ сѣрной кислотѣ и платиновыхъ электродахъ величина поляризаціи весьма непостоянна; причина тому доселѣ еще основательно неизслѣдована. См. »О явленіяхъ поляризаціи стр. 53.« примѣчаніе.

Высота жидкости въ сосудѣ въ англ. полул.	Сопротивленіе.		
	Наблюд.	Вычисл.	Разность.
10	0,371	0,427	+ 0,056
20	0,214	0,213	— 0,001
30	0,154	0,142	— 0,012
40	0,121	0,107	— 0,014
50	0,078	0,085	+ 0,007

Принявъ, что сопротивленіе обратно пропорціонально поперечному разрѣзу или, въ нашемъ случаѣ, высотѣ жидкости въ сосудѣ, мы получимъ изъ каждаго числа втораго столбца величину сопротивленія для высоты равной $= 1$, умножая эти числа на соотвѣтствующія высоты. Такимъ образомъ мы будемъ имѣть изъ наблюденій:

перваго	$= 3,71$	$\left. \begin{array}{l} \text{среднее ариѳметическое изъ всѣхъ этихъ} \\ \text{опредѣленій} = 4,27. \end{array} \right\}$
втораго	$= 4,28$	
третьяго	$= 4,62$	
четвертаго	$= 4,84$	
пятого	$= 3,90$	

Помощію этого средняго ариѳметич. числа вычислены числа третьяго столбца; согласіе его со вторымъ столбцомъ достаточно доказываетъ справедливость принятаго нами закона. Но замѣчательно, что какъ въ приведенномъ нами наблюденіи, такъ и во всѣхъ другихъ подобныхъ произведенныхъ *Г. Ленцомъ*, величина сопротивленія, вычисленная для высоты жидкости $= 10$ полулиній (или лучше сказать для поперечнаго разрѣза ея $= 45,5$ кв. линій) значительно болѣе величины d наблюдаемой при томъ же разстояніи. Это

отступленіе отъ закона заключается, безъ сомнѣнія, въ поляризації, которая непрерывно измѣняла свою величину.

§ 39. Употребляя различныя жидкости при наблюденіяхъ подобнаго рода, какія описаны нами въ §§ 35 и 38, Г. Ленцъ могъ вывести величину сопротивленія для каждой жидкости относительно сопротивленія одного оборота агометра, принятаго за единицу. Такимъ образомъ онъ получилъ слѣдующіе результаты:

Жидкость	Уд. вѣсъ и темпер.	Поперечн. разр. слоя въ линіи Q	Сопротивл. при длинѣ $= \frac{1}{2}$ линіи d
Растворъ сѣрной кислоты	1,015 44,9 R	1927,0	0,0322
— — —	1,030 44,9 R	1927,0	0,0147
— — —	1,064 43,7	1927,0	0,00973
— мѣднаго купороса почти насыщенный	...?...	1927,0	0,0649
— Мѣдн. куп. весьма концентрированный	?	1927,0	0,0200
— сѣрной кислоты	1,037 45,4	2068,03	0,0165
— — —	1,055 45,4	45,5	0,3810
— — —	1,050 44,6	45,5	0,4169
— — —	1,015 45,8	45,5	1,2136
— азотной кислоты	1,025 45,4	45,5	0,4597
— соляной кислоты	1,015 45,8	45,5	0,5422

Величины сопротивленія, приведенныя въ послѣднемъ столбцѣ, выражены въ единицѣ сопротивленія одного оборота агометра, но какъ это сопротивленіе было опредѣлено относительно мѣдной проволоки извѣстнаго діаметра и извѣстной длины, то поэтому мы можемъ, на основаніи двухъ законовъ Фехнера, опредѣлить величины сопротивленія жидкостей, изслѣдованныхъ Г. Ленцомъ, относительно къ сопротивленію мѣди. Означая чрезъ d' и λ сопротивленія жидкаго слоя и мѣдной проволоки при единицѣ длины и при единицѣ поперечнаго разрѣза, мы получимъ при длинѣ жидкаго слоя $= n$ и при поперечномъ разрѣзѣ Q :

$$\frac{n \cdot d'}{Q} = \frac{d \cdot k \cdot \lambda}{Q'}, \text{ гдѣ } k \text{ сопротивленіе одного оборота агометра}$$

относительно мѣдной проволоки, имѣющей поперечный разрѣзъ Q' и длину равную извѣстной единицѣ. Слѣдовательно

$$\frac{d'}{\lambda} = \frac{d \cdot k \cdot Q}{n \cdot Q'}. \text{ По опредѣленіямъ Г. Ленца } k = 6,358 \text{ относи-}$$

тельно мѣдной проволоки, имѣющей длину $= 1$ футу русск. и поперечный разрѣзъ $Q' = 0,0886$ кв. линій, или (такъ какъ длины проволоки и жидкости должны быть выражены въ однихъ и тѣхъ же единицахъ) $k = 6,358$ фута $= 762,96$ линій; n при всѣхъ опредѣленіяхъ d было равно

$$= 0,5 \text{ линій, слѣдоват. } \frac{d'}{\lambda} = d \cdot \frac{762,96}{0,5 \cdot 0,0886} \cdot Q \text{ т. е. для}$$

опредѣленія сопротивленія жидкостей (означенныхъ въ предъидущей таблицѣ) относительно мѣдной проволоки имѣющей одинаковую съ ними длину и одинаковый, поперечный разрѣзъ, надлежитъ приведенныя нами числа для d умножить

на соотвѣтствующій поперечный разрѣзъ Q и еще на постоянный факторъ $\frac{762,96}{0,5 \cdot 0,0886}$. Поступивъ такимъ образомъ, я получилъ слѣдующія величины изъ наблюдений *Г. Ленца*:

Сопротивленіе мѣди = 1,0.

Сопротивленіе сѣрной кислоты уд. вѣса	1,015	=	1.068.650,3
— — — — —		=	951.009,9
— — — — —	1,030	=	487.862,0
— — — — —	1,037	=	117.658,8
— — — — —	1,050	=	327.006,5
— — — — —	1,055	=	298.562,0
— — — — —	1,064	=	322.918,0
— азотной кислоты	1,025	=	360.232
— соляной кислоты	1,015	=	424.878
— почти нас. рас. мѣдн. куп. ?		=	2.153.898
— — совершенно насыщ. ?		=	663.770.

Мы увидимъ далѣе согласіе этихъ чиселъ съ числами, полученными впослѣдствіи другими наблюдателями для такихъ же жидкостей; здѣсь замѣтимъ только, что жидкости, изслѣдованныя *Г. Ленцомъ*, не были химически чистыя: кислоты сѣрная, азотная, соляная и мѣдный купоросъ были употреблены въ томъ видѣ, въ какомъ они обыкновенно получаютъ въ продажѣ, а вода, въ которой эти вещества были растворены, не была дистиллированная, но рѣчная — Невская.

§ 40. Въ настоящее время мы можемъ считать оба закона *Фехнера* доказанными съ достаточною точностію; однакоже, законы эти, какъ мы выше видѣли, справедливы

только для того случая, когда поперечный разръзъ жидкости по всей длинѣ имѣетъ одинаковую величину и когда вмѣстѣ съ тѣмъ поверхность электродовъ съ нимъ совпадаетъ. Теперь спрашивается, по какимъ же законамъ измѣняется сопротивленіе во всякомъ другомъ случаѣ, когда напримѣръ поперечный разръзъ не вездѣ одинаковъ или когда поверхность электродовъ занимаетъ не весь поперечный разръзъ, но только нѣкоторую часть его? На этотъ общій вопросъ въ настоящее время мы не можемъ дать отвѣта. Намъ извѣстно только, что когда электроды не занимаютъ всего разръза, то 1) сопротивленіе не будетъ слѣдовать первому закону Фехнера, будетъ измѣняться не пропорціонально разстоянію, но въ меньшемъ отношеніи и 2) что сопротивленіе въ этомъ случаѣ будетъ менѣе того сопротивленія, какое бы представляла жидкость, еслибы поперечный разръзъ ея былъ по всей длинѣ одинаковъ и поверхность электродовъ съ нимъ совпадала. Приведенные нами два факта мы можемъ объяснить тѣмъ, что токъ въ этомъ случаѣ распространяется отъ одного электрода до другаго не только по прямымъ линіямъ, но слѣдуетъ также и криволинейнымъ путямъ. Пусть (фиг. 1) $ABCD$ есть слой жидкости, a и k два электрода, то токъ будетъ распространяться отъ a до k не только по прямымъ линіямъ, но пойдетъ также и по кривымъ линіямъ abk , $ab'k$, $ab''k$, ask , $ac'k$, $ac''k$ ⁽¹⁾ Какой видъ имѣютъ эти

⁽¹⁾ Этимъ криволинейнымъ распространеніемъ тока мы можемъ объяснить то странное явленіе, что при прохожденіи тока чрезъ весьма большія разстоянія въ самой землѣ (какъ напр. въ телеграфическихъ линіяхъ) сопротивленіе земли оказывается величиною весьма незначительною въ сравненіи съ металличе-

кривыя линіи, до какого предѣла онѣ распространяются въ жидкости, въ какой зависимости находится этотъ видъ отъ разстоянія электродовъ и формы слоя, отъ силы тока и другихъ обстоятельствъ? — это вопросы, на которые по настоящее время мы не имѣемъ никакого рѣшенія. Но, очевидно, что если бы намъ извѣстенъ былъ видъ этихъ кривыхъ линій, то законы сопротивленія жидкостей для всякаго даннаго случая могли бы легко быть опредѣлены. Дѣйствительно, если бы мы знали, что въ данномъ случаѣ распространение тока заключается между кривыми линіями *Aab* и *Cbd*, то для полученія сопротивленія, стоило бы только взять сумму сопротивленій, интегралъ, бесконечно малыхъ элементовъ *ab* (фиг. 2). Распространение тока, видъ кривыхъ линій, можетъ быть опредѣлено или теоретически или просто эмпирически: въ первомъ случаѣ надобно принять за основаніе какую нибудь гипотезу о сущности тока и аналитически изслѣдовать на этомъ основаніи данный вопросъ — и за тѣмъ уже выводы теоріи сравнить съ наблюденіями; во второмъ случаѣ, т. е. поступая эмпирически, мы хотя и можемъ опредѣлить приблизительно видъ предѣльныхъ кривыхъ линій, далѣе которыхъ токъ не распространяется, од-

скою проволокою протянутою на томъ же разстояніи, тогда какъ сопротивленіе небольшого слоя земли чрезвычайно велико. Въ первомъ случаѣ токъ распространяется въ землѣ по кривымъ линіямъ на чрезвычайно большое разстояніе въ стороны отъ прямой линіи, соединяющей электроды, слѣдов. слои проходимые токомъ имѣютъ бесконечно большой поперечный разрѣзъ, а слѣдоват. и сопротивленіе бесконечно малое.

накоже этотъ путь представляетъ не меньше затрудненій въ практическомъ отношеніи, какъ первое средство въ отношеніи аналитическомъ.

§ 41. Я считаю здѣсь необходимымъ сдѣлать небольшое отступленіе отъ принятаго мною хронологическаго порядка и изложить всѣ тѣ способы, какіе мы въ настоящее время имѣемъ для опредѣленія сопротивленія жидкостей.

Агометръ представляетъ намъ, какъ я уже выше упомянулъ, весьма удобное и вмѣстѣ съ тѣмъ точное средство для этой цѣли. Сопротивленіе твердыхъ тѣлъ посредствомъ этого прибора опредѣляется весьма просто; данное тѣло вставляется въ цѣпь, состоящую изъ баттарей, гальванометра, соединительныхъ проволокъ (сопротивленіе ихъ назовемъ чрезъ L) и агометра и токъ доводится до опредѣленной силы F (число оборотовъ агометра вставленное при этомъ въ цѣпь пусть будетъ a); за тѣмъ тѣло исключаютъ изъ цѣпи и увеличеніемъ числа оборотовъ агометра (все число оборотовъ при этомъ пусть $= a'$) доводятъ токъ опять до прежней силы F . Сопротивленіе прибавленнаго числа оборотовъ къ находившимся въ цѣпи при первомъ наблюденіи, т. е. $a' - a$, очевидно, равно сопротивленію x испытываемаго тѣла. Въ первомъ наблюденіи

мы имѣемъ $F = \frac{A}{L + x + a}$ (1), во второмъ $F = \frac{A}{L + a'}$ (2)

слѣдоват. сопротивленіе тѣла $x = a' - a$. Поэтому двухъ такихъ наблюденій совершенно достаточно для опредѣленія x , предполагая, что ни A , ни L въ продолженіе наблюденій неизмѣнились. Этотъ способъ имѣетъ то преимущество предъ всѣми другими, что при употребленіи его намъ нѣтъ необ-

ходимости знать силу тока F , а слѣдоват. и нѣтъ необходимости имѣть гальванометръ градуированный т. е. такой, въ которомъ бы извѣстно было отношеніе между угломъ отклоненія стрѣлки и силою тока.

§ 42. Но если мы приложимъ этотъ способъ къ жидкостямъ, то легко увидимъ, что двухъ наблюдений недостаточно для опредѣленія ихъ сопротивленія. Жидкости вводятъ въ цѣпь кромѣ сопротивленія еще новую электровозбудительную силу — *поляризацию*. Слѣдоват. мы будемъ имѣть

вмѣсто (1) уравненія слѣдующее: $F = \frac{A - p}{L + x + a}$, а слѣдовательно получимъ изъ сравненія его со вторымъ (2)

$x + \frac{p}{F} = a' - a = \Delta \dots (A)$ — одно уравненіе съ двумя неизвѣстными x и p ⁽¹⁾. Казалось бы, что если величина p опредѣлена изъ предварительныхъ опытовъ для различныхъ электродовъ и различныхъ жидкостей или извѣстна изъ таблицъ, подобныхъ той, какая составлена Г. Ленцомъ и мною ⁽²⁾, — въ такомъ случаѣ стоило бы только подставить въ нашу формулу (A) величину для p и мы бы по данной силѣ тока F опредѣлили x . Однакоже опыты показали, что электроды изъ одного и того же вещества, при одной и той же силѣ тока, но при различномъ состояніи поверх-

(¹) Принимая $a' - a = x$ мы слѣдов. можемъ впасть въ весьма большую ошибку и получимъ для сопротивленія жидкостей во 1-хъ) величину большую истинной, а во 2-хъ) зависящую отъ силы тока; сравн. § 28.

(²) См. Bullet. physico-math. T. V. NN^o 1. 2. 3.

ности и другихъ обстоятельствахъ намъ неизвѣстныхъ, производятъ различную поляризацию. Поэтому, подставивъ въ нашу формулу (A) величину p изъ таблицъ, мы могли бы впасть въ большую или меньшую погрѣшность. Конечно если бы изслѣдуемая жидкость была такого свойства и токъ проходилъ бы чрезъ такіе электроды, при которыхъ поляризація не можетъ обнаружиться (какъ наприм. растворъ довольно насыщеннаго раствора мѣднаго купороса между мѣдными электродами), въ такомъ случаѣ, какъ и для твердыхъ тѣлъ, двухъ наблюденій было бы достаточно для опредѣленія x .

§ 43. И такъ вообще, двухъ наблюденій не достаточно для опредѣленія сопротивленія жидкостей: мы должны найти средство получить еще уравненіе между x и p , независимое отъ перваго. Если бы мы могли измѣнить x и p въ опредѣленномъ, но не равномъ отношеніи m и n , тогда изъ третьяго наблюденія получили бы дѣйствительно $mx + n \frac{p}{F} = a'' - a$.

Въ частномъ случаѣ, для котораго имѣютъ мѣсто законы Фехнера (т. е. когда жидкость имѣетъ по всей длинѣ одинаковый поперечный разрѣзъ, съ которымъ поверхность электродовъ совпадаетъ), измѣняя длину слоя въ опредѣленномъ отношеніи m , мы можемъ получить изъ третьяго наблюденія $mx + \frac{p}{F} = a'' - a$ т. е. второе уравненіе независимое отъ перваго (A) и слѣдов. можемъ опредѣлить x и p отдѣльно (').

(') Мы бы могли также измѣнить поперечный разрѣзъ жидкости въ m разъ, и слѣдовательно могли бы получить уравненіе:

Въ этомъ случаѣ, для опредѣленія x мы можемъ даже ограничиться двумя наблюденіями: первымъ и третьимъ, изъ перваго

мы имѣемъ $F = \frac{A - p}{L + x + a}$, а изъ третьяго $F = \frac{A - p}{L + mx + a''}$

отсюда $x + a = mx + a''$, или $x = \frac{a - a''}{m - 1}$. Въ этихъ двухъ

наблюденіяхъ и состоитъ способъ *Уитстона*, предложенный въ 1843 году (сравн. §§ 23, 36, 37) ⁽¹⁾. Этотъ способъ, въ настоящее время, единственный, по которому сравнительное сопротивленіе различныхъ жидкостей можетъ быть опредѣлено съ точностію.

§ 44. Но если поперечный разрѣзъ жидкаго слоя не вездѣ одинаковъ, или поверхность электродовъ съ нимъ не совпадаетъ, или если разстояніе электродовъ не можетъ быть измѣняемо, какъ наприм. въ вольтаметрахъ, въ которыхъ электроды, будучи впаяны концами своими въ стекло, находятся на постоянномъ разстояніи — то въ этихъ случаяхъ способъ *Уитстона* употребленъ быть не можетъ.

§ 45. *Wheatstone*, которому гальванизмъ обязанъ многочисленными и весьма важными практическими приложеніями, въ мемуарѣ своемъ, изданномъ въ 1843 году ⁽²⁾ предлагаетъ для полученія втораго уравненія между x и p про-

$$\frac{x}{m} + \frac{p}{F} = a''' - a, \text{ однакоже это уравненіе не совершенно точно, потому что съ измѣненіемъ разрѣза измѣняется и поляризація } p.$$

⁽¹⁾ *Pogg. Ann.* Томъ 62. стр. 533.

⁽²⁾ *Ibid.* стр. 533 и 521.

известъ еще два наблюденія, подобныя первымъ, изъ которыхъ выведено уравненіе (A), но только при другой силѣ тока F' . Тогда эти наблюденія дадутъ уравненіе $x + \frac{p}{F} = \Delta' \dots (B)$ если поляризація p (какъ предполагаетъ *Уитстонъ*) не измѣняется съ силою тока; а слѣдовательно, опредѣливши p изъ (A) и (B), мы получимъ:

$$x = \Delta - \frac{p}{F} = \Delta - \frac{F'}{F' - F}(\Delta - \Delta') = \Delta' - \frac{F}{F' - F}(\Delta - \Delta') \dots (C)$$

Однакоже точные опыты показали намъ, что поляризація зависитъ отъ силы тока, увеличиваясь съ увеличеніемъ его по закону намъ неизвѣстному (сравн. § 3), слѣдоват. называя поляризацію при силѣ тока F' чрезъ p' , мы будемъ имѣть вмѣсто уравненія (B): $x + \frac{p'}{F'} = \Delta'$ и слѣдоват. принимая предположеніе *Уитстона*, мы въ опредѣленіи x изъ уравненій (A) и (B) сдѣлаемъ бѣольшую или мѣньшую погрѣшность. Изъ уравненій $x + \frac{p}{F} = \Delta \dots (A)$

$$x + \frac{p'}{F'} = \Delta' \dots (B)$$

мы имѣемъ $\frac{p}{F} - \frac{p'}{F'} = \Delta - \Delta'$, принимая $p' = p + \delta p$ получимъ

$$p \left(\frac{1}{F} - \frac{1}{F'} \right) - \frac{\delta p}{F'} = \Delta - \Delta' \text{ или}$$

$$p - \delta p \frac{F}{F' - F} = \frac{FF'}{F' - F}(\Delta - \Delta'), \text{ а слѣдовательно}$$

$$x = \Delta - \frac{p}{F} = \Delta - \frac{F'}{F' - F}(\Delta - \Delta') - \frac{\delta p}{F' - F}. \text{ Принимая}$$

съ *Wheatstone*'омъ $\delta p = 0$ мы получимъ для x не истинную величину, но величину бóльшую истинной на $\frac{\delta p}{F' - F}$, слѣдовательно ошибка въ опредѣленіи x будетъ зависѣть отъ отношенія δp къ $F' - F$; для тѣхъ электродовъ, для которыхъ поляризація измѣняется быстрѣе между опредѣленными силами тока, для тѣхъ и ошибка будетъ болѣе.

§ 46. И такъ изъ предъидущаго мы видимъ, что сопротивленіе жидкостей можетъ быть опредѣлено съ точностію только въ одномъ частномъ случаѣ, указанномъ нами въ § 43. Мы должны сказать, что въ настоящее время мы не имѣемъ общаго способа опредѣлять этотъ элементъ независимо отъ поляризаціи для какого ни есть случая; по крайней мѣрѣ до сихъ поръ ни одинъ физикъ не указалъ еще на такой способъ.

§ 47. Я уже упомянулъ выше въ § 40, что зависимость сопротивленія жидкостей отъ формы ихъ слоя, опредѣлена только для того случая, когда поперечный разрѣзъ слоя по всей длинѣ одинаковъ и поверхность электродовъ съ нимъ совпадаетъ, но что законы сопротивленія для другихъ случаевъ, для какого ни есть жидкаго слоя даннаго вида намъ неизвѣстны ⁽¹⁾. Для одного только частнаго случая, а именно,

(1) По окончаніи уже этого разсужденія, въ началѣ 1852 года года обнародованъ былъ мемуаръ *Г. Ленца*, въ которомъ выведены были законы сопротивленія для того случая, когда токъ можетъ свободно распространяться въ жидкости по горизонтальному направленію между двумя электродами; объ этомъ трудѣ см. въ концѣ разсужденія, приложение I. За тѣмъ въ Маѣ 1852 года мнѣ удалось изслѣдовать законы сопротивленія въ нѣкоторыхъ частныхъ случаяхъ. См. приложение II.

когда слой жидкости имѣетъ кольцеобразную форму, заключающаяся между двумя цилиндрическими электродами, ограничивающими этотъ слой, англійскій физикъ *Даниель* въ 1842 году ⁽¹⁾ старался найти зависимость сопротивленія отъ ширины кольца или, все равно, отъ разстоянія электродовъ и ихъ поверхности. Этотъ случай весьма важенъ въ практическомъ отношеніи, въ отношеніи къ постояннымъ гальваническимъ баттареймъ, въ которыхъ слой жидкости имѣетъ видъ кольцеобразный, заключающаяся между разнородными металлами, имѣющими форму цилиндровъ.

Изъ нѣсколькихъ, весьма не многихъ, и вовсе не мѣри-тельныхъ, наблюденій, *Даниель* думалъ вывести слѣдующіе законы: 1) сопротивленіе кольцеобразнаго слоя жидкости пропорціонально разстоянію электродовъ — ширинѣ кольца и 2) обратно пропорціонально поверхности *средняго* сѣченія жидкаго слоя. Среднимъ сѣченіемъ *Даниель* называетъ поверхность цилиндра, котораго діаметръ есть средняя ариѳметическая величина между діаметрами обоихъ электродовъ, 3) сопротивление такого слоя остается постояннымъ, какова бы ни была величина діаметра внѣшняго электрода. Впрочемъ этотъ третій законъ, по словамъ *Даниеля*, точенъ только въ томъ случаѣ, когда діаметръ внутренняго электрода не значителенъ. И въ самомъ дѣлѣ, если первый законъ *Даниеля* справедливъ, то, означая чрезъ R и r діаметры внѣшняго и внутренняго электродовъ, мы будемъ имѣть для сопротив-

(1) Подлинный мемуаръ помѣщенъ въ *Philosophical Transactions for 1842*. Извлеченіе изъ него въ *Pogg. Ann.* Bd. 60, стр. 387.

ленія жидкаго слоя выраженіе $= C \cdot \frac{R - r}{\frac{1}{2}(R + r)}$, гдѣ C постоянная величина и изъ этого выраженія видимъ, что при увеличеніи R сопротивленіе въ такомъ только случаѣ не будетъ измѣняться, когда r есть величина ничтожная сравнительно съ R .

§ 48. Законы, найденные *Даниеллемъ*, надобно почитать, какъ справедливо замѣчаетъ *Погендорффъ* ⁽¹⁾, приближеніемъ къ истиннымъ законамъ. Въ нижеслѣдующемъ я постараюсь показать, что зависимость сопротивленія кольцеобразнаго слоя жидкости отъ разстоянія электродовъ (ширины кольца) и поверхности ихъ, можетъ быть очень просто выведена теоретически на основаніи законовъ *Фехнера* и вмѣстѣ съ тѣмъ далѣе я представлю собственныя мои наблюденія, совершенно подтверждающія этотъ выводъ.

§ 49. Я разсмотрю прежде тотъ случай, когда слой жидкости имѣетъ видъ призматическій и горизонтальное сѣченіе его (по всей высотѣ) имѣетъ видъ трапеціи $ABCD$, которой стороны AC и BD наклонены подъ одинаковымъ угломъ къ AB (фиг. 3). Очевидно, что если токъ распространяется между AB и CD по прямымъ линіямъ, то сопротивленіе W слоя $ABCD$ равно суммѣ сопротивленій, представляемыхъ безконечно малыми элементами $abcd$, изъ коихъ каждый заключается между двумя вертикальными безконечно близкими плоскостями параллельными AB и CD . Если мы соединимъ середины AB и CD прямою линіею, ко-

(¹) *Pogg. Ann. Bd. 60. стр. 397. Примѣчаніе.*

торую примемъ за ось x -овъ и AB за ось y , считая начало координатъ отъ точки E — то, принимая въ безконечно маломъ элементѣ сопротивление пропорціональнымъ длинѣ и обратно пропорціональнымъ поперечному разрѣзу, мы по-

лучимъ это сопротивление $= \frac{dx}{y}$, гдѣ dx длина слоя, а

y поперечное сѣченіе, x и y координаты точки a . Полное сопротивление всего слоя $ABCD$ будетъ слѣдовательно

$W = \int \frac{dx}{y}$, гдѣ интегралъ надобно взять между предѣлами

отъ $x = 0$, до $x = x$. Если мы продолжимъ AC и BD до встрѣчи въ точкѣ O и назовемъ разстояніе $OE = k$, то бу-

демъ имѣть: $\frac{y}{AB} = \frac{k+x}{k}$; отсюда: $y = AB \cdot \left(\frac{k+x}{k}\right) =$

$= S \left(\frac{k+x}{k}\right)$, гдѣ $AB = S$. Слѣдоват. $W = \int_0^x \frac{dx}{\frac{S}{k}(k+x)} =$

$= \frac{k}{S} \int_0^x \frac{dx}{k+x} = \frac{k}{S} \left[\text{Nep. log. } (k+x) - \text{Nep. log. } k \right] =$

$= \frac{k}{S} \text{Nep. log. } \left(\frac{k+x}{k}\right) = B \cdot \log. \frac{k+x}{k} \dots (\alpha)$ гдѣ B есть

постоянный факторъ для одного и того же сосуда $B = \frac{k}{S} M$,

$M = \text{модуль.}$

Такъ какъ $\frac{k+x}{k} = \frac{CD}{AB} = \frac{S}{S'}$, гдѣ S' есть поверхность

электрода, соотвѣтствующая разстоянію x , то W можно пред-

представить въ видѣ $W = B \log. \frac{S'}{S}$.

§ 50. Изъ выведеннаго нами выраженія для W не трудно получить величину сопротивленія для того случая, когда жидкій слой имѣетъ кольцеобразную форму, заключааясь между двумя цилиндрическими электродами, поставленными концентрически. На фиг. (4) представленъ горизонтальный разрѣзъ жидкаго слоя; пусть радіусъ внутренняго цилиндрическаго электрода есть r , радіусъ виѣшняго R , слѣдовательно $k = r$, $k + x = R$, $S = 2\pi r h$, гдѣ h высота цилиндра; поэтому сопротивленіе

$$W' = \frac{r}{2\pi r h} \text{Нер. log. } \frac{R}{r} = \frac{1}{2\pi h} \text{Нер. log. } \frac{R}{r} = B' \log \frac{R}{r} \dots (\beta) \quad (1)$$

Два закона найденные *Даниеллемъ* для W , какъ я уже выше упомянулъ представляютъ приближеніе къ истиннымъ законамъ. Въ самомъ дѣлѣ, если мы разложимъ $\log \frac{R}{r}$ въ рядъ по формулѣ:

$$\log y = 2 \log e \left[\left(\frac{y-1}{y+1} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{y-1}{y+1} \right)^3 + \dots \right], \text{ то будетъ}$$

$$\log \frac{R}{r} = 2 \log e \left[\frac{\frac{R}{r} - 1}{\frac{R}{r} + 1} + \frac{1}{3} \frac{\left(\frac{R}{r} - 1 \right)^3}{\left(\frac{R}{r} + 1 \right)^3} + \dots \right]$$

и если мы ограничимся первымъ членомъ, то

$$\log \frac{R}{r} = \log e \frac{(R-r)}{\frac{1}{2}(R+r)}, \text{ и слѣдов. } W' = C. \frac{R-r}{\frac{1}{2}(R+r)}.$$

(1) Эта формула была приведена *Поендорфомъ* еще прежде — въ 1842 году въ *Pogg. Ann.* Т. 55. стр. 47, но не была еще по настоящее время ни кѣмъ повѣряема на опытѣ.

§ 51. Для повѣрки найденныхъ мною выраженій (α) и (β) на опытѣ, я поступалъ слѣдующимъ образомъ: Для повѣрки первой формулы: я взялъ деревянный призматическій сосудъ (фиг. 5) $AB C D E F G H$, котораго горизонтальный разрѣзъ, одинаковый по всей высотѣ, представлялъ трапецію $AB C D$ со сторонами $A C$ и $B D$ наклонными подъ равными углами къ $A B$. Сосудъ былъ хорошо осмоленъ, такъ что налитая въ него до извѣстной высоты жидкость не могла просачиваться сквозь его стѣнки. Токъ былъ пропускаемъ чрезъ жидкость посредствомъ мѣдныхъ электродовъ, которые состояли изъ нѣсколькихъ четырехугольных пластинокъ разной величины и вставлялись въ ящикъ вертикально параллельно $A B E F$ такимъ образомъ, что занимали совершенно весь поперечный разрѣзъ жидкаго слоя. Такимъ образомъ токъ могъ быть пропускаемъ чрезъ слой $A B E F a b e f$, если одна пластинка вставлена въ $A B E F$, а другая въ $a b e f$, или чрезъ слой $A B E F a' b' e' f'$, если первая пластинка оставалась на томъ же мѣстѣ, а вмѣсто второй взять былъ электродъ $a' b' e' f'$ — и т. д.; слѣдов. длина жидкаго слоя и соотвѣтствующая ему поверхность электродовъ, ограничивающихъ его съ двухъ сторонъ, могли быть измѣняемы различнымъ образомъ. Разстояніе между электродами всегда могло быть измѣрено, а величина $O E = k$ могла быть опредѣлена изъ пропорціи $a b : A B = k + x : x$, гдѣ $a b$ и $A B$ поверхности электродовъ и x разстояніе между ними — величины извѣстныя. Жидкость, употребленная при моихъ опытахъ, состояла изъ довольно насыщеннаго раствора мѣднаго купороса, и для опредѣленія ея сопротивленія

я употреблялъ тотъ же способъ, которымъ пользуются при опредѣленіи сопротивленія твердыхъ проводниковъ посредствомъ агометра и о которомъ я уже упоминалъ въ § 41. Этотъ способъ могъ быть приложенъ къ нашему случаю потому, что поляризація мѣдныхъ электродовъ въ мѣдномъ купоросѣ нуль. Неточность, могущая произойти отъ разнородности поверхностей анода и катода (вслѣдствіе продолжительнаго дѣйствія тока) всегда можетъ быть обнаружена повтореніемъ самыхъ наблюденій. Впрочемъ я могъ бы употребить и другую жидкость, въ которой поляризація имѣетъ большую или меньшую величину: изслѣдуемый нами случай такого рода, что въ немъ, какъ мы увидимъ далѣе, сопротивление можетъ быть всегда опредѣлено независимо отъ поляризаціи. При всѣхъ своихъ оцѣтахъ я употреблялъ токъ постоянной баттарей *Даніелля*, агометръ и мультипликаторъ *Нервандера*, совершенно подобный тому, какой былъ употребленъ *Г. Ленцомъ* при его изслѣдованіяхъ надъ освобожденіемъ теплоты дѣйствіемъ гальваническаго тока ⁽¹⁾. Означая чрезъ a число оборотовъ агометра въ томъ случаѣ, когда жидкость вставлена въ цѣпь и токъ доведенъ до извѣстной силы F и чрезъ a' число оборотовъ, когда жидкость исключена изъ цѣпи и токъ тотъ же F , мы имѣемъ сопротивление жидкости (по § 41) $W = a' - a$.

§ 52. Наблюденіе первое.

Токъ отъ 12-парной баттарей былъ доводимъ до того, что стрѣлка гальванометра отклонялась на 15° . Величина k въ сосудѣ $= 3$ вершкамъ.

(¹) См. Bulletin physico-math. de l'Academie de St. Pétersbourg. T. I. NN^o 14, 15, 16.

Разстоя- ніе x .	a .	a' .	$W = a' - a$.
1,5	23,58	29,57	5,99
3,0	18,89	29,74	10,85
4,5	15,47	29,78	14,31
6,0	13,07	29,76	16,69
7,5	10,66	29,84	19,18
6,0	13,12	29,96	16,84
4,5	15,96	30,20	14,06
3,0	19,28	30,10	10,82
1,5	23,58	30,10	6,52

Взявъ среднія величины изъ двухъ наблюденій для каж-
даго разстоянія, мы получимъ слѣдующія величины для W

x .	W .		
	Наблюд.	Вычисл.	Разн.
1,5	6,26	6,23	— 0,03
3,3	10,83	10,65	— 0,18
4,5	14,18	14,08	— 0,10
6,0	16,77	16,89	+ 0,12
7,5	19,18	19,26	+ 0,08

Чтобы удостовѣриться, слѣдуютъ ли найденныя вели-
чины для W выведенному мною закону (формулѣ (α) § 49),
для этого я вычислилъ изъ всѣхъ величинъ W величину w
сопротивленія при длинѣ слоя $x = 1,5$ — по методѣ наи-

меньшихъ квадратовъ; $w = B \log \frac{k + x}{k} = B \log \frac{4,5}{3,0} = B \log 1,5$,

$W = B \log \frac{k+x}{k} = w \cdot \frac{\log \frac{k+x}{k}}{\log 1,5}$ (A), слѣдов. и изъ каждаго
наблюденія получится по формулѣ: $w = \frac{W \cdot \log 1,5}{\log \frac{k+x}{k}}$; вѣроят-

$$\Sigma \left(\frac{\log \frac{k+x}{k}}{\log 1,5} \right) W$$

нѣйшая величина для w будетъ: $w = \frac{\Sigma \left(\frac{\log \frac{k+x}{k}}{\log 1,5} \right) W}{\Sigma \left(\frac{\log \frac{k+x}{k}}{\log 1,5} \right)^2} = 6,232$.

По этой вѣроятнѣйшей величинѣ w вычислены мною изъ формулы (A) сопротивленія для каждаго разстоянія x , которыя и помѣщены въ третьемъ столбцѣ предъидущей таблицы. Незначительная разность ихъ отъ величинъ наблюденныхъ достаточно доказываетъ справедливость нашей формулы.

Наблюденіе второе. Растворъ мѣднаго купороса въ ящикѣ для котораго $k = 1,5$. Токъ доводимъ былъ при первыхъ четырехъ рядахъ наблюденій до 8° , а при дальнѣйшихъ до 10° .

Разстояніе x	a	a'	a	Среднее a
13,5	10,03	69,69	9,93	9,98
12,0	13,25	69,61	13,07	13,16
10,5	16,06	69,61	15,66	15,85
9,0	19,27	69,48	19,18	19,22
9,0	2,12	52,48	2,45	2,28
7,5	6,93	52,59	6,68	6,80
6,0	11,51	52,57	11,40	11,45
4,5	17,14	52,58	17,32	17,23
3,0	24,44	52,51	24,55	24,49
1,5	34,87	52,49	35,30	35,08

Разстояніе x	С о п р о т и в л е н і е W .			
	Наблюдаем. $a' - a$	Вычисл.	Разность	
13,5	59,71	59,25	— 0,46	
12,0	56,45	56,54	+ 0,09	
10,5	53,51	53,51	— 0,24	
9,0	50,26 } 50,41	49,83	— 0,57	$w = 17,836$
	50,56 }			
7,5	45,79	46,10	+ 0,31	
6,0	41,12	41,41	+ 0,29	
4,5	35,35	35,67	+ 0,32	
3,0	28,02	28,27	+ 0,25	
1,5	17,41	17,83	+ 0,42	

§ 53. Выведенную нами формулу можно было бы доказать изъ этихъ наблюдений и другимъ способомъ, который даже имѣетъ нѣкоторое преимущество передъ употребленнымъ нами. Положимъ W есть найденное сопротивленіе слоя $ABab$ (фиг. 3), для котораго $x = 1,5$; это W равно $= 17,41$ по второму столбцу нашей послѣдней таблицы; пусть также W' есть сопротивленіе слоя $ABcd$, для котораго $x = 3,0$; $W' = 28,02$. Если мы возьмемъ разность $W' - W = 10,61$, то эта разность, очевидно, изобразить намъ сопротивленіе слоя $abcd$. Такимъ образомъ если мы во второмъ столбцѣ послѣдней таблицы возьмемъ разность перваго и втораго членовъ, втораго и третьяго, третьяго и четвертаго и т. д., то получимъ сопротивленія слоевъ жидкости, имѣющихъ длину $= 1,5$ равную, но различный поперечный разрѣзъ. Если сопротивленія эти слѣдуютъ выведенному нами закону, то должно быть:

$$W' - W = \frac{K}{S} \left[\log \frac{k+x'}{k} - \log \frac{k+x}{k} \right] = \frac{K}{S} \log \frac{k+x'}{k+x}$$

Изъ всѣхъ величинъ $W' - W$ мы можемъ опредѣлить величину w сопротивленія слоя $ABab$:

$$w = \frac{K}{S} \log \frac{3,0}{1,5} = \frac{K}{S} \log 2; W' - W = \frac{w}{\log 2} \log \frac{k+x'}{k+x} \dots (A')$$

гдѣ x' разстояніе отдаленнѣйшаго электрода отъ AB . Употребивъ способъ наименьшихъ квадратовъ, мы получимъ вѣроятнѣйшую величину для w :

$$w = \frac{\sum \frac{\log \frac{k+x'}{k+x}}{\log 2} (W' - W)}{\sum \left[\frac{\log \frac{k+x'}{k+x}}{\log 2} \right]^2} \text{ и, обратно, изъ этой величины}$$

мы можемъ получить по формулѣ (A') величины для $W' - W$, которыя должны быть согласны съ наблюдаемыми, если принятая нами формула справедлива.

x'	x	Сопротивленіе.		
		Наблюд.	Вычисл.	Разн.
13,5	12,0	3,26	2,75	— 0,51
12,0	10,5	2,70	3,07	+ 0,37
10,5	9,0	3,34	3,49	+ 0,15
9,0	7,5	4,62	4,02	— 0,50
7,5	6,0	4,67	4,76	+ 0,09
6,0	4,5	5,77	5,82	+ 0,05
4,5	3,0	7,33	7,51	+ 0,18
3,0	1,5	10,61	10,59	— 0,02

$$w = 18,096$$

§ 54. *Наблюдение третье.* При той же самой батарее и при той же жидкости найдены были непосредственно величины $W' - W$ т. е. сопротивленія послѣдовательныхъ слоевъ жидкости, имѣющихъ равную длину $= 1,5$, опредѣлены прямо по способу, употребленному мною въ предыдущихъ наблюденіяхъ. Замѣтимъ, что при первыхъ двухъ горизонтальныхъ рядахъ токъ былъ $= 10^\circ$, при трехъ послѣдующихъ онъ былъ $= 15^\circ$, а при четырехъ остальныхъ $= 12^\circ$.

x'	x	a	a'	a	a среднее.
1,5	0	35,04	52,42	35,55	35,29
3,0	1,5	41,65	52,14	41,53	41,59
4,5	3,0	19,46	26,67	19,12	19,29
6,0	4,5	20,40	25,81	19,73	20,06
7,5	6,0	20,58	25,01	20,43	20,50
9,0	7,5	30,92	35,08	30,78	30,85
10,5	9,0	31,37	34,88	31,17	31,27
12,0	10,5	31,52	34,61	31,34	31,43
13,5	12,0	31,76	34,38	31,35	31,55

x'	x	Сопротивленіе.			
		Наблюдаем. $= a' - a$	Вычисл.	Разность.	
1,5	0	17,13	17,53	+ 0,40	$w = 17,532$
3,0	1,5	10,55	10,25	— 0,30	
4,5	3,0	7,38	7,27	— 0,11	
6,0	4,5	5,75	5,64	— 0,11	
7,5	6,0	4,51	4,61	+ 0,10	
9,0	7,5	4,23	3,90	— 0,33	
10,5	9,0	3,61	3,38	— 0,23	
12,0	10,5	3,18	2,98	— 0,20	
13,5	12,0	2,87	2,66	— 0,21	

Хотя этотъ рядъ наблюденій и не представляетъ большихъ отступленій отъ выведенной нами формулы, однакоже я не могу считать его столь же точнымъ, какъ прочія наблюденія; батарея, въ продолженіе этого ряда значительно ослабѣвала въ своей силѣ, какъ видно изъ разсматриванія величинъ a' .

§ 55. Во всѣхъ предъидущихъ наблюденіяхъ, равно какъ и во всѣхъ послѣдующихъ, я употреблялъ одну и ту же жидкость — растворъ мѣднаго купороса между мѣдными электродами — и эта жидкость была выбрана мною потому, что поляризація мѣдныхъ электродовъ въ ней нуль, и что слѣдоват. для опредѣленія сопротивленія я могъ пользоваться тѣмъ же способомъ, какой употребляется для тѣлъ твердыхъ. Однакоже я могъ какъ уже замѣчено въ § 51, вмѣсто этой жидкости употребить и всякую другую, наприм. растворъ слабой сѣрной кислоты, но въ такомъ уже случаѣ для доказательства выведенной мною формулы, я бы долженъ былъ, опредѣливши $a' - a$, поступать по тому способу (§ 53), какой мы приложили къ наблюденію второму. Въ самомъ дѣлѣ въ этомъ случаѣ W не равно $= a' - a$, но $W = a' - a - \frac{p}{F}$, гдѣ p поляризація — величина неизвѣстная, для другого слоя будетъ также $W' = a'' - a_1 - \frac{p}{F}$; взявши разность $W' - W = (a' - a) - (a'' - a_1)$, мы получимъ величину сопротивленія слоя $abcd$ независимую отъ поляризаціи. Если бы p и не сохранила одной величины при обоихъ наблюденіяхъ, то и въ такомъ случаѣ ошибка происходящая от-

того въ $W' - W$ не будетъ значительна. Поэтому, если электроды, погруженные въ мѣдный купоросъ не совершенно однородны, то въ опредѣленіяхъ W мы дѣлаемъ ошибку, зависящую отъ величины электровозбудительной силы, происходящей отъ неоднородности и $W = a' - a \mp \frac{k}{F}$; но если мы возьмемъ разность $W' - W$, то ошибка, оттого происходящая, уничтожается. Поэтому то въ таблицѣ на 81 стр. разности между величинами $W' - W$ вычисленными и наблюденными менѣе, нежели разности между величинами W въ таблицѣ 80 стр.

§ 56. Для повѣрки формулы (β) § 50, выведенной мною для сопротивленія кольцеобразныхъ слоевъ жидкости, я устроилъ деревянный цилиндрическій ящикъ (фиг. 4 гориз. разрѣзъ), котораго радіусъ основанія $= 4$ вершк. а высота $= 2$. Два кольцеобразные электрода мѣдные были укрѣплены въ сосудѣ: одинъ $ABCDE$ къ внутренней его вертикальной сторонѣ, другой $abcde$, имѣвшій радіусъ $= 0,5$ вершк. къ вертикальному деревянному столбику, вдѣланному въ срединѣ сосуда. Шесть другихъ пустыхъ мѣдныхъ цилиндровъ съ тонкими стѣнками имѣли радіусы $1'', 1,5, 2,0, 2,5, 3,0, 3,5$; эти цилиндры могли быть послѣдовательно вставляемы въ сосудъ совершенно concentрически съ внутреннимъ электродомъ; слѣдов. ширину кольцеобразнаго слоя жидкости, налитой въ сосудъ можно было по произволу увеличивать отъ $0,5$ до 4 вершк. т. е. можно было изслѣдовать семь слоевъ жидкости различной ширины. Опредѣленія сопротивленія производилось по предъидущему способу; употребленная жидкость была также растворъ мѣднаго купороса, почти насыщенный.

Наблюденіе первое.

Восемь паръ *Даниелля*; токъ постоянно $= 10^\circ$. Высота жидкости въ сосудѣ $= 0,75$ вершка. Радиусъ внутренняго электрода $r = 0,5$ вершк.

Радиусъ внѣш. эл. R	a	a'	a	Среднее a	Сопрот. $W = a' - a$
4,0	23,99	32,88	23,96	23,97	8,90
3,5	24,54	32,72	24,43	24,48	8,23
3,0	25,18	32,81	25,03	25,10	7,71
2,5	25,84	32,88	25,69	25,76	7,12
2,0	26,89	32,88	26,58	26,73	6,15
1,5	27,95	32,92	27,89	27,92	5,00
1,0	29,60	32,91	29,44	29,52	3,39
1,0	29,50	32,83	29,78	29,64	3,19
1,5	28,07	32,89	27,91	27,98	4,90
2,0	26,45	32,90	26,61	26,53	6,37
2,5	25,63	32,98	25,61	25,62	7,36
3,0	24,81	32,85	24,86	24,83	8,02
3,5	24,04	32,77	23,86	23,95	8,82
4,0	23,52	32,93	23,46	23,49	9,44

Начиная съ восьмого горизонтальнаго ряда наблюденій направленіе тока въ жидкости было измѣнено въ противное — для уничтоженія неоднородности электродовъ, которая могла произойти отъ пропусканія чрезъ нихъ тока по одному и тому же направленію. Во второмъ столбцѣ нижеслѣдующей таблицы помѣщены величины сопротивленія W различныхъ слоевъ, найденныя среднимъ числомъ изъ двухъ наблюденій $a' - a$. Изъ этихъ величинъ W , я вы-

числилъ по способу наименьшихъ квадратовъ величину

$$w = \frac{\sum \frac{\log \frac{R}{r} \cdot W}{\log 2}}{\sum \left(\frac{\log \frac{R}{r}}{\log 2} \right)^2}, \text{ а изъ}$$

этой величины, обратно, я опредѣлилъ сопротивленіе каждаго

$$\text{слоя по формулѣ } W = \frac{w}{\log 2} \log \frac{R}{r}$$

R	С о п р о т и в л е н і е W.		
	Наблюдаем. $a' - a$	Вычисл.	Разность
4,0	9,17	9,23	+ 0,06
3,5	8,52	8,64	+ 0,12
3,0	7,86	7,91	+ 0,05
2,5	7,24	7,14	— 0,10
2,0	6,26	6,15	— 0,11
1,5	4,95	4,88	— 0,07
1,0	3,24	3,08	— 0,16

$$w = 3,077$$

Наблюденіе второе. Вслѣдъ за этимъ первымъ рядомъ наблюденій я произвелъ съ тою же самою батареею, тою же самою силою тока и притѣхъ же обстоятельствахъ другой рядъ, въ которомъ для каждаго слоя опредѣлены были также двѣ величины a , но только при противномъ направленіи тока.

R.	a	a'	a	Средн. a	W		
					Набл. a' — a	Выч.	Разн.
4,0	23,40	32,86	23,30	23,35	9,51	9,54	+ 0,03
3,5	23,91	32,80	24,01	23,96	8,84	8,92	+ 0,08
3,0	24,81	32,78	24,73	24,77	8,01	8,21	+ 0,20
2,5	25,07	32,83	25,43	25,25	7,58	7,38	— 0,20
2,0	26,38	32,81	26,35	26,36	6,45	6,36	— 0,09
1,5	27,68	32,88	27,92	27,80	5,08	5,04	— 0,04
1,0	29,59	32,81	29,42	29,50	3,31	3,18	— 0,13

$$w = 3,178$$

Въ этомъ наблюденіи, равно, какъ и въ предъидущемъ я старался избѣгнуть вліянія неоднородности электродовъ, происходившей отъ окисленія анода и покрытія катода новымъ слоемъ мѣди: для того я и повторялъ опредѣленія величины a два раза при противныхъ направленіяхъ тока.

Если въ первомъ опредѣленіи мы имѣемъ $a' - a = W \pm \frac{k}{F}$ (1)

гдѣ k электровозбудительная сила, происходящая отъ неоднородности электродовъ, то во второмъ будемъ имѣть

$a' - a_1 = W \mp \frac{k}{F}$ (2); взявъ среднее изъ (1) и (2) получимъ

$a' - \left(\frac{a + a_1}{2}\right) = W$. Еслибы даже величины k въ обоихъ

наблюденіяхъ и не были совершенно равны, то при всемъ томъ ошибка въ опредѣленіи W , при ариѳметическомъ среднемъ a , будетъ весьма незначительна.

§ 57. Разсматривая два послѣднія наблюденія, мы видимъ изъ разностей между величинами сопротивленія наблю-

денными и найденными вычисленіемъ по выведенной мною формулѣ (β) § 50, что опытъ совершенно подтверждаетъ эту формулу, такъ какъ разности, не простираясь болѣе 0,2 оборота агометра, менѣе погрѣшностей, которыя могутъ имѣть мѣсто при наблюденіяхъ съ жидкостями. Тоже самое должно сказать и объ предъидущихъ наблюденіяхъ §§ 52 — 55 сопротивленія призматическихъ слоевъ жидкости. Замѣтимъ, что наблюденія съ кольцеобразными слоями представляютъ болѣе точности, нежели предъидущія три наблюденія съ слоями призматическими, по той причинѣ, что употребленная при нихъ батарея оставалась постоянною во все время наблюденій, тогда какъ въ наблюденіяхъ §§ 52 — 54 батарея довольно значительно измѣнялась — какъ то видно изъ разсматриванія величинъ a' .

§ 58. Обратимся теперь снова къ историческому обзору изслѣдованій надъ проводимостію жидкостей. Съ 1843 года, на которомъ мы остановились, по настоящее время, намъ извѣстны труды пяти ученыхъ по этому предмету: *Becquerel*'а, *Horsford*'а, *Hankel*'а, *Matteucci* и *Becker*'а. За исключеніемъ одного труда *Matteucci* надъ опредѣленіемъ зависимости сопротивленія жидкостей отъ химическаго ихъ состава, труды всѣхъ прочихъ ученыхъ имѣютъ предметомъ — опредѣленіе величины сопротивленія различныхъ жидкостей и изслѣдованіе вліянія температуры на этотъ элементъ.

§ 59. Эдмондъ Беккерель ⁽¹⁾ для опредѣленія сопротивленія поступалъ слѣдующимъ образомъ: онъ пропускалъ

⁽¹⁾ Ann. de Ch. et de Phys. III. série. T. XVIII. стр. 267.

токъ отъ батареи чрезъ два параллельныя соединенія (фиг. 6) ab и $a'b'$, изъ которыхъ каждое состояло изъ совершенно одинаковыхъ трубокъ a и a' наполненныхъ одною и тою же изслѣдуемою жидкостію и проволокъ b и b' дифференціального гальванометра ⁽¹⁾. Если сопротивленія параллельныхъ соединеній ab и $a'b'$ не равны между собою, то очевидно, что и силы проходящихъ по нимъ токовъ не будутъ одинаковы и стрѣлка дифференціального гальванометра разностию силъ этихъ токовъ отклонится въ извѣстную сторону. Беккерель доводитъ эти сопротивленія или, лучше сказать, силы токовъ до равенства, такъ чтобы стрѣлка гальванометра не отклонялась отъ своего положенія равновѣсія. Послѣ того Беккерель увеличиваетъ сопротивленіе одного изъ параллельныхъ соединеній, наприм. ab , вставляя въ него проволоку извѣстной длины и діаметра: равновѣсіе нарушится и стрѣлка отклонится въ сторону дѣйствія тока, проходящаго по другому параллельному соединенію $a'b'$; для возстановленія этого равновѣсія Беккерель укорачиваетъ цилиндрической слой

(¹) Дифференціальный гальванометръ состоитъ изъ двухъ одна отъ другой уединенныхъ и совершенно равныхъ проволокъ, навитыхъ совершенно одинаковымъ образомъ на станокъ, внутри котораго находится магнитная стрѣлка. Концы одной проволоки вставляются въ параллельное соединеніе ab , концы же другой проволоки въ соединеніе $a'b'$ и притомъ вставляются такимъ образомъ, чтобы токи шли въ обѣихъ проволокахъ по противнымъ направленіямъ. Тогда, очевидно, отклоненіе стрѣлки при равенствѣ токовъ будетъ $= 0$.

жидкости a до тѣхъ поръ, пока стрѣлка снова не придетъ въ магнитный меридіанъ. Тогда, очевидно, что сопротивленіе той длины жидкости, на которую былъ укороченъ слой, будетъ равно сопротивленію вставленной проволоки. Зная длину и поперечный разрѣзъ проволоки и жидкаго слоя, *Беккерель* могъ опредѣлить сопротивленіе жидкости относительно того металла, изъ котораго состояла проволока. Изъ этого мы видимъ, что способъ *Беккереля* въ сущности совершенно одинаковъ съ тѣмъ способомъ, о которомъ мы уже неоднократно говорили (см. §§ 36, 37, 43); въ томъ способѣ мы увеличивали длину жидкаго слоя на опредѣленную величину и уменьшали число оборотовъ агометра на столько, пока сила не дойдетъ до прежней величины; здѣсь же, сопротивленіе металлической проволоки увеличивается на опредѣленную величину, и находится длина, на которую необходимо укоротить жидкій слой для того, чтобы токъ не измѣнился.

§ 60. *Беккерель* предполагаетъ, что, при равенствѣ токовъ въ параллельныхъ соединеніяхъ ab и $a'b'$, и сопротивленія этихъ соединеній будутъ между собою равны. Посмотримъ, въ какой степени справедливо это предположеніе: назовемъ чрезъ F' и F'' силы токовъ проходящихъ по проводникамъ ab и $a'b'$; пусть $A =$ электровозбудительная сила батареи, p' поляризація и электровозбудительная сила въ электродахъ жидкости a , p'' также величина для a' , L сопротивленіе нераздѣленной части цѣпи, l' и l'' сопротивленія параллельныхъ проводниковъ ab и $a'b'$.

Основываясь на законахъ распредѣленія тока по парал-

дельнымъ проводникамъ, не трудно вывести выраженія для F' и F'' :

$$F' = \frac{A \cdot \frac{l''}{l' + l''}}{L + \frac{l' l''}{l' + l''}} + \frac{p'' \frac{L}{L + l'}}{l'' + \frac{L l'}{L + l'}} - \frac{p' \frac{L l''}{L + l'}}{l' + \frac{L l''}{L + l'}}$$

$$F'' = \frac{A \frac{l'}{l' + l''}}{L + \frac{l' l''}{l' + l''}} + \frac{p' \frac{L}{L + l''}}{l' + \frac{L l''}{L + l''}} - \frac{p'' \frac{L l'}{L + l'}}{l'' + \frac{L l'}{L + l'}}$$

Эти выраженія можно представить въ слѣдующемъ видѣ:

$$F' = \frac{A l'' + p'' L - p' (L + l'')}{L l' + L l'' + l' l''}$$

$$F'' = \frac{A l' + p' L - p'' (L + l')}{L l' + L l'' + l' l''}$$

или

$$F' = \frac{(A - p') l'' + (p'' - p') L}{R} \quad (1)$$

$$F'' = \frac{(A - p'') l' + (p' - p'') L}{R} \quad (2)$$

гдѣ $R = L l' + L l'' + l' l''$ (1).

При $F' = F''$, l' въ такомъ только случаѣ будетъ равно l'' , когда $p' = p''$ т. е. при равныхъ силахъ тока въ па-

(1) Эти выраженія мы могли бы вывести изъ тѣхъ общихъ формулъ, которыя были даны Г. Ленцомъ въ *Bullet. Physico-math.* Т. III. стр. 68. Если n проводниковъ $A_1 B, A_2 B, \dots A_n B$, которыхъ сопротивленія $\lambda_1, \lambda_2, \dots \lambda_n$, соединены между собою параллельно (см. фиг. 7) и если въ каждомъ изъ нихъ находится источникъ электровозбудительной силы $K_1, K_2, \dots K_n$ производящей токъ по направленію стрѣлки, то для силы тока,

параллельных проводникахъ ab и $a'b'$, сопротивление этихъ проводниковъ въ такомъ только случаѣ будутъ равны между собою, когда $p' = p''$. Но условіе $p' = p''$ весьма трудно, почти невозможно, выполнить на опытѣ, особливо при употребленіи весьма чувствительнаго гальванометра; опытъ показываетъ, что даже при жидкостяхъ и при электродахъ совершенно однородныхъ, это условіе, равенство $p' = p''$ если и выполняется, то на весьма короткое время и отъ непродолжительнаго дѣйствія тока оно тотчасъ же уничтожается. Однакоже въ способѣ Беккереля нѣтъ необходимости, чтобы p' было равно p'' и $l' = l''$, достаточно только, чтобы величины p' и p'' въ продолженіе наблюденій, при вставленіи ме-

проходящаго чрезъ какой ни есть изъ этихъ проводниковъ AmB , Г. Ленцъ получаетъ выраженіе:

$$F_m = K_m \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_{m-1}} + \frac{1}{\lambda_{m+1}} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \right) - \left(\frac{K_1}{\lambda_1} + \frac{K_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{K_{m-1}}{\lambda_{m-1}} + \frac{K_{m+1}}{\lambda_{m+1}} + \dots + \frac{K_n}{\lambda_n} \right)$$

$$\frac{\lambda_m \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \right)}{\lambda_m \left(\frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \right)}$$

Въ нашемъ случаѣ мы имѣемъ три проводника, которыхъ сопротивление

$\lambda_1 = L, \lambda_2 = l', \lambda_3 = l''; K_1 = A, K_2 = p', K_3 = p''$. Слѣдов.

$$F' = \frac{p' \left(\frac{1}{L} + \frac{1}{l''} \right) - \left(\frac{A}{L} + \frac{p''}{l''} \right)}{l' \left(\frac{1}{L} + \frac{1}{l'} + \frac{1}{l''} \right)}$$

$$F' = \frac{(p' - A)l' + (p' - p'')L}{Ll' + Ll'' + ll''}$$

выраженіе, тождественное съ (1), не обращая вниманія на знакъ; такимъ же образомъ получится и (2).

таллической проволоки неизмѣнялись; но и этого на опытѣ весьма трудно достигнуть, поэтому и опредѣленія сопротивленія по Беккерелю должны сопровождаться большими или меньшими погрѣшностями происходящими отъ измѣненій p' и p'' .

§ 61. Изслѣдовавши по такому способу сопротивленіе растворовъ нѣкоторыхъ металлическихъ солей при различной степени концентраціи, Беккерель дошелъ до слѣдующихъ результатовъ:

1) Растворы солей въ водѣ могутъ быть относительно проводимости раздѣлены на два класса. Въ первомъ классѣ заключаются всѣ растворы, которыхъ проводимость увеличивается съ концентраціею и которые, слѣдовательно, представляютъ наилучшую проводимость при точкѣ насыщенія. Примѣромъ такихъ тѣлъ могутъ служить растворъ мѣднаго купороса и растворъ хлористаго натрія. Ко второму классу принадлежатъ растворы такихъ солей, которыхъ проводимость увеличивается съ концентраціею, достигаетъ при извѣстной степени раствора *maximum* и при дальнѣйшемъ увеличеніи концентраціи уменьшается, такъ что насыщенный растворъ такихъ солей представляетъ такую же проводимость, какъ и растворъ весьма слабый. Къ этому классу, по мнѣнію Беккереля, принадлежатъ всѣ соли, которые растворяются въ водѣ въ весьма большемъ количествѣ (*sels deliquescents*), на примѣръ: азотнокислая окись мѣди и цинковый купоросъ. Далѣе мы увидимъ, что къ этому же классу тѣлъ относится и сѣрная кислота.

2) Если назвать чрезъ W сопротивленіе или чрезъ $\frac{1}{W}$ проводимость раствора, чрезъ q количество соли растворенной въ единицѣ объема жидкости, то для всѣхъ солей перваго класса по опытамъ *Беккереля*, имѣетъ мѣсто уравненіе $W = A + \frac{B}{q}$, гдѣ A и B величины постоянныя для одной и той же соли при опредѣленной температурѣ; для тѣлъ, относящихся ко второму классу тоже самое выраженіе имѣетъ мѣсто, начиная отъ самыхъ слабыхъ растворовъ только до раствора извѣстной степени концентраціи, близкому къ раствору наилучшей проводимости. *Беккерель* показалъ справедливость этой формулы для шести растворовъ мѣднаго купороса, четырехъ растворовъ хлористаго натрія и трехъ растворовъ двухлористой мѣди; изъ жидкостей втораго класса онъ бралъ четыре различныхъ раствора азотнокислой окиси мѣди. Формула *Беккереля*, представляя намъ средство узнавать *à priori* по двумъ, тремъ даннымъ растворамъ сопротивленіе раствора какой угодно концентраціи, весьма важна въ практическомъ отношеніи; поэтому желательно, чтобы она была подтверждена наблюденіями надъ большимъ числомъ тѣлъ. Тоже самое надобно сказать и о первомъ результатѣ, полученномъ *Беккерелемъ*; весьма желательно имѣть опредѣленія сопротивленія гораздо большаго числа тѣлъ, относящихся ко второму классу и точнѣе знать ту точку насыщенія ихъ растворовъ, при которой проводимость имѣетъ наибольшую величину. (Мы далѣе увидимъ, что только для растворовъ сѣрной кислоты это сопротивленіе изслѣдовано

довольно подробно). Такія опредѣленія могли бы также показать и самую причину явленія, представляемаго этимъ классомъ: мнѣніе *Беккереля*, что классъ этотъ составляется изъ такихъ тѣлъ, которые имѣютъ способность въ весьма большомъ количествѣ растворяться въ водѣ, изъ тѣлъ *распывающихся* (*deliquescentes*) — это мнѣніе, какъ основанное на наблюденіяхъ сдѣланныхъ только надъ двумя тѣлами очевидно, требуетъ еще бѣльшаго подтвержденія.

§ 62. Въ слѣдующей таблицѣ представлены всѣ жидкія тѣла, изслѣдованныя *Беккерелемъ*: во второмъ столбцѣ ея показаны соотвѣтствующія величины проводимости, при чемъ проводимость химически чистаго (прокаленнаго) серебра принята равною 100.000.000; а въ третьемъ столбцѣ означены величины сопротивленія, при чемъ сопротивленіе серебра принято равнымъ единицѣ.

Вещества.	Проводимость.	Сопротивленіе.
1) Чистое серебро при темп. = 0°	100.000.000	1
2) Насыщенный растворъ мѣднаго купороса; уд. вѣсъ 1,1707 при + 9°.25.....	5,42	18.450.000
Этотъ же растворъ, разбавленный водою до объема вдвое большаго	3,47	28.820.000
id до объема 4 раза большаго	2,08	48.080.000
3) Насыщен. растворъ хлористаго натрія при 9°,5.....	31,52	3.173.000
Растворъ, для котораго $q = \frac{1}{2}$	23,08	4.333.000

Растворъ, для котораго $q = \frac{1}{3}$	17,48	5.721.000
— — — $q = \frac{1}{4}$	13,58	7.864.000
4) Насыщ. растворъ азотнокислой окиси мѣди уд. вѣсъ 1,6008 при 13°0	8,995	11.120.000
Растворъ, для котораго $q = \frac{2}{3}$	16,208	6.169.800
— — — $q = \frac{1}{2}$	17,073	5.857.200
— — — $q = \frac{1}{4}$	13,442	7.439.400
5) Насыщ. растворъ цинковаго ку- пороса уд. вѣсъ 1,441 при темп. 14,1	5,77	17.330 000
Растворъ, для котораго $q = \frac{1}{2}$	7,13	14.025.000
— — — $q = \frac{1}{4}$	5,43	18.416.000
6) 220 куб. цент. воды и 20 куб. цент. $SO_3 + Aq$ при + 19°,0..	88,68	1.127.600
7) Азотная кислота продажная обыкновен. при 36° Боме.....	13,10	7.633.800
8) 30 граммовъ двууглекислой — хлори- стой сурьмы (protochlorure) 120 куб. цент. воды и 100 куб. цент. хлористоводородной ки- слоты при 15°.....	112,01	892.800

По опытамъ Беккереля проводимость чистой мѣди составляетъ 0,91 часть проводимости серебра слѣдов. чтобы получить величины проводимости означенныхъ въ таблицѣ веществъ относительно мѣди, стоитъ только числа втораго столбца умножить на $\frac{100}{91}$, а числа третьей колонны на 0,91. Такимъ образомъ получится сопротивленіе насыщеннаго мѣднаго купороса относительно мѣди = 16.789.500 — число, близкое къ тому, которое получилъ изъ своихъ опытовъ Пулье, (см. § 28).

§ 63. Беккерель изслѣдовалъ также вліяніе температуры на проводимость жидкостей, но въ этомъ отношеніи наблюденія его весьма не многочисленны и не представляютъ никакихъ особенно важныхъ результатовъ. Беккерель первый этими изслѣдованіями подтвердилъ тотъ, давно принятый между физиками, фактъ, что проводимость жидкостей съ увеличеніемъ температуры увеличивается, (тогда какъ въ твердыхъ тѣлахъ она, напротивъ, уменьшается). Фактъ этотъ, какъ я сказалъ, былъ принимаемъ съ давняго времени многими наблюдателями, такъ наприм. мы видѣли это изъ опытовъ Ге-Люсака и Тенара (§ 10), Валькера (§ 14); однакоже, строго говоря, изъ всѣхъ такихъ опытовъ нельзя было сдѣлать подобнаго заключенія. Опыты показывали только, что сила тока вообще увеличивается при нагрѣваніи тѣхъ жидкостей, чрезъ которыя токъ проходитъ; но не давали права заключать: отъ какой причины происходитъ это явленіе, отъ уменьшенія ли сопротивленія жидкости или отъ уменьшенія вводимой ею въ цѣпь поляризаціи или той и другой причины вмѣстѣ? Омъ въ 1844 году ⁽¹⁾ первый, сколько мнѣ извѣстно, доказалъ прямымъ опытомъ, что проводимость дѣйствительно при нагрѣваніи увеличивается. Для этого онъ бралъ два отдѣльные сосуда А и А', наполнялъ ихъ растворомъ поваренной соли и соединялъ оба эти сосуда посредствомъ стеклянной трубки, наполненной тою же жидкостію; въ одинъ сосудъ А опускалъ цин-

(¹) Pogg. Ann. Т. 63. стр. 63.

ковую, въ другой же мѣдную пластинку, и соединялъ ихъ посредствомъ проволоки весьма чувствительнаго гальванометра. Нагрѣвая трубку посредствомъ спиртовой лампы, до тѣхъ поръ, пока температура жидкости не приблизится къ точкѣ кипѣнія, Омъ замѣтилъ весьма большое увеличеніе отклоненія стрѣлки гальванометра т. е. увеличеніе силы тока, которое могло произойти *только* отъ увеличенія проводимости (уменьшенія сопротивленія) жидкости заключенной въ трубкѣ, такъ какъ поляризація не могла измѣниться, потому что электроды и жидкость въ сосудахъ A и A' не нагрѣвались. Чтобы еще болѣе быть увѣреннымъ, что нагрѣваніе не могло передаться въ сосуды A и A' , Омъ завязывалъ пузырьремъ концы трубки, погруженные въ эти сосуды: явленія были тѣже.

§ 64. Беккерель при опредѣленіи проводимости жидкостей при различныхъ температурахъ употреблялъ тотъ же способъ, какой мы описали выше въ § 59. Нагрѣвая одинъ изъ сосудовъ a и a' , Беккерель, очевидно не могъ при своихъ опытахъ получить равныя величины p и p' , потому, что поляризація, какъ теперь извѣстно, уменьшается съ увеличеніемъ температуры. Слѣдоват. при этихъ опытахъ ошибки, происходящія въ опредѣленіи сопротивленія вслѣдствіе измѣненій величинъ p и p' , могли скорѣе произойти, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда температура жидкостей въ сосудахъ a и a' была одинакова. Такимъ образомъ Беккерель нашелъ, что сопротивленіе цилиндрическаго слоя насыщеннаго мѣднаго купороса при $+14^{\circ},4$ длиною $= 3,88$ цент. равнялось сопротивленію платиновой проволоки опредѣленной длины;

когда же растворъ былъ нагрѣтъ до $+56^{\circ},0$, то таже платиновая проволока равнялась по сопротивленію слою жидкости длиною въ 8,50 ц. Слѣдоват. при увеличеніи температуры отъ $14^{\circ},4$ до $56^{\circ},0$ т. е. на 41,6 проводимость увеличивается отъ 3,88 до 8,50 т. е. на 4,62; принимая съ *Беккерелемъ*, что измѣненія проводимости пропорціональны температурѣ, получимъ, что при возвышеніи температуры на 1° , проводимость увеличивается на $\frac{4,62}{41,6} = 0,111$ т. е. на $\frac{0,111}{3,88} = 0,0286$ часть проводимости при $14,4$. Такимъ же образомъ *Беккерель* нашелъ, что при возвышеніи температуры на 1° проводимость слабаго раствора цинковаго купороса увеличивается на 0,0223, обыкновенной продажной азотной кислоты на 0,0263. *Беккерель* приводитъ только эти три опредѣленія, но въ концѣ своего мемуара ⁽¹⁾ говоритъ, что въ различныхъ жидкостяхъ при нагрѣваніи отъ 0° до 100° проводимость увеличивается въ 3, 4 раза, тогда какъ въ металлахъ между тѣми же температурами сопротивленіе увеличивается между предѣлами 1,1 и 1,6.

Предположеніе *Беккереля*, что измѣненія проводимости пропорціональны измѣненіямъ температуры, несправедливо ни для жидкихъ, ни для твердыхъ тѣлъ и опыты не давали ему права сдѣлать такое заключеніе. Численныя величины, полученные этимъ ученымъ для измѣненія проводимости въ трехъ приведенныхъ жидкостяхъ, будучи основаны на одномъ только наблюденіи, не могутъ имѣть притязанія

⁽¹⁾ Ann. de Ch. et de Phys. III serie. T. 17. стр. 290.

на большую точность — и вообще эти изслѣдованія *Беккереля* должны быть замѣчены въ наукѣ только, какъ первая попытка опредѣлить нумерически вліяніе температуры на проводимость жидкостей.

§ 65. Въ числѣ наблюденій, произведенныхъ мною еще въ 1844 году, я нахожу нѣсколько такихъ, которыя могутъ показать намъ быстрое уменьшеніе сопротивленія жидкостей съ возрастаніемъ температуры и вмѣстѣ съ тѣмъ происходящее при этомъ уменьшеніе поляризаціи. Эти наблюденія оставались неизданными, потому что были произведены по такому способу, который, какъ я уже замѣтилъ въ § 45, будучи основанъ на ложномъ предположеніи независимости поляризаціи отъ силы тока, даетъ величину сопротивленія болѣе истинной. Однакоже я считаю неизлишнимъ помѣстить здѣсь эти наблюденія, во *первыхъ* потому, что погрѣшности, происходящія отъ способа наблюденій, не имѣютъ вліянія на тѣ явленія, которыя мы хотимъ доказать ими, а во *вторыхъ* и потому, что и наблюденія другихъ ученыхъ не представляютъ намъ въ этомъ отношеніи бѣлой точности. Наблюденія мои произведены были слѣдующимъ образомъ: я вставлялъ изслѣдуемую жидкость (налитую въ небольшой стеклянной сосудъ, чрезъ стѣнки котораго проходили проволоки къ платиновымъ электродамъ) въ цѣпь, состоящую изъ известнаго числа паръ баттарей *Даніелля*, агометра и мультипликатора *Нервандера* ⁽¹⁾ и доводилъ 1) силу тока до определенной величины F , замѣчая при этомъ число оборотовъ

⁽¹⁾ Этотъ мультипликаторъ былъ тотъ самый, какой употреблялъ *Г. Ленцъ* при своихъ опытахъ. Смотр. *Bulletin physico-mathem.* T. I. NN° 14, 15, 16.

агометра a ; 2) доводилъ силу до F' и также замѣчалъ a'' и наконецъ — исключивъ изъ цѣпи жидкость, замѣчалъ 3) и 4) число оборотовъ a' и a''' необходимое для того, чтобы довести силу тока до F и F' . Эти наблюденія повторялъ я во избѣжаніе ошибки, происходящей отъ измѣненія электро-возбудительной силы, сопротивленія баттарей, отъ неправильныхъ измѣненій поляризаціи, по нѣскольکو разъ. Зная величины a, a'', a', a''', F, F' мы получимъ по формулѣ (C) § 45 сопротивление жидкости $x = a' - a - \frac{p}{F} =$

$$a' - a - \frac{F'}{F' - F} [(a' - a) - (a''' - a'')]$$

и поляризацію

$$p = \frac{F F'}{F' - F} [(a' - a) - (a''' - a'')],$$

гдѣ $F = \frac{\text{tg } \alpha}{\text{tg } 1^\circ}$, α отклоненіе стрѣлки мультипликатора.

§ 66. Я представлю здѣсь въ подробности одинъ рядъ такихъ наблюденій, въ которыхъ изслѣдуемая жидкость состояла изъ раствора поваренной соли (хлористаго натрія), имѣвшаго удѣльный вѣсъ $= 1,052$ при температурѣ $+ 15^\circ,0$ R.

Наблюденіе первое. Жидкость имѣла въ началѣ опыта температуру $+ 6^\circ,0$, а въ концѣ $+ 10^\circ,5$; мы примемъ среднюю ариѳметическую изъ этихъ температуръ т. е. $+ 8^\circ,25$.

Отклоненіе стрѣлки $= \alpha$	Показанія агометра.	
20°	$a = 3,95$	$a' = 18,43$
10°	$a'' = 25,12$	$a''' = 47,56$
20°	$a = 3,97$	$a' = 18,50$
10°	$a'' = 25,07$	$a''' = 47,37$
20°	$a = 4,06$	$a' = 18,52$

Среднее $a = 3,99$

— $a'' = 25,09$

— $a' = 18,48$

— $a''' = 47,46$

Отсюда $x = 7,08$

$p = 19,59. [7,88]$

Наблюдение второе. Температура жидкости

въ началѣ опыта $+14^{\circ},8$ }
 — концѣ — $+17^{\circ},8$ } средняя $= +16^{\circ},3$.

α	Показанія агом.	
20°	$a = 4,89$	$a' = 18,04$
10°	$a'' = 26,15$	$a''' = 47,10$
20°	$a = 4,93$	$a' = 18,10$
10°	$a'' = 26,24$	— —
20°	$a = 4,93$	— —

Среднее $a = 4,92$
 — $a'' = 26,19$
 — $a' = 18,07$
 — $a''' = 47,10$

 $x = 5,86$
 $p = 19,59. [7,76]$

Наблюдение третье. Температура жидкости $+50^{\circ},5$.

α	Агометръ.	
20	$a = 7,93$	$a' = 17,89$
10	$a'' = 30,06$	$a''' = 46,98$
20	$a = 7,97$	$a' = 17,81$
10	$a''' = 30,01$	— —
20	$a = 7,87$	— —

Среднее $a = 7,94$
 — $a'' = 30,03$
 — $a' = 17,85$
 — $a''' = 46,98$

 $x = 3,29$
 $p = 19,59. [7,04]$

Наблюдение четвертое. Температура жидкости $+66^{\circ},5$.

α	Агометръ.	
20	$a = 9,01$	$a' = 17,48$
10	$a'' = 31,51$	$a''' = 46,36$
20	$a = 8,95$	$a' = 17,55$
10	$a'' = 31,30$	$a''' = 46,23$
20	$a = 8,75$	$a' = 17,48$

Среднее $a = 8,91$
 — $a'' = 31,40$
 — $a' = 17,50$
 — $a''' = 46,29$

 $x = 2,69$
 $p = 19,59. [6,29]$

Наблюденіе пятое. Температура жидкости

въ началѣ опыта $+14^{\circ},3$ }
 — концѣ — $+16^{\circ},6$ } средняя $+15^{\circ},5$.

α	Агометръ.		Среднее $a = 4,10$ — $a'' = 25,16$ — $a' = 17,01$ — $a''' = 45,66$ $p = 19,59 [7,59]$ $x = 5,78.$
20°	$a' = 4,04$	$a' = 16,97$	
10°	$a'' = 25,21$	$a''' = 45,66$	
20°	$a = 4,12$	$a' = 17,06$	
10°	$a'' = 25,11$	— —	
20°	$a = 4,13$	— —	

Взявъ среднее x и p изъ наблюденій второго и пятого, мы получимъ $x = 5,82$, $p = 19,59 [7,67]$ для жидкости, которой температура есть средняя между $+15,5$ и $+16,3$ т. е. $= 15,9$. Въ нижеслѣдующей таблицѣ можно видѣть результаты всѣхъ пяти наблюденій, при чемъ у p отброшенъ постоянный факторъ 19,59.

Температура жидкости.	Сопротивл.	Поляриз.
$+ 8^{\circ},25$	7,08	7,88
$+ 15,90$	5,82	7,67
$+ 50,50$	3,29	7,04
$+ 66^{\circ},50$	2,69	6,29

Эта таблица ясно показываетъ уменьшеніе сопротивленія и поляризації при нагрѣваніи и притомъ показываетъ, вопреки предположенію Беккереля, что это уменьшеніе вовсе не

пропорціонально температурѣ. Въ самомъ дѣлѣ, отъ 1 до 2-го наблюденія, при измѣненіи температуры отъ $+8^{\circ},25$ до $+15,9 = 7^{\circ},65$ сопротивленіе измѣнилось на 1,26 и слѣдов. среднимъ числомъ на 1° измѣненіе $= \frac{1,26}{7,65} = 0,165$ или $= \frac{0,165}{7,08} = 0,0233$ часть сопротивленія при $8^{\circ},25$. Такимъ же образомъ средній коеффиціентъ измѣненія сопротивленія между температурами $8,25$ и $50,5$ будетъ $= 0,0130$; а между температурами $8^{\circ},25$ и $66^{\circ},5$ онъ $= 0,0106$, т. е. измѣненіе сопротивленія, соотвѣтствующее измѣненію температуры на 1° , не для всѣхъ температуръ одинаково, но съ возвышеніемъ температуры уменьшается, т. е. при высшихъ температурахъ измѣненія сопротивленія менѣе быстры, чѣмъ при низшихъ.

§ 67. Почти въ одно время съ трудомъ Беккереля изданъ былъ трудъ Ганкеля (Hankel), имѣвшій предметомъ также изслѣдованіе измѣняемости сопротивленія жидкостей при нагрѣваніи ⁽¹⁾. Ганкель употреблялъ при своихъ опытахъ способъ, который можетъ быть употребленъ только въ такомъ случаѣ, когда поляризація нуль, что и дѣйствительно имѣло мѣсто при его опытахъ, потому что изслѣдованныя жидкости состояли изъ мѣдныхъ и цинковыхъ солей, а электроды изъ соотвѣтствующихъ металловъ: мѣди и цинка. Жидкость была наливаема въ колѣчатую трубку въ видѣ буквы V, раздѣленную на равныя части. Величина частей вертикальныхъ колѣнъ трубки была извѣстна какъ относительно длины, такъ и ширины, величина же горизонтальнаго колѣна могла быть выражена въ

(1) Pogg. Ann. T. 69. стр. 255.

этихъ равныхъ частяхъ вертикальныхъ колѣнъ и находима при всякомъ опытѣ (что впрочемъ вовсе не было необходимо). Токъ отъ одной, двухъ или трехъ паръ баттарей *Даниелла*, былъ раздѣленъ на двѣ части такимъ образомъ, что одна часть его шла чрезъ одну проволоку дифференціального гальванометра по извѣстному направленію, а другая часть его по другой проволоцѣ этого же гальванометра по направленію противоположному. Если сопротивленія обѣихъ проволокъ гальванометра равны между собою, тогда, очевидно, дѣйствіе на магнитную стрѣлку токовъ, идущихъ по нимъ, будетъ нуль; увѣрившись въ этомъ равенствѣ сопротивленій, *Ганкель* вставляетъ въ одинъ параллельный проводникъ, состоящій изъ проволоки гальванометра, изслѣдуемую жидкость, а въ другой тонкую желѣзную проволоку, которой длину измѣняетъ до тѣхъ поръ, пока токи, идущіе по обоимъ проводникамъ, не будутъ между собою равны т. е. пока стрѣлка гальванометра не придетъ въ положеніе магнитнаго меридіана. Сопротивленіе вставленной длины желѣзной проволоки *Hankel* принимаетъ равнымъ сопротивленію жидкости; но, очевидно, что это справедливо въ томъ только случаѣ, когда поляризація нуль. Въ самомъ дѣлѣ, означимъ чрезъ F' и F'' силы тока въ параллельныхъ проводникахъ, тогда по формуламъ § 60 будетъ, принимая $p'' = 0$:

$$F' = \frac{(A - p') l' - p' L}{R}$$

$$F'' = \frac{Al + p' L}{R}$$

если $F' = F''$, то изъ этого можно заключить, что и $l' = l''$ въ такомъ только случаѣ, когда $p' = 0$.

Выше было уже упомянуто, что это условіе $p' = 0$ имѣло мѣсто при опытахъ Ганкеля; поэтому и способъ, употребленный имъ, могъ дать точную величину сопротивленія. Неоднородность электродовъ, которая могла произойти вслѣдствіе дѣйствія тока, всегда была тотчасъ же уничтожаема; притомъ же Ганкель избѣгалъ нагрѣванія жидкости отъ проходящаго чрезъ нея тока и для этого онъ пропускалъ токъ чрезъ нея только на весьма короткое время. Для примѣра я приведу одинъ рядъ наблюденій изъ девяти, произведенныхъ Ганкелемъ. Жидкость при этомъ наблюденіи состояла изъ концентрированного раствора мѣднаго купороса. Токъ пропускаемъ былъ сперва чрезъ слой жидкости, наполнявшій горизонтальное колѣно трубки, за тѣмъ длина жидкости удаленіемъ электродовъ увеличивалась на 10, 20, 30, 40 частей, на которыя раздѣлены вертикальныя колѣна и при каждой длинѣ слоя замѣчалась соотвѣтствующая длина желѣзной проволоки. Называя чрезъ K сопротивленіе жидкости, наполнявшей изогнутое горизонтальное колѣно трубки, чрезъ y сопротивленіе слоя занимающаго одно дѣленіе трубки, Ганкель получалъ нѣсколько уравненій вида $K + ny = l$, гдѣ n число частей занимаемыхъ жидкостью въ вертикальныхъ колѣнахъ, l длина желѣзной проволоки, которой сопротивленіе равно сопротивленію жидкаго слоя. Изъ этихъ уравненій онъ опредѣлялъ y . Такимъ образомъ:

I.		II.	
$K = 197,39$	при $0^\circ R$	$K = 130,35$	при $+ 11^\circ,8 R$
$K + 10 y = 310,58$	— —	$K + 10 y = 203,02 \dots + 11,8$	
$K + 40 y = 645,96$	— —	$K + 20 y = 276,37 \dots + 11,9$	
$\underline{Y \text{ при } 0^\circ = 11,26}$		$K + 30 y = 352,63 \dots + 11,9$	
		$K + 40 y = 424,71 \dots + 12,0$	
		$\underline{\text{Среднее } y \text{ при } 11^\circ,9 = 7,33}$	
III.		IV.	
$K = 80,02$	при $31,9$	$K = 56,82$	при $64,9$
$K + 20 y = 175,96$	при $31,0$	$K + 20 y = 117,37 \dots 66,9$	
$\underline{Y \text{ при } 31^\circ,0 = 4,7}$		$K + 40 y = 177,01 \dots 67,5$	
		$\underline{\text{Среднее } Y \text{ при } 66^\circ,4 = 3,12}$	

§ 68. Изъ наблюдений, произведенныхъ подобнымъ образомъ, Ганкель вывелъ слѣдующіе результаты: 1) при возвышеніи температуры сопротивленіе жидкостей уменьшается весьма значительно, гораздо значительнѣе, чѣмъ сопротивленіе металловъ увеличивается при тѣхъ же обстоятельствахъ. Этотъ фактъ слѣдуетъ уже, какъ мы видѣли и изъ опытовъ Беккереля. 2) Измѣненія сопротивленія не пропорціональны температурѣ; но они тѣмъ болѣе, чѣмъ температура ближе къ 0° . Это слѣдствіе мы также вывели уже изъ ряда моихъ наблюдений, приведенныхъ въ § 66. Такъ напримѣръ изъ приведенныхъ въ § 67 опытовъ Ганкеля уменьшеніе сопротивленія на одинъ градусъ R среднимъ числомъ:

отъ 0°	до $11^\circ,9$	равно $= 0,0293$	часть сопрот. при 0° .
— 0°	— $31,0$	— $= 0,0187$	— — — —
— 0	— $66,4$	— $= 0,0107$	— — — —

3) Величины измѣненій сопротивленія въ различныхъ жидкостяхъ довольно согласны между собою, только для растворовъ концентрированныхъ онѣ нѣсколько болѣе. По край-

ней мѣръ этотъ результатъ справедливъ относительно мѣдныхъ и цинковыхъ солей; можетъ ли онъ быть примѣненъ къ другимъ солямъ, какъ напр. солямъ кали и натра — это предоставляетъ *Ганкель* рѣшить будущимъ изслѣдованіямъ. Впрочемъ наблюденія, произведенныя мною, доказываютъ справедливость этого и относительно хлористаго натрія (сравни измѣненія сопротивленія этой соли приведенныя въ концѣ § 66). Болѣе быстрое измѣненіе сопротивленія въ растворахъ концентрированныхъ, какъ напр. цинковомъ купоросѣ, состоитъ, по мнѣнію *Ганкеля*, въ связи съ измѣненіемъ удобоподвижности, взаимнаго сѣпленія частицъ ихъ: концентрированные растворы такихъ солей отличаются большою густотою, малою удобоподвижностію и эта густота отъ возвышенія температуры быстро уменьшается, отчего и проводимость увеличивается. Въ связи съ этимъ свойствомъ состоитъ и то явленіе, что растворы этихъ солей имѣютъ наилучшую проводимость не при наибольшей концентраціи, но при извѣстной ея степени. Къ этимъ явленіямъ мы даѣе возвратимся еще разъ.

§ 69. *Horsford* въ изслѣдованіяхъ своихъ, изданныхъ въ 1847 году ⁽¹⁾ имѣлъ цѣлью опредѣленіе нумерическихъ величинъ сопротивленія нѣкоторыхъ жидкостей. Увѣрившись прежде всего въ справедливости двухъ законовъ *Фехнера* и независимости сопротивленія отъ силы тока, *Horsford* употреблялъ при этомъ и при всѣхъ прочихъ опредѣленіяхъ своихъ способъ, о которомъ мы уже говорили въ §§ 36 и 37.

(¹) *Pogg. Ann.* Т. 70. стр. 238.

Поэтому здѣсь я ограничусь только показаніемъ величинъ, какія *Horsford* получилъ для сопротивленія различныхъ жидкостей. Единицею сопротивленія *Horsford* принималъ сопротивление *новаго серебра* (*Neusilber*), но какъ сопротивление этого металла въ 12,4 раза болѣе сопротивленія серебра химически чистаго, то, умноживши числа *Horsford'a* на 12,4, мы получимъ сопротивленія жидкостей относительнаго серебра, какъ и показано въ нижеслѣдующей таблицѣ. Замѣтимъ, что изслѣдованныя жидкости были химически чистыя и имѣли температуру отъ $+18^{\circ}$ до 20° C.

Жидкости.	Сопротивл.	Жидкости.	Сопротивл.
Сѣрная кислота		Растворъ <i>цинков.</i>	
уд. вѣса 1,10	938.500	<i>купор.</i> во 100 к. ц.	
— — 1,15	840.500	7,287 gr. купороса	23.515.000
— — 1,20	696.700	4,175 — —	33.026.800
— — 1,24	696.700	Растворъ <i>хлорист.</i>	
— — 1,30	696.700	<i>потассія :</i>	
— — 1,40	1.023.400	куб. цент.	
Растворъ <i>хлористаго натрія</i>		27,7 gr. въ 500 вод.	7.168.000
куб. цент.		13,35 — — —	13.688.000
27,6 gr. въ 500 вод.	7.157.000	6,675 — — —	24.885.000
21,3 gr. — — —	9.542.000	Раств. <i>хлор. барія</i>	
10,65 — — —	18.460.000	36,46 gr. въ 500 к. ц.	13.656.000
5,325 — — —	34.110.000	Раств. <i>хлор. стронція</i> 29,3 gr. въ 500	9.673.200
Растворъ <i>мѣднаго купороса</i> въ 100		Раст. <i>хлор. кальція</i>	
кубич. центим.		уд. вѣсъ 1,04.	8.339.700
15,093 gr. купор.	12.058.000	Раств. <i>хлорист.</i>	8.339.700
7,547 gr.	17.490.000	<i>магnezіи.</i>	
		Раств. <i>хлор. цинка</i>	13.546.800

§ 70. Изъ этой таблицы мы видимъ, что сопротивленіе сѣрной кислоты имѣетъ наименьшую величину не при наибольшей степени концентраціи, но что minimum сопротивленія или наилучшая проводимость принадлежитъ раствору, котораго удѣльный вѣсъ заключается между 1,2 и 1,3; слѣдоват. сѣрная кислота принадлежитъ къ проводникамъ втораго класса Беккереля (см. § 61). Это свойство сѣрной кислоты извѣстно было уже съ давняго времени физикамъ, занимавшимся гальванизмомъ и *Деларивъ* ⁽¹⁾ первый показалъ, что наилучшую проводимость представляетъ тотъ растворъ, который заключаетъ не менѣе 30% и не болѣе 50% этой кислоты (т. е. котораго уд. вѣсъ заключается между 1,2 и 1,3), такъ какъ такой растворъ, будучи вставленъ въ цѣпь, менѣе прочихъ ослабляетъ силу тока. Въ практическомъ отношеніи было бы весьма важно знать опредѣлительно ту точку концентраціи, при которой сѣрная кислота оказываетъ наилучшую проводимость, да и въ теоретическомъ отношеніи интересно было бы опредѣлить ходъ измѣненія сопротивленія этой кислоты съ измѣненіемъ концентраціи. Съ этою цѣлію я, еще въ 1845 — 1846 годахъ, опредѣлилъ сопротивление тридцати четырехъ различныхъ растворовъ сѣрной кислоты, начиная отъ уд. вѣса 1,003 до уд. вѣса = 1,527. Наблюденія мои оставались до сихъ поръ неизданными по причинамъ, объясненнымъ мною на стр. 3 и въ § 65; но, въ настоящее время, когда нѣкто докт. *Беккеръ*, въ началѣ 1850 года, напечаталъ свои изслѣдованія по тому же

(1) *Pogg. Ann.* Т. 19. стр. 221.

самому предмету, я считаю необходимымъ представить здѣсь и мои труды тѣмъ болѣе, что во *первыхъ* изслѣдованія Беккера, будучи произведены совершенно по тому же способу, какъ и мои, имѣютъ тѣже самыя погрѣшности, во *вторыхъ* они не могутъ похвалиться бѣльшею точностію, а въ *третьихъ* обнимаютъ гораздо меньшій рядъ растворовъ.

§ 71. Опредѣленія мои были произведены слѣдующимъ образомъ: 1) я составлялъ различные растворы сѣрной кислоты, смѣшивая обыкновенную продажную кислоту, имѣвшую уд. вѣсъ $= 1,83$ съ опредѣленнымъ количествомъ Невской воды и опредѣлялъ степень концентраціи раствора по его удѣльному вѣсу посредствомъ ареометра и вмѣстѣ съ тѣмъ и его температуру. 2) Изслѣдуемый растворъ наливался въ сосудъ, имѣвшій форму параллелипипеда, составленный изъ пяти склеенныхъ между собою зеркальныхъ стеколъ. Боковыя узкія стѣнки этого сосуда были раздѣлены горизонтальными линіями на равныя части чрезъ одну полулинію, поэтому я всегда могъ опредѣлять высоту жидкости въ сосудѣ; при томъ же посредствомъ винтовъ я могъ привести дно сосуда въ горизонтальное положеніе. При всѣхъ моихъ опредѣленіяхъ жидкость наливалась въ сосудъ до одной опредѣленной высоты и именно до высоты 40 полулиній. 3) Электроды, чрезъ которые былъ пропускаемъ токъ въ жидкость, занимали весь поперечный разрѣзъ сосуда и состояли (въ бѣльшей части наблюденій) изъ амальгамированныхъ пластинокъ цинка, только въ нѣкоторыхъ случаяхъ я бралъ одинъ электродъ (анодъ) платиновый, а другой (катодъ) цинковый. Я не могъ брать оба электрода плати-

новые, потому что водородъ, освобождающійся на платиновомъ катодѣ, производитъ поляризацию, непрерывно измѣняющуюся и потому и не позволяетъ точныхъ измѣреній. Я предпочиталъ брать цинковые электроды: хотя при прохожденіи тока цинкъ (анодъ) и растворяется, а слѣдоват. составъ жидкости измѣняется, но происходящее отъ этого измѣненіе въ сопротивленіи жидкости весьма не велико и несравненно менѣе погрѣшностей, происходящихъ отъ измѣненій поляризаци и однородности поверхности электродовъ.

4) Электроды могли быть легко поставляемы на различныя разстоянія одинъ отъ другаго и, слѣдовательно, длина жидкаго слоя могла быть по произволу измѣняема. Для этого электроды были прикрѣпляемы къ особенной обоймицѣ, которая могла скользить по металлической горизонтальной полоскѣ, раздѣленной на англійскія полуліній и укрѣпленной параллельно длинѣ сосуда.

5) Сопротивленіе жидкости опредѣлялось совершенно такимъ же способомъ и тѣми же инструментами, какими были произведены наблюденія § 66; съ тою только разностию, что для каждаго раствора сопротивленіе опредѣлялось для нѣсколькихъ разстояній электродовъ и притомъ для каждаго разстоянія по нѣсколько разъ.

6) Принимая первый законъ *Фехнера*, изъ всѣхъ наблюденныхъ величинъ сопротивленія различныхъ длинъ жидкаго слоя я могъ вычислить, по методѣ наименьшихъ квадратовъ, сопротивленіе опредѣленной длины жидкости, а именно длины $= 20$ полул. $= 1$ дюйму и, обратно, помощію этой величины, могъ вычислить сопротивленія различныхъ длинъ. Согласіе этихъ вычисленныхъ величинъ съ наблю-

денными служило мѣрою точности наблюдений и вмѣстѣ съ тѣмъ подтвержденіемъ перваго закона *Фехнера*.

§ 72. Я считаю излишнимъ приводить здѣсь въ подробности каждое произведенное наблюдение: это потребовало бы слишкомъ много мѣста и поэтому я ограничусь тѣмъ, что для каждаго изслѣдованнаго раствора приведу: 1) величины сопротивленія различныхъ длинъ раствора; 2) опредѣленную изъ нихъ величину сопротивленія для длины одного дюйма и за тѣмъ представлю 3) вычисленные по этой величинѣ — сопротивленія различныхъ длинъ и разности между ними и сопротивленіями наблюдаемыми. Въ первомъ столбцѣ нижеслѣдующей таблицы показаны удѣльный вѣсъ раствора и температура; во второмъ содержаніе гидрата сѣрной кислоты ($SO_3 + H_2O$) во 100 частяхъ раствора, взятое по удѣльному вѣсу изъ таблицъ составленныхъ *Уре* ⁽¹⁾: впрочемъ эти числа не имѣютъ большаго значенія, такъ какъ употребленная кислота не была химически чистая. Въ третьемъ столбцѣ показаны сопротивленія различныхъ длинъ (выраженныхъ въ англ. полулин.) жидкаго слоя наблюдаемые и вычисленные, также и разности между ними; наконецъ въ четвертой колоннѣ заключаются величины сопротивленія жидкаго слоя длиною въ одинъ дюймъ и въ 182 квадр. линій поперечнаго разрѣза: этотъ слой я назову *нормальнымъ*. Сопротивленія выражены въ оборотахъ агометра.

(¹) *Pogg. Ann.* Т. 60. стр. 58.

Уд. вѣсъ и тем- пература.		Содер. SO ₃ +H ₂ O во 100 частяхъ воды.	Сопротивленія различныхъ длинъ слоя.					Сопрот. нормал. слоя.
			Длина слоя.	Сопротивленіе.				
				Наблюдаемое.	Вычисл.	Разность.		
I)	1,003 + 16 ^o ,1	0,5	30	23,82 } 23,82 }	23,82	24,01	— 0,19	16,01
			40	... 32,18	32,02	+ 0,16		
II)	1,006 + 15,0	0,9	30	15,20 } 15,15 }	15,17	...	....	10,117
III)	1,010 + 13,8	1,4	30	13,05 } 13,02 }	13,03			8,690
IV)	1,012 + 13,0	1,7	30	10,03 } 9,97 }	10,00	9,97	+ 0,03	6,65
			40	13,24 } 13,32 }	13,28	13,30	— 0,02	
V)	1,015 + 15,2	2,2	60	... 16,46	16,41	+ 0,05	5,47	
			100	27,29 } 27,34 }	27,31	27,35			— 0,04
VI)	1,024 + 11,4	3,7	60	12,04 } 12,13 }	12,08	11 86	+ 0,22	3,945
			100	19,63 } 19,57 }	19,60	19,72	— 0,12	
VII)	1,030 + 13,1	4,6	100	16,19 } 16,32 }	16,25	15,95	+ 0,30	3,190
			200	31,80 } 31,75 }	31,77	31,90	— 0,13	

VIII)	1,043 + 14,1	6,5	100	11,52 11,60	11,56	11,40	+ 0,16	2,281
			200	22,76 22,71	22,73	22,81	— 0,08	
IX)	1,048 + 12,2	7,0	100	11,30 11,36	11,33	11,25	+ 0,08	2,250
			190	21,09 21,60	21,34	21,37	— 0,03	
X)	1,053 + 13,7	7,9	100	9,82 9,57	9,69	9,42	+ 0,27	1,884
			200	18,73 18,69	18,71	18,84	— 0,13	
XI)	1,062 + 12,3	9,1	100	8,65 8,80	8,72	8,55	+ 0,17	1,711
			200	17,24 16,81	17,02	17,11	— 0,09	
XII)	1,071 + 15,5	10,3	100	7,64 7,68	7,66	7,24	+ 0,42	1,448
			200	14,38 14,17	14,27	14,48	— 0,19	
XIII)	1,080 + 12,8	12,0	100	7,00 6,89	6,94	6,84	+ 0,10	1,368
			200	13,69 13,58	13,63	13,68	— 0,05	
XIV)	1,110 + 12,7	16,0	20	...	1,39	1,15	+ 0,24	1,151
			60	...	3,51	3,45	+ 0,06	
			100	...	5,93	5,75	+ 0,18	
			160	...	9,24	9,21	+ 0,03	
			190	...	10,77	10,93	— 0,16	

XV)	1,125 + 13,8	18,0	100	5,40 } 5,38 }	5,39	5,32	+ 0,07	1,064
			200	10,66 } 10,54 }				
XVI)	1,133 + 15,1	19,0	200	9,86 } 9,78 }	9,82	9,80	— 0,02	0,980
			100	4,80 } 4,80 }				
XVII)	1,147 + 13,6	20,8	200	9,32 } 9,58 } 9,92 }	9,61	9,60	+ 0,01	0,960
			100	4,75 } 4,94 } 4,66 }				
XVIII)	1,160 + 14,1	22,7	100	4,92 } 5,09 }	5,00	4,76	+ 0,24	0,952
			200	9,45 } 9,32 }				
XIX)	1,173 + 12,6	24,2	100	4,62 } 4,55 } 4,62 } 4,38 }	4,54	4,33	+ 0,21	0,866
			200	8,70 } 8,48 } 8,56 } 8,45 }				
XX)	1,190 + 13,0	26,4	100	4,52 } 4,37 }	4,44	4,35	+ 0,09	0,871
			200	8,77 } 8,58 }				

XXI)	1,215 + 12,3	29,6	60		2,36	2,49	— 0,13	0,830
			100	....	4,41	4,15	+ 0,26	
			160	....	6,67	6,64	+ 0,03	
			200	....	8,19	8,30	— 0,11	
XXII)	1,225 + 13,6	30,9	100	4,95 } 4,37 } 4,49 }	4,60	4,31	+ 0,29	0,862
			200	8,44 } 8,50 }	8,47	8,62	— 0,15	
XXIII)	1,252 + 13,5	34,3	100	4,45 } 4,30 }	4,37	4,37	± 0,00	0,874
			200	8,63 } 8,86 }	8,74	8,74	± 0,00	
XXIV)	1,273 + 14,3	36,9	100	4,71 } 4,63 }	4,67	4,42	+ 0,25	0,885
			200	8,79 } 8,67 }	8,73	8,85	— 0,12	
XXV)	1,275 + 13,8	37,1	60		3,12	2,63	+ 0,49	0,896
			100	....	4,59	4,39	+ 0,20	
			160	....	6,78	7,02	— 0,24	
			200	8,71 } 8,82 }	8,82	8,78	— 0,02	
			60	....	3,03	2,74	+ 0,29	
			90	....	4,11	4,87	— 0,46	
			160	....	7,73	7,31	+ 0,42	
			200	....	9,26	9,14	+ 0,12	
XXVI)	1,277	37,3	изъ 8 наблюдений					0,930
XXVII)	1,348 + 17,9	45,4	60		2,95	2,92	+ 0,03	0,973
			100	....	5,18	4,86	+ 0,32	
			150	....	7,31	7,30	+ 0,01	
			200	....	9,56	9,73	— 0,17	

XXVIII)	1,393 + 14,6	50,5	60		3,44	3,44	+ 0,18	1,086
			100	....	5,54	5,43	+ 0,11	
			150	....	8,28	8,14	+ 0,14	
			200	....	10,65	10,86	— 0,21	
XXIX)	1,441 + 14,2	55,5	600		4,20	3,87	+ 0,33	1,269
			100	....	6,59	6,45	+ 0,14	
			150	....	9,72	9,67	+ 0,05	
			200	....	12,72	12,91	— 0,19	
			60	....	4,29	3,74	+ 0,55	
			100	....	6,43	6,23	+ 0,20	
			150	....	9,15	9,34	— 0,19	
			200	....	12,36	12,47	— 0,11	
XXX)	1,492 + 13,8	60,6	60		5,05	4,65	+ 0,40	1,549
			100	8,06 } 7,78 }	7,92	7,74	+ 0,18	
			150	....	11,77	11,61	+ 0,16	
			200	....	15,17	15,49	— 0,32	
XXXI)	1,575 + 14,8	68,0	40		4,83	4,64	+ 0,19	2,318
			60	....	6,94	6,95	— 0,01	
			80	....	9,11	9,27	— 0,16	
			100	....	11,65	11,59	+ 0,06	
XXXII)	1,638 + 14,3	73,7	изъ 18 наблюдений.					2,786
XXXIII)	1,726 + 16,3	81,2	изъ 16 наблюдений.					4,337
XXXIV)	1,827 + 14,3	92,7	изъ 9 наблюдений.					5,32

Примѣчанія.

1) Въ первыхъ четырехъ растворахъ анодъ состоялъ изъ платины, катодъ изъ цинка; во всѣхъ прочихъ до тридцатаго включительно оба электрода были цинковые; съ рас-

творами XXV и XXIX были произведены двоякаго рода опредѣленія: одни (первыя въ таблицѣ) съ электродами цинковыми, другіе же съ платиновымъ анодомъ.

2) Начиная съ XXIX раствора и во всѣхъ послѣдующихъ — при прохожденіи тока, на катодѣ появлялся осадокъ сѣры.

3) Сѣрная кислота начиная съ XXXII раствора не могла уже быть наливаема въ тотъ сосудъ, въ которомъ были изслѣдованы предшествовавшіе растворы, потому что она весьма сильно дѣйствовала на вещество, посредствомъ котораго были спаяны между собою стѣнки сосуда. Поэтому для изслѣдованія послѣднихъ трехъ растворовъ: XXXII, XXXIII, XXXIV, я наливалъ ихъ въ другой стеклянный сосудъ и опредѣлялъ сопротивленіе ихъ по способу, употребленному для всѣхъ прочихъ растворовъ. Зная изъ предварительныхъ опытовъ отношеніе сопротивленія жидкаго слоя, наполняющаго этотъ сосудъ къ сопротивленію нормальнаго слоя длиною въ 1 дюймъ и 182 кв. линіи поперечнаго разрѣза (¹), я могъ изъ полученныхъ мною чиселъ опредѣлить и соответствующія сопротивленія нормальнаго слоя, приведенныя въ четвертомъ столбцѣ.

(¹) Для этого я опредѣлялъ сопротивленія нѣсколькихъ слабыхъ растворовъ сѣрной кислоты въ прежнемъ и новомъ сосудѣ, и бралъ отношеніе между величинами сопротивленія найденнымъ въ новомъ сосудѣ и найденномъ при длинѣ 20 полулиній въ прежнемъ сосудѣ: очевидно, что для полученія сопротивленій нормальнаго слоя изъ чиселъ, опредѣленныхъ въ новомъ сосудѣ, стоитъ только эти числа раздѣлить на найденное отношеніе.

§ 73. Разсматривая числа первой вертикальной колонны и соотвѣтствующія числа послѣдней, мы можемъ ясно видѣть ходъ, какому слѣдуетъ сопротивленіе сѣрной кислоты при измѣненіи ея концентраціи. Начиная съ самаго слабаго раствора (уд. вѣсъ $= 1,003$) сопротивленіе это съ увеличеніемъ концентраціи уменьшается до концентраціи, которой уд. вѣсъ $= 1,215$, сначала весьма быстро, за тѣмъ медленно и медленно; отъ уд. вѣса $1,215$, при которомъ кислота оказываетъ наибольшую проводимость, сопротивленіе снова увеличивается, сначала медленно до уд. вѣса $1,4$, за тѣмъ съ болѣею, возрастающею, быстротою до раствора, котораго уд. вѣсъ $1,827$. Чтобы лучше обозрѣть эти измѣненія я могъ бы изобразить ихъ графически кривою линіею, которой абсциссы означали бы уд. вѣсъ раствора, а ординаты, соотвѣтствующія сопротивленія; но это же самое можно усмотрѣть и изъ нижеслѣдующей таблицы, въ которой показано на какую часть измѣняется сопротивленіе при измѣненіи уд. вѣса на $0,05$. Такъ наприм. отъ уд. вѣса $1,003$ до $1,053$ сопротивленіе измѣняется (см. предъид. таблицу) на $16,01 - 1,884 = 14,126$ т. е. на $\frac{14,126}{16,01}$ часть сопротивленія раствора уд. вѣса $= 1,003$.

Измѣненія уд. вѣсовъ
растворовъ.

Измѣненія сопротивленія
соотвѣтствующія разности уд. вѣса $= 0,05$.

- | | | |
|--------------------|------------------|---------------------------|
| 1) $1,003 - 1,053$ | умен. на $0,882$ | часть сопрот. при $1,003$ |
| 2) $1,053 - 1,010$ | — $0,415$ | — — — $1,053$ |
| 3) $1,110 - 1,160$ | — $0,173$ | — — — $1,110$ |

4)	1,160 — 1,215	уменьш.	0,117	часть	сопрот.	при	1,160
5)	1,215 — 1,275	увелич.	0,066	—	—	—	1,215
6)	1,275 — 1,348	—	0,059	—	—	—	1,275
7)	1,348 — 1,393	—	0,129	—	—	—	1,348
8)	1,393 — 1,441	—	0,175	—	—	—	1,393
9)	1,441 — 1,492	—	0,217	—	—	—	1,441
10)	1,492 — 1,575	—	0,393	—	—	—	1,492
11)	1,575 — 1,638	—	0,160	—	—	—	1,575
12)	1,638 — 1,726	—	0,313	—	—	—	1,638
13)	1,726 — 1,827	—	0,113	—	—	—	1,726

Съ раствора, котораго уд. вѣсъ $= 1,575$, измѣненія сопротивленія до послѣдняго раствора совершаются, какъ мы видимъ, довольно неправильно, то увеличиваясь, то уменьшаясь въ своей величинѣ. Это обстоятельство произошло, вѣроятно, только отъ неточности самыхъ наблюденій; при всѣхъ этихъ степеняхъ концентраціи на катодѣ освобождается осадокъ сѣры, который, непрерывно измѣняя электроды, препятствуетъ точности опредѣленій. Полагая сопротивленіе какаго нибудь раствора $= r$, уд. вѣсъ его $= \delta$, мы могли бы положить

$$r = a\delta + b\delta^2 + c\delta^3 + \dots \quad (A)$$

гдѣ $a, b, c, \dots$ постоянные коэффициенты, которыхъ величина могла бы быть опредѣлена по методѣ наименьшихъ квадратовъ изъ 34 уравненій вида (A), въ которыхъ r и δ величины извѣстныя изъ таблицы § 72. Слѣдовательно мы могли бы найти эмпирическую формулу, показывающую зависимость между сопротивленіемъ и удѣльнымъ вѣсомъ раствора, или, все равно, мы опредѣлили бы вѣроятнѣй-

шій видъ кривой линіи, показывающей измѣненія сопротивленія съ концентраціею раствора. Однакоже, не полагаясь слишкомъ на точность наблюденій, я считалъ выводъ такой формулы, выводъ, требующій довольно значительнаго времени, излишнимъ, полагая что для практическаго употребленія достаточно уже составленной мною таблицы.

§ 74. Въ § 39 я привелъ величины сопротивленія нѣсколькихъ растворовъ сѣрной кислоты, найденныя Г. Акад. *Ленцомъ*. Такъ какъ эти опредѣленія произведены были *тѣми же* самыми приборами (хотя другимъ способомъ), какъ и предъидущія мои наблюденія, то мы можемъ прямо сравнить числа *Г. Ленца* съ полученными мною для тѣхъ же растворовъ, приведя ихъ только по законамъ *Фехнера* къ сопротивленію слоя одной и той же длины и одного и того же поперечнаго разрѣза. Сопротивленія моей таблицы относятся къ слою, принятому мною за нормальный и имѣющему 1 дюймъ длины и 182 кв. линій поперечн. разрѣза: поэтому и числа *Г. Ленца* приведемъ къ этому же слою.

Уд. вѣсъ раствора.	Сопротивленіе по набл. <i>Г. Ленца</i> .	По моимъ наблюден.
1) 1,015	6,818 } 6,068 } 6,443	5,47
2) 1,030	3,01	3,19
3) 1,037	3,74?	
4) 1,048	.....	2,25
5) 1,050.....	2,084	
6) 1,053.....	.....	1,884
7) 1,055.....	1,904	
8) 1,062.....	.....	1,711
9) 1,064.....	2,045?	

За исключеніемъ третьяго и девятаго растворовъ, сопротивленіе которыхъ опредѣлены *Г. Ленцомъ*, очевидно, ошибочно, и за исключеніемъ перваго, въ наблюденіяхъ котораго встрѣчаются значительныя разности, сопротивленія прочихъ четырехъ растворовъ довольно согласны съ моими опредѣленіями; при этомъ надобно замѣтить, что при четырехъ растворахъ: первомъ (при второмъ наблюденіи), третьемъ, пятомъ и седьмомъ *Г. Ленцъ* употреблялъ оба электрода — платиновые, а потому, вслѣдствіе непрерывной измѣняемости поляризаціи, и не могъ получить точныхъ величинъ для сопротивленія.

§ 75. Сѣрная кислота есть единственная жидкость, которой сопротивленіе изслѣдовано было довольно подробно. Кромѣ немногихъ наблюденій *Г. Ленца*, опредѣленій *Horsford'a* и тѣхъ, которые я представилъ въ § 72, мы имѣемъ еще опредѣленія *Беккера* и *Маттеуччи*. Первый изслѣдовалъ эту жидкость не только при различныхъ степеняхъ ея концентраціи, но и при различныхъ температурахъ. Обширный рядъ его наблюденій, явившійся въ двухъ мемуарахъ въ 1850 году ⁽¹⁾ былъ произведенъ, какъ уже упомянуто мною въ § 70, совершенно такимъ же способомъ, какимъ и я пользовался при своихъ опредѣленіяхъ, а потому и долженъ представлять такія же погрѣшности. Одно преимущество наблюденій *Беккера* передъ моими я полагаю въ томъ, что онъ употреблялъ сѣрную кислоту по возможности (хотя и несовершенно) химически чистую, и что онъ обращалъ вни-

(¹) *Liebig's Annalen der Chemie u. Pharmacie*. Т. 73. стр. 1. Т. 75. стр. 94.

маніе на температуру. Въ первомъ своемъ мемуарѣ *Беккеръ* представляетъ опредѣленія сопротивленія при различныхъ температурахъ раствора сѣрной кислоты уд. вѣса 1,24, при которомъ онъ полагалъ наилучшую ея проводимость и трехъ другихъ жидкостей, 1) азотной кислоты 1,36 уд. вѣса, 2) раствора цинковаго купороса при двухъ различныхъ концентраціяхъ и 3) мѣднаго купороса четырехъ растворовъ. Изъ этого мемуара *Беккера* мы можемъ вывести тѣже результаты, какіе мы получили уже изъ опытовъ *Беккереля*, *моихъ* и *Ганкеля*, а именно: 1) уменьшеніе сопротивленія при возвышеніи температуры не пропорціональное температурѣ, но болѣе быстрое при температурахъ нисшихъ, 2) подтвержденіе мнѣнія *Ганкеля* (см. § 68), что измѣненія сопротивленія жидкостей при одинаковыхъ измѣненіяхъ температуры весьма мало разнятся между собою, и что только въ растворахъ болѣе концентрированныхъ эти измѣненія имѣютъ большую величину. *Беккеръ* для каждой изслѣдованной имъ жидкости вывелъ эмпирическую формулу, показывающую зависимость сопротивленія отъ температуры, вида $r = a + bt + ct^2$, гдѣ r сопротивленіе, t температура, a, b, c постоянныя величины и привелъ всѣ полученныя имъ числа для сопротивленій къ сопротивленію новаго серебра (*Neusilber*), принятому имъ за единицу. Далѣе мы сравнимъ эти числа съ тѣми, которыя получены изъ наблюденій другихъ физиковъ. Во второмъ мемуарѣ *Беккеръ* изслѣдовалъ сопротивленіе при различныхъ температурахъ пяти растворовъ сѣрной кислоты удѣльнаго вѣса I) 1,1; II) 1,2; III) 1,3; IV) 1,4 и V) 1,7 и изъ десяти наблюденій сопротивленія первыхъ четырехъ растворовъ меж-

ду температурами $+ 0^\circ$ и $+ 28^\circ$ могъ вывести десять постоянныхъ величинъ $a, b, c \dots k$ формулы:

$$r = a + bt + ct^2 + dt^3 + (e + ft + gt^2)p + (h + et)p^2 + kp^3,$$

показывающей зависимость сопротивленія r отъ температуры t и концентраціи, или, лучше сказать, содержанія p сѣрной кислоты во 100 частяхъ раствора. Но, очевидно, что такая эмпирическая формула можетъ быть справедливою только для тѣхъ растворовъ, которые заключаются между предѣлами 1,10 и 1,40 уд. вѣса и для температуръ между предѣлами 0 и 28° и что далѣе этихъ предѣловъ она распространена быть не можетъ; однакоже Беккеръ, совершенно неосновательно, распространилъ ее и на всѣ растворы до уд. вѣса 1,70 включительно и изъ нея составилъ таблицу, показывающую сопротивленіе различныхъ растворовъ отъ уд. вѣса 1,10 до уд. вѣса 1,70 чрезъ каждое измѣненіе уд. вѣса на 0,05 и для температуры отъ 0 до 28° чрезъ каждые 2° ⁽¹⁾. Эта таблица показываетъ, во 1-хъ) что наименьшее сопротивленіе принадлежитъ почти при всѣхъ температурахъ раствору сѣрной кислоты, имѣющему уд. вѣсъ $= 1,25$; 2) что измѣненія сопротивленія одного и того же раствора между равными измѣненіями температуры тѣмъ болѣе, чѣмъ температура ниже и въ 3) что сопротивленіе измѣняется при увеличеніи температуры тѣмъ болѣе, чѣмъ растворъ концентрированнѣе. Два эти выводы совершенно согласны съ выводами Ганкеля.

(¹) Впрочемъ и самъ Беккеръ считаетъ числа этой таблицы, начиная отъ уд. вѣса 1,4 до 1,7, только приблизительными. См. Ann. der Chemie u. Pharmacie. T. 75. стр. 98.

§ 76. Сравнимъ теперь величины сопротивленія сѣрной кислоты, полученные *Horsford'омъ* (§ 69) и полученные изъ моихъ опредѣленій (§ 72) съ величинами *Беккера*. Для сравненія наблюдений *Horsford'a*, *Беккеръ* принимаетъ за единицу сопротивленія сопротивленіе раствора имѣющаго плотность $= 1,25$ и выводитъ изъ своей таблицы величины, соотвѣтствующія растворамъ, изслѣдованнымъ *Horsford'омъ* при температурѣ $= + 20^{\circ} C$. Вотъ это сравненіе:

Уд. вѣсъ раствора.	Сопротивленіе.	
	<i>Horsford.</i>	<i>Bekker.</i>
1,10	1,35	1,52
1,15	1,21	1,31
1,20	1,00	1,09
1,25	1,00	1,00
1,30	1,00	1,08
1,40	1,47	1,86

Числа *Беккера* постоянно больше чиселъ *Horsford'a*, что могло произойти и отъ разности въ чистотѣ употребленныхъ растворовъ, отъ измѣненій температуры, на которыя *Horsford* не обращалъ большаго вниманія, а главное, по моему мнѣнію, отъ того способа, который былъ употребленъ *Becker'омъ* для опредѣленія сопротивленій и который, какъ мы уже сказали въ § 45, всегда долженъ давать величины сопротивленія бóльшія истинныхъ.

§ 77. Для сравненія измѣненій сопротивленія, выведенныхъ мною, съ опредѣленными *Becker'омъ*, я возьму изъ мо-

ихъ наблюденій сопротивленія одиннадцати растворовъ, принимая за единицу сопротивленіе раствора, имѣющаго уд. вѣсъ $\equiv 1,110$ и выведу (посредствомъ интерполяціи) соотвѣтствующія величины сопротивленія изъ таблицы Беккера, принимая также во вниманіе и наблюденную мною температуру растворовъ.

Уд. вѣсъ раствора и темпер.		Сопротивленіе.	
		Изъ моихъ опред.	Изъ табл. Беккера.
1)	1,110 12,7	1,00	1,00
2)	1,147 13,6	0,83	0,87
3)	1,215 12,3	0,72	0,87
4)	1,252 13,5	0,76	0,88
5)	1,345 17,9	0,84	0,84
6)	1,393 14,9	0,94	1,14
7)	1,441 14,2	1,10	1,51
8)	1,492 13,8	1,34	1,94
9)	1,575 14,8	2,01	2,86
10)	1,638 14,3	2,42	3,91
11)	1,726 16,3	3,59	5,43

Изъ этой таблицы мы видимъ, что сопротивленія первыхъ шести растворовъ, выведенныя изъ моихъ наблюденій, довольно согласны съ числами Беккера, хотя вообще эти послѣднія числа болѣе моихъ (также и болѣе Horsford'овыхъ);

для остальных же пяти растворовъ числа довольно значительно расходятся между собою, и именно числа *Беккера* показываютъ болѣе быстрое увеличеніе сопротивленія при увеличиваніи концентрации. Главною причиною такого большаго несогласія, по моему мнѣнію, есть то обстоятельство, что числа *Беккера* для послѣднихъ пяти растворовъ получены не изъ наблюденій, но изъ формулы, которая не могла быть распространена на эти растворы (мои же опредѣленія получены прямо изъ наблюденій); причинами же второстепенными, произведшими такія большія разности, могли быть во 1-хъ) неодинаковость состава употребленныхъ растворовъ: *Беккеръ* употреблялъ сѣрную кислоту по возможности химически чистую, мои же растворы состояли изъ обыкновенной продажной кислоты, растворенной не въ дистиллированной, а рѣчной водѣ; во 2-хъ) разность въ силахъ употребленнаго тока, отчего погрѣшности въ сопротивленіи $\frac{+\delta p}{F' - F}$ (см. § 45) въ нашихъ наблюденіяхъ могли быть различны и наконецъ въ 3-хъ) въ непостоянствѣ поляризації, которое имѣло мѣсто какъ при моихъ опытахъ, такъ и при опытахъ *Беккера*, и котораго избѣжать было невозможно.

§ 78. *Маттеуччи* также изслѣдовалъ сопротивленіе сѣрной кислоты при различныхъ степеняхъ концентрации, однакоже не обнародовалъ вполнѣ своихъ изслѣдованій. Въ краткомъ извлеченіи изъ его мемуара, напечатанномъ въ *l'Institut* N° 835, 1850 года, не описано въ подробности ни способа, какой былъ употребленъ этимъ ученымъ для опредѣ-

ленія сопротивленій, не упомянуто и о томъ, при какой температурѣ изслѣдованы были растворы кислоты и какого рода кислота была употреблена: обыкновенная продажная или химически чистая; поэтому мы и не можемъ судить о точности опредѣленій произведенныхъ *Маттеуччи*. Въ помянутомъ нами извлеченіи сказано *только*, что способъ, употребленный при этихъ изслѣдованіяхъ, былъ тотъ же самый, которымъ этотъ ученый пользовался въ прежнихъ своихъ трудахъ надъ проводимостію жидкостей ⁽¹⁾ и который состоитъ въ томъ, что токъ раздѣляется между двумя вольтметрами, наполненными тѣми жидкостями, которыхъ сопротивленіе сравнивается между собою. Вѣроятно, *Маттеуччи* для сравненія сопротивленія двухъ жидкостей, между которыми токъ раздѣлялся и которыя составляли, слѣдовательно, параллельныя соединенія, бралъ отношеніе между силами тока въ этихъ жидкостяхъ, опредѣляя эти силы по количеству гасовъ освобожденныхъ изъ жидкостей въ продолженіе опредѣленнаго времени. Называя чрезъ l' и l'' сопротивленія сравниваемыхъ

(1) Въ 1845 году *Маттеуччи* напечаталъ въ *Annales de Chimie et de Physique*. T. XV. стр. 408 записку о проводимости жидкостей, въ которой онъ разсматривалъ вліяніе на нея химическаго состава и сравнивалъ проводимости тѣлъ въ расплавленномъ состояніи и въ растворѣ въ водѣ. О результатахъ, представленныхъ *Маттеуччи* въ этой запискѣ, мы будемъ говорить далѣе. Способъ, употребленный при этихъ изслѣдованіяхъ, не можетъ не только опредѣлить отношеніе величинъ сопротивленія двухъ жидкостей, но даже не можетъ показать которая изъ двухъ разсматриваемыхъ жидкостей проводить лучше или хуже. Этотъ способъ состоитъ въ слѣдующемъ: токъ отъ баттарей пропускается чрезъ вольтметръ и за тѣмъ раздѣляется на двѣ части между подобнымъ же вольтметромъ

жидкостей, чрезъ p' , p'' поляризацію и чрезъ F' и F'' силы проходящихъ чрезъ нихъ токовъ, мы получимъ по формуламъ (1) и (2) § 60:

$$F' = \frac{(A - p') l'' + (p'' - p') L}{R}$$

$$F'' = \frac{(A - p'') l' + (p' - p'') L}{R}$$

изъ которыхъ получимъ, полагая $p' = p''$

$$F' = \frac{(A - p') l''}{R} \quad \text{и}$$

$$F'' = \frac{(A - p'') l'}{R}$$

и слѣдоват. $\frac{F'}{F''} = \frac{l''}{l'}$ т. е. что въ этомъ случаѣ силы тока

въ параллельныхъ проводникахъ обратно пропорціональны сопротивленіямъ проводниковъ или прямо пропорціональны проводимостямъ. Но какъ условіе $p' = p''$ не можетъ быть въ строгости выполнено и какъ притомъ поляризація зависитъ отъ самой силы тока F' и F'' , то очевидно, что такой способъ опредѣленія сопротивленія или проводимости есть не болѣе, какъ способъ приблизительный.

§ 79. Результаты, полученные *Маттеуччи*, можно видѣть изъ слѣдующей таблицы, въ которой за единицу со-

и изслѣдуемою жидкостію. Сопротивленіе этой жидкости *Маттеуччи* измѣряетъ силою тока, проходящаго черезъ послѣдній вольтметръ, въ то время какъ сила тока въ нераздѣленной цѣпи остается постоянною. Неосновательность такого измѣренія очень просто можно видѣть изъ сравненія формулъ (1) и (2) § 60.

противленія принято мною сопротивленіе раствора сѣрной кислоты уд. вѣса $= 1,030$ (*Маттеуччи* представляет величины проводимостей, принимая за единицу проводимость раствора уд. вѣса 1,259) и въ которой также для сравненія я помѣстилъ опредѣленные мною сопротивленія растворовъ, близкихъ по удѣльному вѣсу къ растворамъ *Маттеуччи*, при чемъ принята также единица сопротивленія.

Уд. вѣсъ растворовъ.	Сопротивленія най- денныя	
	<i>Маттеуччи</i>	<i>Мною.</i>
1,030	1,000	1,000
1,062	—	0,536
1,066	0,441	—
1,080	—	0,429
1,100	0,393	—
1,110	—	0,331
1,143	0,322	—
1,147	—	0,301
1,252	—	0,274
1,259	0,301	—
1,340	0,317	—
1,348	—	0,305
1,384	0,354	—
1,393	—	0,340
1,482	0,484	—
1,492	—	0,485
1,638	—	0,873
1,667	0,875	—

Опредѣленія *Маттеуччи* показываютъ, какъ видно изъ этой таблицы, ходъ измѣненія сопротивленія съ измѣненіемъ

концентраціи довольно согласный съ выводимымъ изъ моихъ наблюдений; только при высшихъ степеняхъ концентраціи, начиная отъ раствора уд. вѣса 1,259, измѣненія по *Маттеуччи* происходятъ нѣсколько быстрее. Наименьшее сопротивление, по *Маттеуччи*, принадлежитъ раствору, котораго уд. вѣсъ заключается между 1,143 и 1,259; впрочемъ такъ какъ *Маттеуччи* также нашелъ, что сопротивление раствора уд. вѣса 1,192 равно сопротивленію раствора уд. вѣса 1,259, то слѣдоват. наилучшая проводимость принадлежитъ сѣрной кислотѣ, которой удѣльный вѣсъ заключается между предѣлами 1,192 и 1,259, что совершенно согласно съ опредѣленіями *Horsford'a*, моими и *Беккера*.

§ 80. *Маттеуччи* нашелъ также ⁽¹⁾, что въ азотной и соляной кислотахъ, подобно какъ въ сѣрной, сопротивление имѣетъ наименьшую величину не при степени насыщенія, но при опредѣленной концентраціи. Впрочемъ всѣ выводы *Маттеуччи* какъ относительно этихъ, такъ равно и нѣкоторыхъ другихъ кислотъ, требуютъ еще подтвержденія; пока не обнародованы подробности его наблюдений и самый способъ, какимъ опредѣляемо было сопротивление, до тѣхъ поръ мы не можемъ имѣть къ нимъ большаго довѣрія.

§ 81. И такъ, всѣ приведенныя нами изслѣдованія сѣрной кислоты показываютъ довольно согласный между собою ходъ измѣненій ея сопротивленія при измѣненіи концентраціи; по крайней мѣрѣ разности между результатами отдѣльныхъ изслѣдованій мы не найдемъ весьма значитель-

(1) L'Institut, N° 835, годъ 1850.

ными, если только обратимъ вниманіе на разность въ составѣ, чистотѣ употребленныхъ растворовъ, на погрѣшности, происходящія отъ самыхъ способовъ наблюденій и отъ измѣненій поляризаціи. Но если мы отнесемъ найденныя различными наблюдателями величины сопротивленій для сѣрной кислоты и другихъ жидкостей къ сопротивленію какаго нибудь металла, принятому за единицу, то замѣтимъ большее между ними несогласіе. Приведенныя нами въ § 69 числа *Horsford'a* выражены въ единицѣ сопротивленія чистаго серебра; сопротивленія, найденныя *Беккеромъ* для нѣкоторыхъ жидкостей, могутъ быть также отнесены къ этой единицѣ ⁽¹⁾. Сопротивленія, опредѣленные *Г. Ленцомъ* и найденныя мною, выражены въ оборотахъ одного и того же агометра (см. § 39) и могутъ быть отнесены къ сопротивленію мѣди, а слѣдовательно и къ серебру. Сравнимъ прежде числа *Беккера* и *Horsford'a*. По опредѣленію перваго, сопротивленіе сѣрной кислоты уд. вѣса 1,24 относительно новаго серебра = 61.430, а слѣдовательно, относительно чистаго серебра = 761.793, а по *Horsford'u* это сопротивленіе = 696.700. Сопротивленіе раствора мѣднаго купороса, содержащаго во 100 куб. цент. 20,83% CuO.SO_3 при температурѣ $+20^\circ$, по *Беккеру* = 14.810.514

(¹) *Беккеръ* особенными наблюденіями опредѣлилъ сопротивленіе извѣстнаго (по длинѣ и діаметру) слоя сѣрной кислоты уд. вѣса 1,25 въ отношеніи къ оборотамъ проволоки своего агометра, которыхъ длина и діаметръ были извѣстны, слѣдсват. могъ выразить сопротивленія въ отношеніи къ новому серебру (*Neusilber*), изъ котораго состояла проволока агометра, а сопротивленіе этого металла найдено было = 12,401 сопот. серебра химически чистаго. См. *Liebig's Ann. der Ch. u. Pharm.* T. 73. стр. 21.

а по *Horsford'y* = 12.058.000; *Беккерель* (см. § 62) для насыщенного раствора получилъ сопротивленіе = 18.450.000.

Сопротивленіе азотной кислоты уд. вѣса 1,36 найдено *Беккеромъ* = 761.793, а *Эд. Беккерель* опредѣлилъ для него величину = 1.606.000.

Всѣ эти разногласія въ числахъ мы легко можемъ объяснить тѣмъ, во 1-хъ) что жидкости, употребленныя различными наблюдателями, не были совершенно однородны по составу и не имѣли одинаковой температуры, а во 2-хъ) самый металлъ, къ которому отнесены сопротивленія — чистое серебро — если бы даже былъ химически совершенно чистый, не содержа нисколько постороннихъ примѣсей, могъ имѣть различныя физическія свойства и слѣдоват. неодинаковую проводимость. Намъ извѣстно, что одинъ и тотъ же металлъ измѣняетъ свое сопротивленіе при измѣненіи физическихъ свойствъ своихъ, напримѣръ при накаливаніи, при скручиваніи, вытягиваніи и другихъ обстоятельствахъ.

§ 82. Принимая въ соображеніе всѣ изложенныя нами причины несогласія, могущаго быть въ опредѣленіяхъ сопротивленія жидкостей относительно металловъ, при всемъ томъ я не могу объяснить ими ту значительную разность, какую мы находимъ между опредѣленіями *Г. Ленца*, опредѣленіями произведенными мною (согласными съ наблюденіями *Г. Ленца*) и числами, полученными всѣми другими наблюдателями. Чтобы привести величины сопротивленія *Г. Ленца* и мои (выраженныя въ оборотахъ агометра) къ сопротивленію мѣди, мы, естественно, должны привести ихъ къ одной длинѣ и къ одному поперечному разрѣзу съ тою мѣдною

проволокою. относительно которой определено сопротивление одного оборота агометра. Для чиселъ *Г. Ленца* я уже сдѣлалъ это приведеніе въ § 39. Для приведенія сопротивленій сѣрной кислоты, найденныхъ мною и показанныхъ въ таблицѣ § 72. къ сопротивленію той же самой проволоки или другими словами для опредѣленія отношенія сопротивленія жидкости d' къ сопротивленію мѣдной проволоки λ имѣющей равную съ ней длину и равный поперечный разрѣзъ, —

мы должны, по формулѣ $\frac{d'}{\lambda} = \frac{d \cdot k \cdot Q}{n \cdot Q'}$ (см. § 39) числа d

найденныя мною для сопротивленія нормального слоя и приведенныя въ четвертомъ столбцѣ означенной таблицы, умно-

жить на факторъ $= \frac{k \cdot Q}{n \cdot Q'}$, гдѣ $k = 762''',96$ (смотри § 39)

$Q = 182''',0$ $Q' = 0''',0886$; $n = 10''',0$ (см. § 72). Сдѣлавъ вычисленіе такимъ образомъ, я получаю для раствора сѣрной кислоты имѣющаго, по моимъ наблюденіямъ, наилучшую проводимость, величину $= 130.082$, а для кислоты уд. вѣса $= 1,252$ величину $= 136.978$. Сопротивленіе мѣди относительно чистаго серебра при $+15,0 R$, по опытамъ *Г. Ленца* $= 1,34959$ ⁽¹⁾; слѣдов., чтобы отнести приведенныя мною числа къ сопротивленію чистаго серебра, надлежитъ умножить ихъ на 1,34959 и мы получимъ:

для раствора (уд. вѣса $= 1,215$) сопротивление $= 175.558$
 — — (уд. вѣса $= 1,252$) — $= 184.862$

Изъ опредѣленій же *Horsford'a* и *Becker'a*, какъ мы видѣли въ предъидущемъ §, сѣрная кислота уд. вѣса 1,25

(¹) См. Mémoires de l'Acad. des Sc. de St. Pétersbourg. III série. Sc. math. et phys. T. II. стр. 631.

имѣетъ сопротивленіе $= 700.000$, слѣдоват. почти въ 4 раза болѣе сопротивленія найденнаго мною!!

Также для сопротивленія насыщеннаго раствора мѣднаго купороса, Г. Ленцъ получилъ величину (см. § 39) $=$ почти 2.000.000 относительно мѣди или около 3.000.000 относительно чистаго серебра, тогда какъ *Horsford* получилъ для раствора не совершенно насыщеннаго число $= 14.000.000$.

Для азотной кислоты уд. вѣса $= 1,025$ Г. Ленцъ опредѣлилъ сопротивленіе $= 360.000$ относительно мѣди или около 486.000 относительно серебра, тогда какъ *Беккерель* для азотной кислоты большей крѣпости, слѣдоват. имѣвшей меньшее сопротивленіе, получилъ величину $= 760.000$. Изъ нѣсколькихъ опредѣленій сопротивленія азотной кислоты, произведенныхъ мною совершенно по тому же способу, въ томъ же сосудѣ и съ тѣми же самыми приборами, какими были произведены наблюденія надъ сѣрною кислотою, найдена мною для сопротивленія нормальнаго слоя раствора азотной кислоты уд. вѣса $= 1,015$ при температурѣ $+ 12^{\circ},6$ величина $= 2,59$, а для азотной кислоты уд. вѣса 1,045 при $+ 12^{\circ},3$ величина $= 1,63$ (въ оборотахъ агометра); слѣдоват. сопротивленіе относительно серебра для перваго раствора (1,015) будетъ $= 547.820$, а для втораго раствора (1,045) будетъ $= 344.774$. Число $= 460.000$ полученное Г. Ленцомъ для азотной кислоты (уд. вѣса 1,025), заключается, какъ и должно быть (потому что сопротивленіе увеличивается съ концентраціею) между числами, найденными мною.

Вообще, опредѣленія Г. Ленца довольно согласны съ моими, но весьма значительно разнятся отъ опредѣленій всѣхъ другихъ

наблюдателей: всѣ величины сопротивленія найденныя изъ наблюдений *Г. Ленца* и изъ моихъ почти постоянно въ 4 раза меньше величинъ опредѣленныхъ другими. Это большое несогласіе я не могу приписать тѣмъ обстоятельствамъ, о которыхъ мы говорили въ концѣ § 81, не могу приписать различію въ составѣ употребленныхъ жидкостей и мѣдной проволоки; но по необходимости я долженъ принять, что оно произошло отъ постоянной ошибки при сравненіи сопротивленія одного оборота агометра съ сопротивленіемъ мѣдной проволоки. Формула $\frac{d'}{\lambda} = \frac{d \cdot Q \cdot k}{n \cdot Q'}$ показываетъ, что ошибка можетъ лежать въ величинѣ k или Q' ; для того, чтобы $\frac{d'}{\lambda}$ была въ 4 раза меньше истинной величины, достаточно, чтобы величина Q' — поперечнаго разрѣза мѣдной проволоки — была въ 4 раза болѣе истинной или (какъ $Q' = \pi r^2$) достаточно, чтобы для радіуса проволоки взята была величина въ 2 раза большая истинной, т. е. чтобы діаметръ проволоки былъ принятъ за радіусъ. Дѣйствительно ли въ этомъ заключается погрѣшность — мы можемъ рѣшить только повѣркою величины Q' .

Впрочемъ я долженъ замѣтить, что отъ такой постоянной погрѣшности самыя наблюденія, произведенныя мною, нисколько не теряютъ своей цѣны; они всегда даютъ близкую къ истинной величину сопротивленія жидкостей относительно сопротивленія какого нибудь опредѣленнаго раствора (напр. сѣрной кислоты уд. вѣса 1,215), и чтобъ получить изъ нихъ сопротивленія относительно какого нибудь металла,

стоитъ только опредѣлить относительно этаго металла величину сопротивленія того раствора, который былъ принятъ нами единицею для сравненія сопротивленій.

§ 83. Изложивъ въ предъидущемъ результаты всѣхъ произведенныхъ по настоящее время изслѣдованій надъ величинами сопротивленія различныхъ жидкостей, я бы долженъ былъ указать теперь, къ какимъ общимъ слѣдствіямъ привели насъ эти изслѣдованія и какую важность представляютъ они для теоріи гальванизма вообще. Но прежде, чѣмъ я представлю общій обзоръ *всего*, сдѣланнаго по настоящее время относительно сопротивленія жидкостей, я долженъ еще упомянуть объ одномъ явленіи, которое сопровождается прохожденіе тока чрезъ жидкость, и которое до сихъ поръ мы еще не разсматривали. Мы принимали, что при прохожденіи тока чрезъ жидкость происходитъ вмѣстѣ и химическое разложеніе жидкости, при чемъ элементы ея отдѣляются на электродахъ. Спрашивается: *всегда ли* прохожденіе тока чрезъ жидкость сопровождается ея разложеніемъ или токъ можетъ иногда проходить чрезъ жидкость, не разлагая ее; другими словами: въ какой связи состоитъ проводимость жидкостей съ ихъ разложеніемъ отъ дѣйствія тока и не обусловливается ли способность проводить токъ въ жидкостяхъ способностію ихъ разлагаться? Большая часть физиковъ согласны, кажется, въ томъ, что проводимость жидкостей тѣсно связана съ ихъ разложеніемъ, что токъ потому только проходитъ чрезъ жидкость, что онъ разлагаетъ ее и что слѣдоват. безъ разложенія не можетъ быть и проводимости въ жидкостяхъ — въ чемъ и полагаютъ различіе ихъ отъ твердыхъ тѣлъ. Одна-

коже нѣкоторые физики не принимаютъ этого различія и полагаютъ, что слабые токи могутъ проходить чрезъ жидкость, не разлагая ее, совершенно подобно тому, какъ токи вообще (сильные или слабые) проходятъ чрезъ тѣла твердыя. Въ нижеслѣдующемъ я постараюсь изложить всѣ доводы, которые можно привести въ пользу того и другаго мнѣнія и показать бѣольшую степень вѣроятности, какую въ настоящемъ состояніи нашихъ познаній имѣетъ на своей сторонѣ первое мнѣніе.

§ 84. Еще въ началѣ нынѣшняго столѣтія, въ 1802 году, Эрманъ ⁽¹⁾ показалъ, что самый тонкій слой льда, вставленный въ гальваническую цѣпь уничтожаетъ токъ совершенно, и что слѣдоват. ледъ или вода въ твердомъ состояніи принадлежить къ числу непроводниковъ тока. Затѣмъ знаменитый Деви ⁽²⁾, въ рукахъ котораго гальванизмъ оказалъ неоцѣненныя пособія химіи, нашелъ, что свойство терять проводимость при переходѣ изъ жидкаго состоянія въ твердое, принадлежить не одной только водѣ, но также и нѣкоторымъ другимъ тѣламъ, напримѣръ селитрѣ, ѣдкому кали и ѣдкому натру, которые въ обыкновенномъ твердомъ состояніи не проводятъ токъ, но, будучи расплавлены посредствомъ теплоты, тотчасъ же дѣлаются проводниками. Впослѣдствіи, почти черезъ тридцать лѣтъ, въ 1833 году знаменитому Фаредѣ удалось еще болѣе изслѣдовать вліянія агрегатнаго состоянія тѣлъ на ихъ проводимость ⁽³⁾. Въ че-

⁽¹⁾ *Gilb. Ann.* T. XI. стр. 165.

⁽²⁾ *Repertorium der Physik*, von *Dove*; T. I. стр. 203.

⁽³⁾ *Experim. Researches*. IV Série. *Pogg. Ann.* T. 31.

твердомъ ряду своихъ »Experimental Researches« онъ показъ, что всѣ тѣла, которыхъ составъ такого рода, что они могутъ быть разлагаемы гальванизмомъ т. е. всѣ тѣла электролитныя, дѣйствительно разлагаются токомъ, какъ скоро только они переходятъ въ жидкое состояніе и при этомъ тотчасъ же пріобрѣтаютъ способность проводимости, которой они въ твердомъ состояніи не оказываютъ. Такимъ образомъ, по изслѣдованіямъ *Фареде* нижеслѣдующія тѣла дѣлаются проводниками тока и вмѣстѣ съ тѣмъ разлагаются, при переходѣ своемъ изъ состоянія твердаго въ жидкое:

Изъ окисловъ: ледъ, кали, окись свинца, закись сурьмы (oxydul) и окись висмута.

Изъ хлористыхъ соединеній: потассій, натрій, барій, стронцій, магнезій, цинкъ, свинецъ, ртуть и проч.

Изъ іодистыхъ соединеній: потассій, цинкъ, свинецъ, ртуть.

Изъ сѣрнистыхъ металловъ: сѣрнистая сурьма, сѣрнистый потассій.

Изъ солей: хлорокислое кали, азотнокислая: кали, натръ, баритъ, стронціанъ, окись мѣди, окись серебра и нѣкот. друг.; также флористый, синеродистый и сѣрнистый потассій. Но есть много и такихъ тѣлъ, которыя, будучи приведены въ жидкое состояніе, не получаютъ способности проводить токъ и не разлагаются. Къ такимъ тѣламъ между прочимъ, принадлежатъ всѣ тѣла, почитаемыя простыми: сѣра, фосфоръ, также (по опытамъ *Солли* ⁽¹⁾), жидкій хлоръ, бромъ и іодъ; также іодистая сѣра, борная кислота, кофеинъ, сахаръ, смолы и пр.

(¹) *Pogg. Ann. Bd. 37. стр. 420.*

Одно исключеніе изъ общаго закона *Фареде* представляла, по видимому, іодистая ртуть ($Hg\ I$), которая въ расплавленномъ состояніи слабо проводила токъ, но не разлагалась; однакоже *Фареде* объясняетъ это исключеніе тѣмъ, что это соединеніе содержало небольшое количество $Hg_2\ I$ и что проводимость тока сопровождалась разложеніемъ этой $Hg_2\ I$, которое не было замѣтно, потому что на анодѣ побочнымъ процессомъ обазовалась $Hg\ I$, а ртуть, отдѣлявшаяся на катодѣ, также второстепеннымъ процессомъ превращалась въ $Hg_2\ I$.

§ 85. И такъ проводимость жидкостей, по этимъ наблюденіямъ *Фареде*, тѣсно связана съ разложеніемъ ихъ и слѣдоват. мы можемъ заключить, что всѣ тѣ обстоятельства, которыя препятствуютъ разложенію, должны также ослаблять и проводимость, и, обратно, всѣ обстоятельства, облегчающія разложеніе, должны увеличивать и проводимость. Принявъ это, мы уже легко объяснимъ зависимость проводимости жидкостей отъ температуры: съ увеличеніемъ температуры, частицы жидкости дѣлаются удобоподвижнѣе, сѣченіе и сила сродства между составляющими ихъ элементами, уменьшаются, а слѣдов. разложеніе можетъ происходить съ большею легкостію, а потому и проводимость увеличивается. Этимъ мы также объяснимъ и увеличеніе проводимости растворовъ солей съ концентраціею. Всѣ тѣла — проводники, — въ расплавленномъ состояніи, проводятъ токъ, какъ показали опыты, гораздо лучше, нежели чистая вода въ жидкомъ состояніи; но эти же самыя тѣла могутъ быть приведены въ жидкое состояніе и не посредствомъ теплоты, а посредствомъ

растворенія ихъ въ водѣ, которой они при этомъ и сообщаютъ большую проводимость. Проводимость такихъ растворовъ должна, очевидно, увеличиваться, по мѣрѣ того, какъ къ раствору прибавляется большее и большее количество твердаго вещества и слѣдоват. наилучшая проводимость должна быть въ растворѣ наибольшей концентраціи, въ растворѣ насыщенномъ. Однакоже мы уже видѣли, что нѣкоторыя тѣла представляютъ изъ этого исключеніе, оказывая наилучшую проводимость не въ насыщенномъ растворѣ, но въ растворѣ извѣстной степени концентраціи. Это видимое исключеніе изъ положенія, приведеннаго мною въ началѣ этого §, объясняется очень просто и, напротивъ, служить къ большому подтвержденію его. Проводимость жидкостей, какъ мы сказали, должна увеличиваться вмѣстѣ съ удобоподвижностію частицъ ихъ; если жидкое тѣло представляетъ массу не совершенно жидкую, но массу вязкую подобно сиропу, то проводимость ея должна быть или совершенно ничтожна, или весьма незначительна. Это подтверждаетъ слѣдующій опытъ, произведенный *Фареде* ⁽¹⁾: борнокислая окись свинца, будучи нагрѣваема, дѣлается массою жидкою въ видѣ сиропа, но при этомъ все еще не проводитъ тока; проводимость ея обнаруживается только при дальнѣйшемъ нагрѣваніи, когда масса дѣлается менѣе вязка; въ совершенно жидкомъ состояніи соль эта оказываетъ проводимость весьма большую. Всѣ тѣла, извѣстныя намъ доселѣ и представляющія упомянутое исключеніе т. е. всѣ тѣла *второго* класса по раздѣленію

(¹) *Pogg. Ann.* Т. 31. стр. 232.

Беккереля (см. § 61) въ насыщенныхъ растворахъ своихъ, представляютъ массу не совершенно жидкую, но массу, которой взаимное сцѣпленіе частицъ весьма велико и слѣдов. и удобоподвижность весьма мала. По мѣрѣ прибавленія воды въ насыщенные растворы такихъ тѣлъ, проводимость должна уменьшаться, потому что вода хуже проводитъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ отъ прибавленія воды увеличивается и удобоподвижность частицъ, сцѣпленіе уменьшается, масса дѣлается болѣе жидкою, отчего разложеніе облегчается, а слѣдов. проводимость должна увеличиваться. Это увеличеніе проводимости, происходящее отъ уменьшенія сцѣпленія, сначала гораздо болѣе того уменьшенія, которое производится въ ней большимъ сопротивленіемъ прибавленныхъ частицъ воды. Но по мѣрѣ большаго прибавленія воды къ раствору, отношеніе увеличенія и уменьшенія проводимости приближается болѣе и болѣе къ единицѣ; слѣдов. до извѣстной степени концентраціи проводимость все будетъ увеличиваться; наконецъ, при этой степени, уменьшеніе проводимости, производимое большимъ сопротивленіемъ частицъ воды, сдѣлается равнымъ увеличенію ея, происходящему отъ увеличенія въ удобоподвижности частицъ раствора и такой растворъ будетъ имѣть *maximum* проводимости. При дальнѣйшемъ прибавленіи воды (уменьшеніи концентраціи) проводимость, очевидно, будетъ уже уменьшаться.

§ 86. Изъ опытовъ *Фареде* (§ 84), казалось бы, должно было заключить, что твердое состояніе электролитовъ представляетъ току непреодолимое препятствіе, что сцѣпленіе частицъ ихъ оказываетъ безконечно большое сопротив-

леніе и поэтому тѣла эти суть совершенные не проводники. Однакоже, такое заключеніе было бы ложно: въ самомъ дѣлѣ, въ природѣ нѣтъ тѣлъ — совершенныхъ, абсолютныхъ не проводниковъ, равно какъ и нѣтъ тѣлъ, которыя бы вовсе не представляли никакого сопротивленія. Раздѣленіе тѣлъ на два класса: на *проводники* и *непроводники* есть раздѣленіе относительное, относительно тѣхъ средствъ, какія мы имѣемъ для увеличенія силы тока и для узнаванія его присутствія. Мы называемъ тѣло проводникомъ, если оно пропускаетъ чрезъ себя токъ т. е. если въ гальванической цѣпи, въ которую вставлено тѣло, обнаруживается присутствіе тока изъ какихъ либо его дѣйствій. Самое легкое средство узнать присутствіе тока мы имѣемъ въ дѣйствіи его на магнитную стрѣлку. Стоитъ только вмѣстѣ съ изслѣдуемымъ тѣломъ вставить въ цѣпь и гальванометръ: если стрѣлка гальванометра отклоняется, то данное тѣло есть проводникъ, а если отклоненіе незамѣтно, то мы причисляемъ тѣло къ непроводникамъ. Но здѣсь, очевидно, большее или меньшее отклоненіе стрѣлки зависитъ отъ чувствительности гальванометра: болѣе чувствительный приборъ можетъ обнаружить присутствіе тока тамъ, гдѣ первый гальванометръ не могъ открыть его и слѣдоват. тоже самое тѣло — прежній не проводникъ — мы будемъ считать уже проводникомъ. Но кромѣ того и отъ самыхъ средствъ, какія мы имѣемъ для произведенія тока, самаго устройства баттарей, зависитъ причисленіе даннаго тѣла къ проводникамъ или непроводникамъ. Положимъ, на-примѣръ, что мы имѣемъ одинъ элементъ *Даніелла*; если

пропустимъ отъ него токъ чрезъ человѣческое тѣло, то мы не замѣтимъ вовсе присутствія тока даже и на весьма чувствительномъ гальванометрѣ. И въ самомъ дѣлѣ: сила тока, при пропусканіи его чрезъ одинъ только гальванометръ, есть $F = \frac{A}{L}$, гдѣ L сопротивленіе элемента вмѣстѣ съ гальванометромъ; при вставленіи человѣческаго тѣла (котораго сопротивленіе назовемъ чрезъ M) въ цѣпь эта сила уменьшится и сдѣлается $F' = \frac{A}{L + M}$ или просто $F' = \frac{A}{M}$, потому что

L есть величина ничтожная сравнительно съ M (M можетъ быть въ 10.000.000 разъ болѣе L); эта сила F' такъ мала, что не можетъ быть замѣчена нашими средствами, но мы можемъ увеличить ее, увеличивая число элементовъ *Даниеля* и при n элементахъ можемъ дойти до такой силы $F^{(n)} = \frac{nA}{M}$, которая на гальванометрѣ или на другомъ приборѣ можетъ уже обнаружиться. Изъ этого видно, что всѣ тѣла, которыя, будучи вставлены въ цѣпь, ослабляютъ токъ до такой величины, которая нашими средствами открыта быть не можетъ, мы считаемъ не проводниками; и что при усиленіи тока увеличеніемъ числа паръ баттарей до безконечности, вѣроятно, всѣ тѣла оказались бы проводниками. Такимъ образомъ поэтому нельзя принимать, что ледъ и другіе электролиты въ твердомъ состояніи суть совершенные непроводники; но надобно принимать, что они только при нашихъ обыкновенныхъ средствахъ производить токъ и узнавать его присутствіе, не обнаруживаютъ проводимости, а что при болѣе

значительныхъ средствахъ они, можетъ быть и окажутся проводниками. И въ самомъ дѣлѣ, *Фареде* удалось ⁽¹⁾ посредствомъ батареи во 150 паръ пропустить токъ чрезъ слой воздуха толщиною въ 0'',4, также и чрезъ пластинку льда толщиною въ 0'',25 и въ 7 квадр. дюймовъ поверхности, также и чрезъ сухой іодистый потассій, который при этомъ и разлагался. Слѣдовательно спѣвление частицъ твердаго тѣла не представляетъ току безконечно-большое сопротивленіе, но при извѣстной, для каждаго вещества различной, силѣ своей, токъ въ состояніи преодолѣть это препятствіе.

§ 87. Законъ, найденный *Фареде* (§ 84), хотя и показываетъ, что въ электролитахъ прохожденіе тока всегда сопровождается химическимъ разложеніемъ, однакоже *Фареде*, а за нимъ и нѣкоторые другіе физики, не принимаютъ необходимой связи между этими двумя процессами, полагая, что *слабые* токи могутъ проходить чрезъ жидкость и не разлагая ее и что слѣдоват. проводимость жидкостей при слабыхъ токахъ нисколько не отличается отъ проводимости тѣлъ твердыхъ. Оба рода тѣлъ, по мнѣнію *Фареде*, отличаются другъ отъ друга только по силѣ тока, какая необходима для ихъ разложенія, или по наибольшей силѣ тока, какую они могутъ пропускать чрезъ себя, не разлагаясь. Для металловъ, если они суть тѣла химически сложные, силы тока употребляемыя нами слишкомъ слабы для того, чтобы разложить ихъ на составныя части. *Фареде* въ под-

(1) *Pogg. Ann.* Т. 31. стр. 238.

твержденіе своего мнѣнія, приводитъ слѣдующіе опыты ⁽¹⁾: онъ пропускалъ токъ отъ одного элемента цинка и платины (погруженныхъ въ слабую сѣрную кислоту) посредствомъ платиновыхъ электродовъ чрезъ сосудъ, наполненный тою же жидкостію и вмѣстѣ съ тѣмъ чрезъ бумагу, намоченную растворомъ іодистаго потассія. Разложеніе іодистаго потассія показывало присутствіе тока въ цѣпи, а между тѣмъ на платиновыхъ электродахъ, даже по прошествіи 12 дней, не оказывалось ни слѣда газовъ. Тоже самое явленіе замѣтилъ *Фареде*, когда вмѣсто сѣрной кислоты былъ взятъ растворъ сѣрнокислаго натра или расплавленный хлористый свинецъ: разложеніе іодистаго потассія и отклоненіе стрѣлки гальванометра показывали присутствіе тока въ цѣпи, а между тѣмъ ни сѣрнокислый натръ, ни хлористый свинецъ вовсе не оказывали признаковъ разложенія. Впослѣдствіи *Мартенсъ* въ Брюсселѣ защищалъ также это мнѣніе *Фареде* ⁽²⁾ и старался доказать, что слабые токи могутъ проходить чрезъ жидкость, не разлагая ее.

§ 88. Разсматривая внимательно приведенные нами опыты *Фареде* и принимая въ соображеніе открытый этимъ же ученымъ законъ, извѣстный подъ именемъ закона электролитнаго дѣйствія, мы можемъ объяснить, почему въ приведенныхъ опытахъ разложеніе вовсе не обнаруживалось. Опыты показываютъ, что химическое дѣйствіе тока совершенно пропорціонально его магнитному дѣйствію ⁽³⁾: количество

⁽¹⁾ Repertorium der Physik. T. I. стр. 227.

⁽²⁾ Pogg. Ann. T. 55. стр. 253.

⁽³⁾ См. *Jacobi*. Ueber das chemische und magnetische Galvanometer. Pogg. Ann. Bd. 48. стр. 26. Также *Lenz*, Bulletin physico-math. T. I. NN^o 14. 15. 16.

разложенной воды или количество газовъ, освобожденныхъ въ определенное время въ вольтметрѣ, всегда пропорціонально силѣ тока опредѣляемой по гальванометру; слѣдовательно каждому, малѣйшему отклоненію стрѣлки, всякой, даже весьма слабой силѣ тока, должно соотвѣтствовать извѣстное количество разложенной воды. Если вмѣсто воды взята какая нибудь другая жидкость электролитная т. е. разлагаемая токомъ, то количество ея, разложенное тою же самою силою тока и въ тоже самое время — пропорціонально ея химическому эквиваленту. Въ этомъ и состоитъ законъ электролитнаго дѣйствія, открытый *Фареде*. Слѣдовательно, по этому закону, при всякой силѣ тока должно обнаруживаться химическое разложеніе: зная количество воды разлагаемое единицею силы тока, не трудно найти количество ея или количество другаго электролитнаго вещества, разлагаемое извѣстною, данною силою тока въ данное время. Такимъ образомъ, если бы въ опытахъ *Фареде* было опредѣлено количество іодистаго потассія, разложеннаго въ извѣстное время, то не трудно было бы вычислить количество газовъ, кислороднаго и водороднаго, освобожденное въ тоже самое время изъ воды, или разложенное количество сѣрноокислаго натра, также количество разложеннаго хлористаго свинца. Эти количества должны быть чрезвычайно малы и могли обнаружиться только послѣ весьма продолжительнаго дѣйствія тока. Для примѣра я приведу здѣсь слѣдующее вычисленіе, сдѣланное *Погендорфомъ* ⁽¹⁾. Токъ, который отклонялъ стрѣлку

(1) *Pogg. Ann.* Т. 55. стр. 453.

употребленнаго имъ синусъ гальванометра на 90° , имѣлъ такую силу, что въ продолженіе одной минуты онъ освобождалъ изъ воды 14,54 куб. сантиметра смѣси кислорода и водорода; слѣдовательно, токъ, который отклоняетъ стрѣлку на уголъ $= 1'$, въ тоже самое время освободилъ бы изъ воды количество газовъ $= 14,54 \cdot \frac{\sin 1'}{\sin 90^\circ} = 0,004$ куб. цент.

Положимъ, что слой воды, которая подвергается дѣйствию этого послѣдняго тока, имѣетъ небольшой объемъ $= 50$ кубич. цент.; этотъ объемъ можетъ поглотить или растворить около 1 куб. цент. газовъ, а для того, чтобы такое количество могло освободиться, необходимо 250 минутъ времени или около 4 часовъ; слѣдовательно только по прошествіи этого времени, при непрерывномъ и постоянномъ дѣйствию тока, разложеніе можетъ сдѣлаться замѣтнымъ. Но какъ при томъ нѣкоторое количество газовъ поглощается самими платиновыми электродами, и какъ сила тока непрерывно слабѣетъ (что, безспорно, имѣло мѣсто при всѣхъ опытахъ *Фареде*), то поэтому, чтобы разложеніе сдѣлалось замѣтнымъ, потребуется время гораздо большее. И такъ, отсутствіе разложенія въ приведенныхъ нами опытахъ *Фареде* могло быть только видимое: на самомъ же дѣлѣ разложеніе происходило, но количество разложенныхъ веществъ было такъ мало, что даже по прошествіи значительнаго времени, не могло быть замѣчено. Но лучшимъ, по мнѣнію моему, доказательствомъ того, что проводимость тока въ жидкости *всегда* сопровождается разложеніемъ, представляетъ намъ поляризація, которая всегда при этомъ обнаруживается. Пропуская токъ отъ

одного элемента цинка и мѣди (въ сѣрной кислотѣ) чрезъ воду посредствомъ платиновыхъ электродовъ, мы не замѣтимъ на нихъ никакого слѣда гасовъ, никакого признака разложенія жидкости; но стоитъ только отдѣльно отъ элемента соединить электроды съ гальванометромъ — и мы увидимъ, что они сдѣлались разнородными, поляризованными, и при томъ такъ, что катодъ сдѣлался электроположительнымъ въ отношеніи къ аноду. Мы уже знаемъ, что эта разнородность, поляризація, могла произойти только вслѣдствіе гасовъ, поглощенныхъ платиною. Если вмѣсто гидроэлектрическаго тока возьмемъ самый слабый токъ магнитоэлектрическій, мгновенный, и пропустимъ такой токъ чрезъ воду посредствомъ совершенно однородныхъ платиновыхъ электродовъ, то и тутъ мы замѣтимъ также, что по прохожденіи тока электроды сдѣлались разнородными и что слѣдов. токъ, проходя чрезъ жидкость, разлагалъ ее ⁽¹⁾.

§ 89. И такъ, основываясь на всемъ вышесказанномъ, мы, кажется, въ настоящее время съ большою вѣроятностію должны принять, вопреки мнѣнію *Фареде*, то положеніе, что прохожденіе тока чрезъ жидкость всегда сопровождается разложеніемъ или что проводимость жидкостей происходитъ только вслѣдствіе ихъ разложенія, съ которымъ она неразрывно связана. Принимая мнѣніе *Фареде*, мы должны бы заключить, что законъ электролитнаго дѣйствія существуетъ не для всякой силы тока, но только до извѣстной ея сла-

(1) Сравни съ этимъ явленіе, замѣченное мною при прохожденіи магнитоэлектрическаго тока чрезъ жидкость. *О явленіяхъ поляризаціи* стр. 30. *Pogg. Ann.* Т. 73. стр. 516.

бой степени или, что химическое дѣйствіе не всегда сопровождается другія дѣйствія обнаруживающіяся въ цѣпи; а между тѣмъ всѣ другія явленія гораздо естественнѣе заставляютъ насъ заключить, что токъ не можетъ проходить чрезъ жидкость безъ ея разложенія, подобно тому, какъ онъ не можетъ проходить чрезъ проволоки или чрезъ жидкости, не нагревая ихъ и не сообщая имъ магнитныхъ свойствъ. Я выше сказалъ, что это положеніе, вопреки *Фареде*, кажется мнѣ болѣе вѣроятнымъ при настоящемъ состояніи нашихъ познаній, но я не могу выдавать его за истину непреложную: для подтвержденія его требуются опыты и опыты мѣрительные, которыхъ въ настоящее время мы почти вовсе не имѣемъ по этой части.

§ 90. Относительно зависимости проводимости жидкостей отъ ихъ химическаго состава, отъ числа эквивалентовъ составляющихъ простыхъ тѣлъ, объ отношеніи проводимости электролитовъ въ расплавленномъ состояніи къ проводимости ихъ концентрированнаго раствора въ водѣ — намъ по настоящее время извѣстенъ одинъ только рядъ изслѣдованій, принадлежащихъ италіянскому физику *Маттеуччи*. Мы уже видѣли (§ 26), что еще въ 1837 году *Маттеуччи* производилъ нѣсколько опытовъ по этому предмету, опытовъ весьма неудачныхъ и, какъ мы сказали, совершенно потерянныхъ для науки. Въ 1845 году *Маттеуччи* напечаталъ ⁽¹⁾ новыя произведенныя имъ изслѣдованія проводимости жидкостей, но и эти изслѣдованія мы, кажется, такъ

(¹) Ann. de Ch. et de Ph. III. serie. T. XV. стр. 408.

же въ правѣ поставить на ряду съ его прежними. О способѣ, употребленномъ имъ для опредѣленія проводимости мы уже говорили въ примѣчаніи къ § 78 и показали его неосновательность. Изъ результатовъ же, приводимыхъ *Маттеуччи* въ своей запискѣ (написанной впрочемъ весьма темно и сбивчиво), мы приведемъ здѣсь слѣдующіе: 1) между проводимостію и химическимъ расположеніемъ эквивалентовъ въ сложной жидкости не замѣтно никакой связи. 2) Всѣ тѣла, оказывающія въ расплавленномъ состояніи лучшую проводимость, нежели вода, въ этомъ состояніи гораздо лучше проводятъ, чѣмъ самый насыщенный растворъ ихъ въ водѣ ⁽¹⁾ и 3) Тѣла которыя не проводятъ токъ въ расплавленномъ своемъ состояніи и которыхъ составляющіе элементы не дѣйствуютъ химически на элементы воды (или вообще на элементы какого нибудь растворяющаго вещества), будучи растворены, вовсе не увеличиваютъ проводимости того тѣла, въ которомъ они растворены.

§ 91. Въ предъидущемъ я представилъ обзоръ всѣхъ замѣчательныхъ изслѣдованій надъ проводимостію жидкостей, произведенныхъ по настоящее время, обзоръ, по возможности полный: по крайней мѣрѣ я могу сказать, что всѣ, сколько нибудь замѣчательные и доступные мнѣ труды, по этому предмету ученыхъ французскихъ, англійскихъ и германскихъ бы-

(1) — Этотъ результатъ противорѣчитъ тому, какой самъ *Маттеуччи* выводилъ изъ прежнихъ своихъ наблюденій и по которому проводимость всѣхъ солей въ расплавленномъ состояніи равна проводимости насыщенныхъ растворовъ этихъ же солей при температурѣ $+20^{\circ}$. См. § 26.

ли изучены мною въ оригиналѣ и оцѣнены мною критически. Къ этимъ трудамъ я позволилъ себѣ присовокупить и нѣсколько своихъ изслѣдованій, доселѣ еще неизданныхъ, изслѣдованій, которыя, я надѣюсь, будутъ не безъ пользы для науки; также при разборѣ мнѣній по нѣкоторымъ вопросамъ о проводимости, я присоединилъ и нѣкоторыя свои положенія. Эти положенія, равно какъ и сдѣланныя мною критическія оцѣнки трудовъ наблюдателей — въ свою очередь предоставляю я оцѣнкѣ другихъ.

§ 92. Въ заключеніе моего труда я полагаю необходимымъ сдѣлать общій обзоръ результатовъ всѣхъ изслѣдованій, изложенныхъ мною и — показавъ настоящее состояніе предмета, занимающаго насъ, представить: какіе отвѣты въ настоящее время можетъ намъ дать наука на тѣ вопросы относительно проводимости, которые мы предложили въ началѣ нашего разсужденія (въ § 5, стр. 11).

Результаты различныхъ изслѣдованій, какъ мы могли убѣдиться изъ подробнѣйшаго разсмотрѣнія ихъ, не всѣ имѣютъ одинаковую степень вѣроятности: достовѣрность нѣкоторыхъ не подлежитъ сомнѣнію, другіе же болѣе или менѣе вѣроятны и при болѣе точныхъ опытахъ могутъ со временемъ оказаться ошибочными. Къ числу первыхъ принадлежатъ, напримѣръ, законы, найденные относительно зависимости сопротивленія жидкостей отъ силы тока и отъ длины и поперечнаго разрѣза жидкостей (для нѣкоторыхъ только случаевъ). Найдено, что:

I) *Сопротивленіе жидкостей не зависитъ отъ силы тока* (опыты *Ленца* § 35, *Horsford'a* § 37).

II) Сопротивленіе прямо пропорціонально длинѣ и обратно поперечному разрѣзу въ томъ случаѣ, когда поперечный разрѣзъ по всей длинѣ одинаковъ и поверхность электродовъ съ нимъ совпадаетъ. (Опыты Фехнера, §§ 19, 21, Ленца § 35, 38, Horsford'a § 37, опыты мною произведенные § 72 таблица).

III) Въ случаѣ же призматическаго или кольцеобразнаго слоевъ жидкости зависимость сопротивленія отъ длины и поперечнаго разрѣза выражается логариѳмическою формулою, выводимою на основаніи предъидущаго закона. (Доказательство представлено моими опытами въ §§ 51 — 57).

Три эти результата служатъ въ настоящее время единственными отвѣтами на предложенные нами первые два вопроса (§ 5 стр. 11). Слѣдоват. второй вопросъ въ общемъ видѣ доселѣ не получилъ еще разрѣшенія и это разрѣшеніе мы можемъ ожидать только отъ аналитической теоріи, основанной на гипотезѣ о сущности тока (см. § 40 и Приложенія).

Относительно четвертаго вопроса — о зависимости сопротивленія отъ химическаго разложенія — мы принимаемъ отвѣтомъ на него тотъ вѣроятный результатъ (§ 89), что:

IV*) Сопротивленіе или проводимость жидкостей состоитъ съ неразрывной связи съ ихъ химическимъ разложеніемъ и что бѣльшая или мѣньшая величина этого сопротивленія зависитъ отъ бѣльшаго или мѣньшаго препятствія, какое представляетъ тѣло своему разложенію на составныя части посредствомъ тока. Но въ какой связи состоитъ сопротивленіе съ химическимъ составомъ жидкостей, съ силою химическаго сродства

разнородныхъ атомовъ, составляющихъ его, какъ измѣняется сопротивленіе при смѣшеніи, растворѣ тѣлъ — эти вопросы, столь важные въ химическомъ отношеніи, остаются безъ отвѣта и рѣшеніе ихъ будетъ зависѣть отъ дальнѣйшихъ успѣховъ электрохиміи, науки, находящейся еще только въ своемъ началѣ и доселѣ еще весьма мало обрабатываемой.

Принявъ этотъ IV-ый результатъ, я вывелъ изъ него то прямое слѣдствіе (§ 85), что всякое препятствіе разложенію тѣла должно увеличивать его сопротивленіе и обратно, обстоятельства, облегчающія разложеніе, должны уменьшать сопротивленіе; и этимъ слѣдствіемъ совершенно объясняется фактъ, доказанный всѣми наблюдателями (см. наблюденія Ома § 63, Беккереля § 64, мои наблюденія §§ 65, 66, Ганкеля §§ 67, 68, Беккера § 75) и служащій отчасти отвѣтомъ на пятый вопросъ:

V) *Сопротивленіе жидкостей при возвышеніи температуры уменьшается* (свойство, противоположное свойству твердыхъ тѣлъ, которыхъ сопротивленіе съ возвышеніемъ температуры увеличивается). Это уменьшеніе сопротивленія не пропорціонально возвышенію температуръ, коэффициентъ уменьшенія при увеличеніи температуры на 1° не одинаковъ для различныхъ температуръ, но съ увеличеніемъ температуры уменьшается. Для различныхъ жидкостей уменьшеніе сопротивленія между тѣми же самыми измѣненіями температуры почти одинаково и притомъ имѣетъ гораздо бѣольшую величину, нежели увеличеніе сопротивленія въ твердыхъ тѣлахъ между тѣми же предѣлами температуръ. Будущимъ изслѣдованіямъ надобно предоставить опредѣлить

вліяніе температуры на сопротивленіе жидкостей болѣе подробно и съ болѣею точностію: число и точность наблюденій, произведенныхъ доселѣ по этому предмету еще весьма не велики.

Что касается до *третьяго* вопроса — до величины сопротивленія въ различныхъ жидкостяхъ, до отношенія его къ сопротивленію металловъ, — то въ настоящее время мы можемъ представить на него отвѣты не весьма удовлетворительные. Нумерическія величины сопротивленій хотя и были опредѣляемы для нѣкоторыхъ жидкостей, однакоже наблюденія по этому предмету весьма не многочисленны и не могутъ имѣть притязанія на большую точность, такъ какъ при однихъ опредѣленіяхъ не было обращено вниманія на чистоту употребленныхъ жидкостей, при другихъ на температуру и при большей части на измѣненія поляризаціи. Изъ разсмотрѣнія всѣхъ этихъ опредѣленій мы можемъ вывести слѣдующіе результаты:

VI) Сопротивленіе растворовъ тѣлъ въ водѣ съ усиленіемъ концентраціи для однихъ тѣлъ уменьшается до тахімъ насыщенія раствора, для другихъ же тѣлъ уменьшается только до извѣстной степени концентраціи, а далѣе начинается снова увеличиваться. Этотъ результатъ мы объяснили выведеннымъ нами слѣдствіемъ изъ IV положенія (см. § 85).

VII) Сопротивленіе насыщенныхъ растворовъ солей болѣе сопротивленія насыщенныхъ растворовъ кислотъ. (См. наблюденія Беккереля § 62, наблюденія Horsford'a § 69). Но этотъ фактъ требуетъ еще болѣе большого подтвержденія.

VIII) Сопротивленіе жидкостей гораздо болѣе сопроти-

...ения металловъ: наименьшее сопротивленіе, какое до сихъ поръ найдено между различными жидкостями, принадлежитъ сѣрной кислотѣ уд. вѣса 1,25 и это сопротивленіе около 700.000 разъ болѣе сопротивленія чистаго серебра.

За исключеніемъ послѣднихъ трехъ результатовъ, въ настоящее время мы не можемъ вывести изъ всѣхъ произведенныхъ опредѣленій величинъ сопротивленія жидкостей болѣе никакихъ другихъ общихъ положеній.

Намъ остается желать въ будущемъ болѣе точныхъ и обширныхъ изслѣдованій и тогда связь сопротивленія съ химическимъ составомъ, теплопроводимостью и другими молекулярными свойствами откроется, вѣроятно, сама собою; но настоящія по сіе время имѣющіяся опредѣленія ни по числу своему, ни по точности, для этой цѣли недостаточны. Мы не можемъ не согласиться съ словами Уитстона ⁽¹⁾, что »гальваническое сопротивленіе жидкостей, безъ сомнѣнія, составляетъ одно изъ важнѣйшихъ физическихъ свойствъ ихъ. »Изслѣдованія всѣхъ обстоятельствъ, производящихъ измѣненіе въ этомъ свойствѣ, должны необходимо (особливо если »изслѣдованія сопровождаются точными нумерическими опредѣленіями) вести къ важнымъ и доселѣ еще неизвѣстнымъ фактамъ. Но такія изслѣдованія не совсѣмъ легки: одни уже, на примѣръ, подробныя опредѣленія измѣненій сопротивленія отъ перемѣнъ концентраціи и температуры представляютъ задачу, требующую большаго терпѣнія со стороны наблюдателя.«

(¹) *Pogg. Ann.* Т. 72. стр. 532.

Ш Р Ш Д О Ж Е Н І Я.

ПРИЛОЖЕНИЕ I.

Сопротивленіе, представляемое гальваническому току жидкимъ тѣломъ или вообще проводникомъ, имѣющимъ опредѣленную, данную, форму, зависитъ, какъ мы уже видѣли въ § 40, отъ вида тѣхъ кривыхъ линій, по которымъ токъ распространяется въ немъ между электродами; поэтому знаніе законовъ сопротивленія должно зависѣть отъ опредѣленія этихъ кривыхъ линій. Опредѣленіе распространенія тока въ тѣлахъ какого ни есть даннаго вида возможно только помощію теоріи; однѣ опытные опредѣленія величинъ сопротивленія не всегда могутъ вести къ открытію законовъ его, но они всегда важны въ томъ отношеніи, что могутъ служить къ большому или меньшему подтвержденію теоріи.

Первыя основанія теоріи гальваническаго тока были положены Омомъ, который и примѣнилъ ихъ къ тѣламъ призматическаго вида, въ которыхъ токъ распространяется по прямымъ линіямъ. Въ 1845 году *Kirchhoff* ⁽¹⁾ изъ началъ Ома вывелъ законы распространенія тока по плоскости и опытомъ повѣрилъ справедливость своихъ выводовъ для круга. За тѣмъ *Smaasen* ⁽²⁾ изслѣдовалъ на этихъ же началахъ

(¹) Pogg. Ann. T. 64 стр. 497.

(²) Pogg. Ann. T. 69. стр. 161.

распространеніе тока въ тѣлахъ трехъ измѣреній и вывелъ законы для того случая, когда токъ распространяется между двумя электродами въ безграничномъ пространствѣ во всѣ стороны. Примѣненію общей теоріи къ частнымъ случаямъ представляются весьма большія, и часто непреодолимыя, затрудненія со стороны аналитической; и поэтому мы можемъ ожидать, что опытные изслѣдованія могутъ скорѣе, нежели теорія, представить намъ законы сопротивленія для многихъ частныхъ случаевъ, законы, которые, будучи впоследствии объяснены теоріею, послужатъ къ подтвержденію началъ ея ⁽¹⁾.

Законы сопротивленія жидкостей, т. е. зависимость сопротивленія отъ формы слоя, до 1852 года были извѣстны, какъ мы уже не разъ упоминали, только для одного случая, изслѣдованнаго *Фехнеромъ*, а именно для случая, когда жидкій слой имѣетъ параллелепипедическую форму и поверхность электродовъ совпадаетъ съ его поперечнымъ разрѣзомъ. Изъ законовъ *Фехнера* я могъ легко вывести законы для другихъ двухъ случаевъ, описанныхъ мною въ §§ 47 — 58 и опытъ совершенно подтвердилъ мои выводы. Въ этихъ

(1) Изложеніе теоріи гальваническаго тока и примѣненій ея сдѣланныхъ *Kirchhoff'омъ* и *Smaasen'омъ* не входило въ составъ этого сочиненія, котораго цѣль состояла въ томъ, чтобы представить всѣ опытные изслѣдованія сопротивленія жидкостей и современное состояніе нашихъ познаній объ этомъ предметѣ. Изложеніе теоріи можетъ составить предметъ другаго обширнаго сочиненія и такое сочиненіе, написанное съ полнымъ знаніемъ дѣла, въ скоромъ времени, какъ намъ извѣстно, должно обогатить нашу ученую литературу.

случаяхъ, какъ мы видѣли, можно было принимать, что токъ распространяется между электродами по прямымъ линіямъ.

Въ началѣ 1852 года изданъ былъ мемуаръ нашего академика *Ленца* ⁽¹⁾, изъ котораго видно, что еще въ 1848 году *Г. Ленцъ* началъ свои изслѣдованія законовъ сопротивленія жидкостей для того случая, когда поперечный разрѣзъ жидкости болѣе поверхности электродовъ (здѣсь, очевидно, токъ распространяется между электродами не только по прямымъ линіямъ, но и слѣдуетъ въ стороны по криволинейному пути). Въ упомянутомъ нами, первомъ, доселѣ изданномъ, мемуарѣ опредѣлены законы для того случая, когда высота электродовъ была одинакова съ глубиною жидкаго слоя — электроды доходили до самаго дна сосуда: при этомъ, очевидно, токъ распространялся только по горизонтальному направленію.

Я здѣсь считаю необходимымъ изложить въ подробности изслѣдованія *Г. Ленца* тѣмъ болѣе, что они (послѣ изслѣдованій *Kirchhoff'a*) суть первыя, которыя представляютъ намъ пробный камень для теоріи.

Ходъ опытовъ былъ слѣдующій: *Г. Ленцъ* бралъ восемь прямоугольных параллелепипедическихъ деревянныхъ ящичковъ шириною въ 1, 2, 3.... до 8 дюймовъ и наполнялъ ихъ до одинаковой высоты слабою сѣрною кислотою. Въ каждый сосудъ были погружены вертикально по срединѣ двѣ цинковыя амальгмированные пластинки (электроды) шириною въ 1 дюймъ: эти пластинки могли быть передвигае-

(1) Bullet. physico-math. T. X. N° 9.

мы параллельно длинѣ сосуда и разстояніе между ними могло быть точно измѣрено. Для опредѣленія сопротивленія жидкости токъ былъ пропускаемъ отъ гальванической батареи чрезъ испытуемую жидкость, мультипликаторъ Нервандера и агометръ и былъ доводимъ всегда до опредѣленной силы F , при чемъ замѣчалось число оборотовъ агометра a , вставленныхъ въ цѣпь. Въ каждомъ сосудѣ производились такія опредѣленія величинъ a для семи различныхъ разстояній электродовъ и изъ этихъ величинъ сопротивление опредѣлялось такимъ образомъ: назовемъ чрезъ A электро-возбудительную силу батареи и p поляризацию цинковыхъ электродовъ, W искомое сопротивление жидкости, L сопротивление батареи и всѣхъ прочихъ частей цѣпи; мы будемъ имѣть для опредѣленнаго разстоянія электродовъ и извѣстной ширины сосуда:

$$F = \frac{A - p}{L + W + a} \quad (1)$$

для другихъ разстояній или для другаго сосуда:

$$F = \frac{A - p}{L + W' + a'} \quad (2)$$

$$F = \frac{A - p}{L + W'' + a''} \quad (3)$$

.....

$$F = \frac{A - p}{L + W^{(n)} + a^{(n)}} \quad (n)$$

Изъ сравненія (1) (2).... (n) видно, что

$$W + a = W' + a' = W'' + a'' = \dots = W^{(n)} + a^{(n)}$$

или сопротивление жидкости вмѣстѣ съ сопротивленіемъ оборотовъ агометра всегда должны быть равны постоянной ве-

личинѣ. Если бы мы знали эту величину, которую назовемъ чрезъ S , тогда, очевидно, сопротивленіе для каждаго случая получилось бы очень просто $W = S - a$. Для опредѣленія S Г. Ленцъ взялъ наблюденія произведенныя въ сосудѣ, имѣвшемъ ширину 1 дюймъ: въ немъ поверхность электродовъ совпадала съ поперечнымъ разрѣзомъ жидкости и слѣдоват. сопротивленіе было пропорціонально разстояніямъ. Изъ наблюденій при различныхъ разстояніяхъ $d, d' \dots d^{(n)}$ получились уравненія вида:

$$a + d W = S$$

$$a' + d' W = S$$

$$\dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots$$

$$a^{(n)} + d^{(n)} W = S$$

Разсматривая величины сопротивленія, опредѣленные такимъ образомъ, для различныхъ разстояній электродовъ и для различной ширины жидкаго слоя, мы легко увидимъ, что

1) Для каждаго разстоянія сопротивленіе съ увеличеніемъ ширины слоя (горизонтальнаго разрѣза) уменьшается сначала быстро, затѣмъ медленнѣе и наконецъ уже дѣлается постояннымъ, такъ что для каждаго разстоянія есть предѣлъ увеличиванія ширины, далье котораго сопротивленіе уже не измѣняется.

2) Этотъ предѣлъ тѣмъ далье или предѣльная ширина жидкаго слоя тѣмъ больше, чѣмъ самое разстояніе электродовъ больше.

Точное опредѣленіе предѣла весьма затруднительно по причинѣ медленнаго измѣненія сопротивленія вблизи его и

совершенно зависеть отъ предѣловъ погрѣшностей наблюденій; поэтому и числа полученные Г. Ленцомъ надобно почитать только приблизительными.

Выведенные два факта легко можно объяснить изъ образа распространенія гальваническаго тока въ безпредѣльномъ слое жидкости. Между двумя электродами a и k (см. фиг. 1) токъ слѣдуетъ не только по прямымъ линіямъ ak , но и по кривымъ abk , $ab'k$, ask , $as'k$,; чѣмъ болѣе длина этихъ кривыхъ линій т. е. чѣмъ далѣе онѣ отстоятъ отъ прямой ask , тѣмъ и сила токовъ, проходящихъ по нимъ, будетъ слабѣе, такъ что далѣе извѣстныхъ кривыхъ $ab^{(n)}k$, $as^{(n)}k$ сумма элементарныхъ токовъ такъ мала, что не можетъ быть открыта наблюденіемъ. И такъ для каждаго разстоянія электродовъ линія $b^{(n)}c^{(n)}$ изображаетъ намъ предѣлъ увеличиванія ширины жидкаго слоя. Зная этотъ предѣлъ, мы получимъ изъ него длину *наибольшаго отклоненія* тока отъ прямой линіи adk , соединяющей электроды: для этого стоитъ только изъ $b^{(n)}c^{(n)}$ вычесть ширину электродовъ dd' и разность раздѣлить на два. Г. Ленцъ получилъ изъ своихъ наблюденій весьма замѣчательное отношеніе между величинами этого наибольшаго отклоненія и разстояніемъ электродовъ; именно онъ нашелъ, что *квадратъ отклоненія равенъ разстоянію электродовъ или наибольшее отклоненіе равно корню квадратному изъ разстоянія*.

Найдя эти факты, Г. Ленцъ приступилъ къ изслѣдованію законовъ, по которымъ измѣняется сопротивленіе жидкаго слоя опредѣленной глубины, но безпредѣльной ширины, при измѣненіи разстоянія электродовъ, которыхъ высота,

какъ и прежде, равнялась глубинѣ жидкости. Для этого Г. Ленцъ бралъ электроды въ 1 дюймъ ширины въ сосудѣ, котораго ширина равнялась 8 дюймамъ (предварительные опыты показали, что жидкій слой такой ширины дѣйствуетъ, какъ неограниченное пространство для разстояній электродовъ, не превышающихъ 9") и опредѣлялъ сопротивленіе для 18 разстояній, начиная отъ 0",5 до 9",0, измѣняя ихъ черезъ 0",5. Полученныя величины ясно указываютъ, что сопротивленіе измѣняется не пропорціонально разстояніямъ, но въ меньшемъ отношеніи, какъ и должно быть вслѣдствіе криволинейнаго распространенія тока (ср. § 40). Г. Ленцъ при этомъ составилъ себѣ такое теоретическое понятіе: если токъ проходитъ чрезъ параллелепипедическій слой жидкости, ограниченный электродами, которыхъ поверхность совпадаетъ съ поперечнымъ разрѣзомъ слоя, то для этого случая сопротивленіе W будетъ пропорціонально разстоянію d :

$$W = \lambda d$$

но если токъ, какъ въ разсматриваемомъ случаѣ, распространяется и криволинейно въ стороны, то отъ этого поперечный разрѣзъ слоя жидкости, чрезъ которую токъ проходитъ, дѣлается болѣе и тѣмъ болѣе, чѣмъ разстояніе электродовъ болѣе, а потому и сопротивленіе дѣлается меньше. Слѣдоват. можно положить.

$$W = \frac{\lambda d}{\varphi(d)}$$

гдѣ $\varphi(d)$ означаетъ функцію отъ d возрастающую вмѣстѣ съ d . Самый простой видъ, какой можно дать этой функціи (согласно съ таблицею наблюденныхъ величинъ W) есть

$\varphi(d) = p \sqrt{d}$, гдѣ p постоянная. Слѣдовательно

$$W = \frac{\lambda d}{p \sqrt{d}} = \frac{\lambda}{p} \sqrt{d} = m \sqrt{d}$$

т. е. если принятое положеніе справедливо, то *сопротивленіе должно измѣняться пропорціонально корнямъ квадратнымъ изъ разстояній электродовъ*; что и въ самомъ дѣлѣ подтверждается согласіемъ вычисленныхъ по этому закону величинъ W съ наблюденными. Этотъ законъ можно выразить еще и другимъ образомъ: мы видѣли, что наибольшее отклоненіе тока равно корню квадратному изъ разстоянія; слѣдоват. *сопротивленіе неограниченнаго по горизонтальному направленію слоя жидкости пропорціонально наибольшему отклоненію тока*. Впрочемъ не должно забывать, что законъ этотъ справедливъ только для того случая, когда электроды погружены до самаго дна сосуда; въ противномъ же случаѣ законы эти, вѣроятно, не будутъ имѣть мѣста.

Г. Ленцъ изслѣдовалъ также и тотъ случай, когда токъ можетъ свободно во все стороны распространяться между электродами, когда электроды погружены въ жидкости неограниченной по всемъ тремъ протяженіямъ; однако же мы не можемъ распространяться объ этихъ изслѣдованіяхъ, потому что мемуаръ, предметъ котораго составляетъ этотъ случай, еще не напечатанъ: скажемъ только, что Г. Ленцъ нашелъ, что далѣе извѣстнаго разстоянія электродовъ (имѣющихъ круглую форму) сопротивленіе остается постояннымъ и вовсе не зависитъ отъ разстоянія. ⁽¹⁾

(¹) См. Bullet. Physico-math. T. XI. NN^o 12. 13. Compte rendu de l'Academie pour l'année 1852.

Остается пожелать, чтобы законы сопротивленія, введенные для приведенныхъ нами двухъ случаевъ, были вскорѣ пояснены теоріею и чтобы общія формулы ея могли быть легко примѣнены къ нимъ.



ПРИЛОЖЕНИЕ II.

Въ Маѣ 1852 года начавши рядъ изслѣдованій нѣкоторыхъ довольно сложныхъ случаевъ сопротивленія жидкостей, я приведенъ былъ къ разсмотрѣнiю того обстоятельства, какимъ образомъ измѣняются законы *Фехнера*, когда электроды, оставаясь параллельными одинъ другому, будутъ наклонны къ длинѣ жидкаго слоя? Для этого я прежде разсмотрѣлъ тотъ случай, когда одинъ электродъ перпендикуляренъ къ длинѣ, а другой наклоненъ. Изслѣдованiя мои еще не окончены, а потому я здѣсь долженъ ограничиться только приведенiемъ нѣкоторыхъ изъ результатовъ, полученныхъ мною.

Первый случай (фиг. 8). Слой жидкости имѣетъ видъ призмы, которой горизонтальное сѣченiе, по всей высотѣ одинаковое, представляетъ трапецію $ABCD$; электроды занимаютъ непараллельныя стороны призмы AB и CD .

Для опредѣленiя закона, по которому измѣняется сопротивление какъ въ этомъ, такъ и послѣдующемъ случаѣ, при измѣненiи разстоянiя между электродами AB и CD или при измѣненiи длины слоя, поступаемо было слѣдующимъ образомъ: 1) жидкость была наливаема въ параллелепипедическiй стеклянный сосудъ, описанный мною на стр. 111, въ которомъ разстоянiе электродовъ могло быть по произ-

волу измѣняемо и опредѣляемо съ точностію. 2) Электродъ AB оставался неподвижнымъ, а CD могъ быть передвигаемъ по длинѣ сосуда, не измѣняя своей наклонности къ длинѣ. 3) Жидкость, наполнявшая сосудъ, состояла или изъ крѣпко насыщеннаго раствора мѣднаго купороса или изъ слабаго раствора сѣрной кислоты: въ первомъ случаѣ употребляемы были электроды мѣдные, во второмъ цинковые. Опредѣленіе сопротивленія производимо было совершенно по тому способу, который описанъ мною въ § 41 и § 42. Называя чрезъ W сопротивленіе слоя $ABCD$, мы получимъ для мѣднаго купороса и мѣдныхъ электродовъ: $W = a' - a$, а для сѣрной кислоты и цинковыхъ электродовъ $W + \frac{p}{F} = a' - a$, гдѣ a', a имѣютъ тѣже значенія, какъ въ §§ 41 и 42, p поляризація.

Я приведу здѣсь два ряда наблюденій, изъ которыхъ очень просто можно усмотрѣть законъ, которому слѣдуетъ сопротивленіе при измѣненіи разстоянія электродовъ. Въ каждомъ рядѣ я предварительно опредѣлилъ изъ многихъ наблюденій сопротивленіе параллелепипедическаго слоя $ABCa$ для единицы длины (назовемъ это сопротивленіе чрезъ λ) и изъ найденной величины по *Фехнерову* закону могъ вычислить сопротивленіе для каждаго разстоянія x .

I Наблюденіе.

Жидкость: насыщенный растворъ мѣднаго купороса.
 $\lambda = 0,7045$ для 1 полулиніи.

Означимъ чрезъ x разстояніе AC (фиг. 8), а чрезъ x' разстояніе BD , чрезъ W' сопротивленіе параллелепипедиче-

скаго слоя $ABCa$, а чрезъ W'' сопротивленіе $ABDb$
 $W' = \lambda x$, $W'' = \lambda x' = W' + \lambda (x' - x)$. Въ нашемъ слу-
 чаѣ $x' - x = 50$ полул.; слѣдовательно $\lambda (x' - x) = 35,22$
 и $W'' = W' + 35,22$.

x	W	$W' = \lambda x$	$W - W'$	$W'' - W$
100	76,92	70,45	6,47	28,75
80	61,99	56,36	5,63	29,59
60	47,98	42,27	5,71	29,51
40	33,72	28,18	5,54	29,68
20	19,88	14,09	5,79	29,43

Изъ разсмотрѣнія чиселъ четвертаго и пятаго столбцевъ
 мы выводимъ, что $W = W' + A = \lambda x + A$ и $W = W'' - B$
 $= \lambda x' - B$, гдѣ A и B постоянныя величины т. е. сопро-
 тивленіе призматическаго слоя $ABCD$ равно сопротивленію
 параллелепипедическаго слоя $ABCa$ сложенному съ постоянною
 величиною A или равно сопротивленію слоя ABD безъ по-
 стоянной величины B .

Этотъ же результатъ подтверждается и слѣдующимъ
 рядомъ наблюденій, сдѣланныхъ въ томъ же сосудѣ, только
 съ сѣрною кислотою и цинковыми электродами.

II Наблюденіе.

Изъ предварительныхъ опредѣленій найдено W' для раз-
 стоянія 40 полулиній равнымъ 3,923, $\frac{p}{F} = 3,55$

x	$W + \frac{p}{F}$	$W' + \frac{p}{F}$	$W - W'$
160	20,24	19,23	1,00
120	16,26	15,32	0,94
80	12,57	11,40	1,17
40	8,51	7,47	1,04

Изъ выведенной нами формулы $W = W' + A = \lambda x + A$ слѣдуетъ, что если $x = 0$, то $W = A$ т. е. если электроды сблизить до того, чтобы разстояніе AB уничтожилось (но чтобы токъ не могъ переходить непосредственно изъ одного электрода въ другой) то сопротивленіе должно быть равно A , что и дѣйствительно подтверждается наблюденіями.

Изъ этого же закона вытекаетъ еще одно замѣчательное слѣдствіе: возьмемъ слой жидкости $ABEF$ ограниченный двумя электродами AB и EF и раздѣлимъ этотъ слой металлическою наклонною перегородкою CD на два слоя. Тогда, очевидно, сопротивленіе раздѣленного слоя $ABEF$ равно $=$ сопротивленію слоя $ABCD$ $+$ сопротивленію $CDEF$,

$$\text{но сопротивл. } ABCD = \text{сопротивл. } ABCa + A$$

$$\text{сопротивл. } CDEF = \text{сопротивл. } CaEF - B$$

Слѣдов. сопротивл. раздѣленн. слоя $ABEF =$ сопротивл. $ABCa +$ сопротивл. $CaEF + A - B =$ сопротивл. нераздѣленного слоя $ABEF + A - B$; но какъ $A < B$ то $A - B < 0$, то слѣдоват. сопротивленіе слоя $ABEF$ раздѣленного на два слоя металлическою наклонною перегородкою меньше сопротивленія такого же слоя нераздѣленного или отъ вставленія металлической наклонной перегородки между двумя па-

параллельными электродами сопротивление должно уменьшиться и сила тока увеличиться и это увеличение будет тѣмъ болѣе, чѣмъ $B - A$ болѣе, но какъ $B = \lambda (x - x') - A$ и зависитъ отъ $x - x'$, слѣдов. увеличение будетъ тѣмъ болѣе чѣмъ $x - x'$ болѣе, т. е. чѣмъ наклоннѣе (и вмѣстѣ съ тѣмъ шире) пластинка. Это слѣдствіе совершенно подтверждается опытомъ.

Такимъ образомъ для цинковыхъ электродовъ и сѣрной кислоты найдено:

$$\text{сопротивл. } ABCa = 12,91 - \frac{p}{F} = W_1$$

$$\text{сопротивл. } CaEF = 8,56 - \frac{p}{F} = W_2$$

$$\text{слѣдоват. } W_1 + W_2 = 21,47 - 2 \frac{p}{F}$$

а по наблюденію: сопротивление слоя $ABEF$ раздѣленного металлическою перегородкою найдено $= 21,87 - 2 \frac{p}{F}$; оно должно быть равно $= W_1 + W_2$. Разность 0,4 между наблюденіемъ и вычисленіемъ должно приписать погрѣшностямъ происходящимъ отъ непостоянства батареи и измѣняемости поляризаціи.

Сопротивленіе слоя $ABEF$ нераздѣленного найдено $= 21,73 - \frac{p}{F}$.

Слѣдовательно сопротивление раздѣленного слоя

$$ABEF = 21,73 - \frac{p}{F} + A - B$$

$$A - B = -3,86, \frac{p}{F} = 3,55.$$

$$\text{Сопротивл. разд. слоя } ABEF + 2 \frac{p}{F} = 21,73 + \frac{p}{F} + A - B$$

$$= 21,73 + 3,55 - 3,86 = 21,42$$

$$\text{а по наблюденію} = 21,87.$$

Если раздѣлить слой раствора мѣднаго купороса $ABEF$ пластинкою Ca параллельною электродамъ AB и EF , въ такомъ случаѣ сила тока нисколько *неизмѣнится*, но если раздѣлить этотъ слой пластинкою наклонною CD , то сила тока тотчасъ же *увеличится* и увеличится тѣмъ болѣе, чѣмъ CD длиннѣе и слѣдов. чѣмъ CD наклоннѣе къ длинѣ сосуда. Въ другихъ жидкостяхъ и при другихъ электродахъ, въ которыхъ обнаруживается поляризація, отъ раздѣленія жидкаго слоя пластинкою перпендикулярною къ длинѣ (параллельною электродамъ) сила тока всегда уменьшается, потому что отъ вставленія пластинки вводится новая поляризація. Это послѣднее явленіе извѣстно уже съ давняго времени, но никто, какъ мнѣ кажется, не обратилъ вниманія на тотъ случай, когда вставленная (промежуточная) пластинка наклонна къ длинѣ. Если въ этомъ случаѣ вводится новая поляризація, то сила тока можетъ или уменьшиться, или остаться тою же самою или увеличиться, что будетъ зависѣть отъ разности $\frac{p}{F} - (B - A)$. Въ самомъ дѣлѣ: отъ вставленія пластинки и введенія поляризаціи сопротивленіе жидкости W измѣнится въ $W_1 = W + \frac{p}{F} - (B - A)$; поэтому если $B - A < \frac{p}{F}$ то сопротивленіе $W_1 > W$ и сила тока сдѣлается менѣе, если $B - A = \frac{p}{F}$, то какъ сопротивленіе, такъ и сила не измѣ-

нятся и наконецъ сопротивленіе W уменьшится и сила тока увеличится, когда $B - A > \frac{P}{F}$. Эти выводы совершенно подтверждаются опытомъ, который также, согласно съ выведеннымъ слѣдствіемъ изъ нашего закона, показываетъ, что если вмѣсто одной наклонной перегородки взять двѣ, три и т. д. то сопротивленіе отъ такого раздѣленія слоя будетъ болѣе и болѣе уменьшаться.

Производя опыты съ растворомъ мѣднаго купороса, я всякій разъ наблюдалъ замѣчательныя явленія которыя могутъ отчасти показать намъ распространеніе тока въ вышеизложенныхъ случаяхъ, а именно я замѣчалъ: 1) что если наклонный электродъ CD служилъ катодомъ, то поверхность его не покрывалась однороднымъ слоемъ мѣди, но толщина слоя замѣтно быстро уменьшалась отъ C къ D , 2) если же электродъ CD служилъ анодомъ, то по цвѣту поверхности можно было видѣть, что наибольшее окисленіе — отдѣленіе кислорода — было близъ C и отъ C уменьшалось къ D . 3) если же CD былъ вставленъ между AB и EF и токъ шелъ отъ AB къ EF , то на лѣвой поверхности CD обращенной къ AB осаждался слой мѣди, котораго толщина быстро уменьшалась отъ C къ D и близъ D была почти незамѣтна; на правой же поверхности CD окисленіе происходило въ большей степени у D и уменьшалось къ C , такъ что близъ C поверхность оставалась совершенно неизмѣнною (¹).

(¹) При цинковыхъ электродахъ въ сѣрной кислотѣ обнаруживаются тѣже явленія: только то, что мы сказали объ осадкѣ мѣди, надобно примѣнить къ освобожденію водорода.

Изъ этихъ явленій мы должны заключить, что при гальванопластическихъ работахъ только тогда можетъ получиться равномерный осадокъ мѣди на медали или другомъ подобномъ оригиналѣ, когда поверхность ихъ будетъ параллельна аноду и притомъ перпендикулярна къ длинѣ сосуда. Если же оба электрода, оставаясь параллельными, не перпендикулярны къ длинѣ, то осадокъ на поверхности будетъ также неравномерный, какъ мы это увидимъ изъ послѣдующаго.

Второй случай. Слой жидкости имѣетъ видъ призмы, которой горизонтальное сѣченіе есть параллелограммъ $ABCD$ (фиг. 9): электроды AB и CD занимаютъ всю глубину жидкости. О законахъ сопротивленія въ этомъ случаѣ я еще менѣе могу распространяться, чѣмъ о предъидущемъ случаѣ, потому что произведенныя мною изслѣдованія ни по числу наблюдений, ни по точности, для полного опредѣленія ихъ недостаточны. Я представлю здѣсь только два ряда наблюдений, произведенныхъ въ томъ же сосудѣ, какъ и предъидущія, съ растворомъ мѣднаго купороса и мѣдными электродами и потому же самому способу.

Рядъ I. Пластинки имѣли ширину $= 52$. Наклонность ихъ къ длинѣ или $< BAC = 31^{\circ}48'$.

x	W	δ
180	83,32	} 11,19
160	72,13	
140	60,69	11,44
120	49,08	11,61
100	37,60	11,48
80	26,52	11,08
60	15,89	10,63
40	6,83	9,06
20	1,96	4,87

Въ этой таблицѣ x означаетъ разстояніе AC въ полулиніяхъ, W сопротивленіе. Числа третьяго столбца суть разности между каждыми двумя числами втораго столбца предъидущимъ и послѣдующимъ. Изъ этой третьей колонны легко видѣть, что сопротивленіе въ разсматриваемомъ нами случаѣ измѣняется вовсе не пропорціонально разстояніямъ электродовъ, но въ гораздо бѣльшемъ отношеніи. Отъ прибавленія равнаго слоя жидкости (въ нашемъ случаѣ — слоя длиною въ 20 полулиній), отъ удлиненія слоя на равную величину, сопротивленіе увеличивается вовсе не на одну и ту же величину δ , но на величину, которая возрастаетъ съ удлиненіемъ слоя сперва быстро, потомъ медленнѣе и медленнѣе и наконецъ съ извѣстной длины слоя дѣлается постоянною, такъ что если взять слой такой опредѣленной длины и удлинять его, то увеличеніе сопротивленія его будетъ уже пропорціонально удлиненію. Слѣдоват. W есть такая функція отъ x : $W = f(x)$, которая при $x = d$ равна опредѣленной величинѣ A , а для величинъ $x > d$ имѣетъ видъ: $W = A + \lambda(x - d)$ гдѣ λ постоянная величина. Въ приведенныхъ наблюденіяхъ величина d заключается между 100 и 120 полулиній: положимъ $d = 100$, тогда $A = 37,60$ и $\lambda = 11,43$ (среднимъ числомъ изъ четырехъ первыхъ δ) для длины $x - d = 20$, а для $x - d = 1$ полулин. $\lambda = 0,5715$.

Этотъ же самый законъ имѣетъ, безъ сомнѣнія, мѣсто и въ слѣдующемъ рядѣ наблюденій, въ которомъ пластинки имѣютъ вдвое бѣльшую ширину и наклонны подѣ $\angle BAC = 20^\circ 47'$.

Рядъ II.

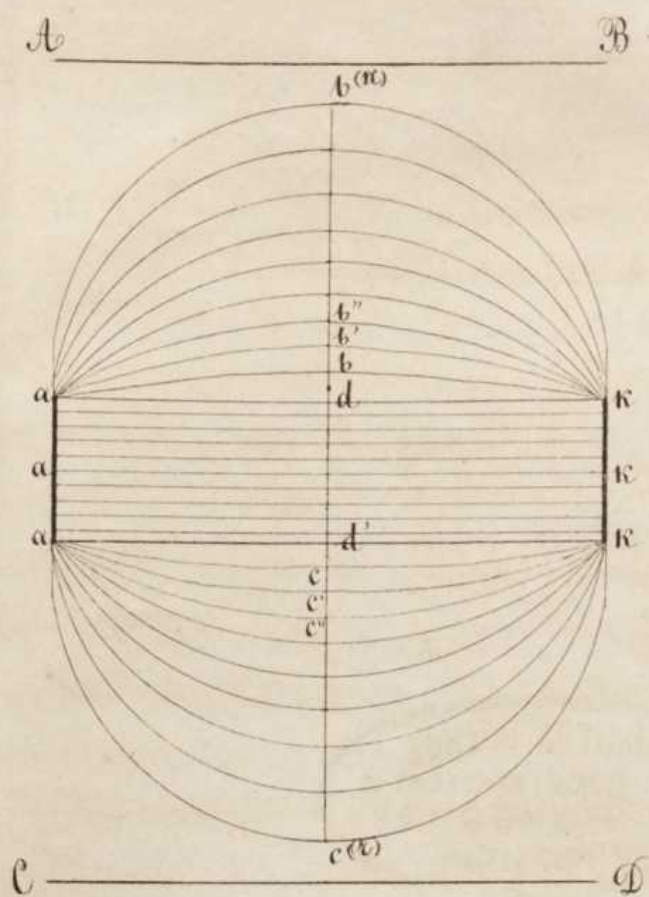
x	W	δ
120	17,22	} 8,93
100	8,29	
80	4,83	3,46
60	2,41	2,42
40	1,60	0,81

Въ предъидущемъ рядѣ предѣльная длина слоя d равнялась $d = 100$: въ этомъ же рядѣ мы не достигли этого даже при 120. Слѣдоват. чѣмъ наклоннѣе пластинка, тѣмъ эта предѣльная длина слоя d будетъ болѣе.

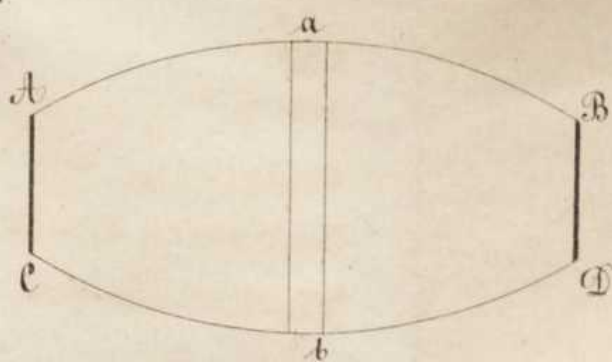
Зависимость этой длины d отъ наклонности пластинокъ, какъ и вообще законы сопротивленія въ разсматриваемомъ случаѣ, до сихъ поръ еще не могли быть опредѣлены мною; мои изслѣдованія всѣхъ обстоятельствъ, относящихся до изложенныхъ нами двухъ случаевъ, будутъ въ весьма непродолжительномъ времени приведены къ окончанію.

Разсматривая поверхность электродовъ въ послѣднемъ случаѣ, я замѣтилъ: 1) что анодъ не вездѣ равномерно окислялся т. е. освобожденіе кислорода было не вездѣ одинаково, но уменьшалось весьма быстро отъ B къ A (если AB служилъ анодомъ) и вблизи A было почти не замѣтно. 2) катодъ CD не на всей поверхности покрывался равномернымъ слоемъ мѣди, но толщина этого слоя весьма быстро уменьшалась отъ C къ D . Изъ этихъ двухъ явленій необходимо

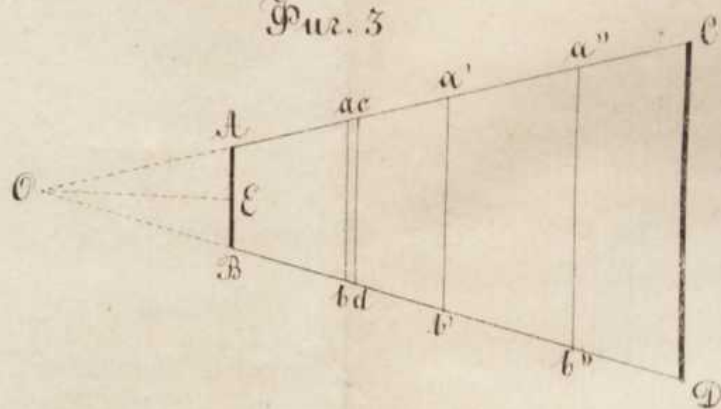
Фиг. 1



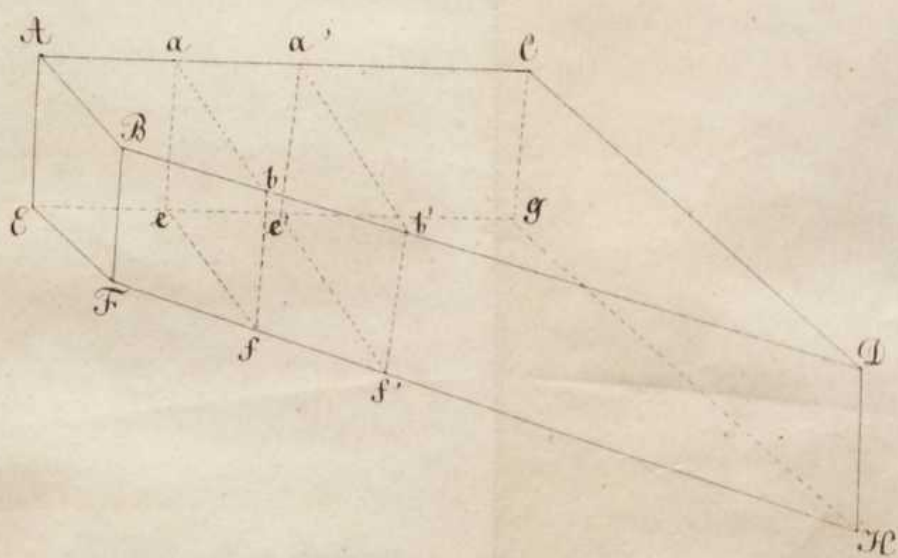
Фиг. 2



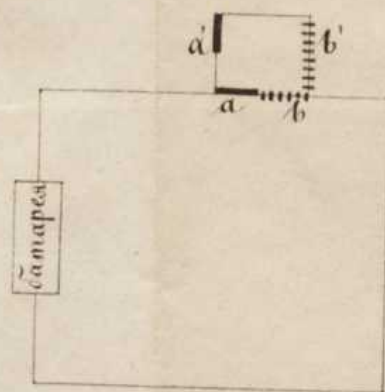
Фиг. 3



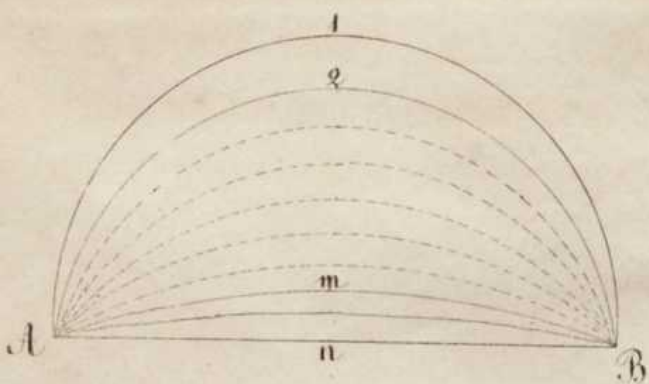
Фиг. 5



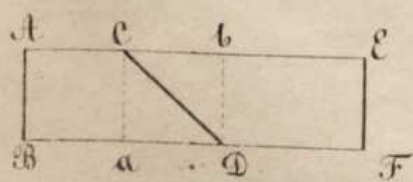
Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9

