

В33

Ф-24

№1



АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

~ КЛАССИКИ НАУКИ ~



**EXPERIMENTAL RESEARCHES
IN ELECTRICITY**

BY

MICHAEL FARADAY, D.C.L., F.R.S



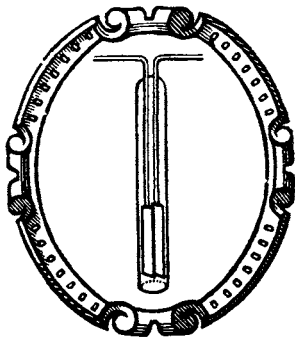
МИХАИЛ ФАРАДЕЙ
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

ТОМ I

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО

Е. А. ЧЕРНЫШЕВОЙ И Я. Р. ШМИДТ-ЧЕРНЫШЕВОЙ

КОММЕНТАРИИ И РЕДАКЦИЯ
ЧЛЕНА-КОРРЕСПОНДЕНТА АКАДЕМИИ НАУК СССР
ПРОФ. Т. П. КРАВЦА



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

1947

**Под общей редакцией Комиссии Академии Наук СССР
по изданию научно-популярной литературы**

**Председатель Комиссии президент Академии Наук СССР
академик *С. И. ВАВИЛОВ***

**Зам. председателя член-корреспондент Академии Наук СССР
*П. Ф. ЮДИН***



ПРЕДИСЛОВИЕ



Различные обстоятельства побудили меня собрать в один том те четырнадцать серий «Экспериментальных исследований по электричеству», которые появились в *Philosophical Transactions* в течение последних семи лет; главной причиной было желание предоставить возможность приобрести за умеренную цену полное собрание этих докладов, снабженное указателем, — тем, кто пожелал бы их иметь.

Я надеюсь, что читатели этого тома примут во внимание, что он не был написан как нечто целое, но создавался по частям; более ранние части в момент их написания редко имели определенную связь с теми частями, которые могли за ними последовать. Если бы я написал этот труд заново, то, вероятно, значительно изменил бы форму, но навряд ли изменил бы многое по существу; тогда, однако, его нельзя было бы рассматривать как верное воспроизведение или отчет о ходе и результатах всего исследования, а я хотел дать только это.

Да будет мне позволено выразить мое глубокое удовлетворение тем, что различные части, написанные с перерывами на протяжении семи лет, оказались столь согласующимися друг с другом. В этом не было бы ничего особенного, если бы факты, к которым эти части имеют отношение, были хорошо известны до написания каждой из них; но так как каждая часть претендует на то, что содержит какие-либо оригинальные открытия

или исправление общепринятых взглядов, то даже я, при всем моем возможном пристрастии, удивлен тем, в какой степени они, на мой взгляд, оказываются взаимно согласующимися и вообще точными. Я сделал некоторые изменения в тексте, но лишь типографского или грамматического характера; если иногда допущены большие исправления, то только с целью уяснения смысла, но не изменения его. Я часто добавлял примечания в сносках, как, например, в параграфах 59, 360, 439, 521, 552, 555, 598, 657, 883, — как для исправления ошибок, так и с целью пояснения, но все они, в отличие от оригинальных примечаний «Исследований», отмечены датой: «Дек. 1838 г.».

Дата научного доклада, претендующего на какое-либо открытие, часто представляет предмет большой важности, и очень жаль, что в отношении многих весьма ценных сообщений, существенных для истории и развития науки, на этот вопрос сейчас нельзя дать точного ответа. Это происходит и оттого, что доклады не снабжены индивидуальными датами, и оттого, что журналы, в которых они появляются, датированы неправильно, а именно — более ранними датами, чем они выпущены в свет. Чтобы дать иллюстрацию той путаницы, которая может отсюда возникнуть, я могу сослаться на примечание в конце первой серии. Эти обстоятельства побудили меня поместить вверху страницы дату текста (через одну страницу); я считал себя вправе пользоваться датами, указанными секретарем королевского общества на каждом отдельном докладе при его поступлении. Автор вряд ли имеет право претендовать на более раннюю дату, если она не засвидетельствована каким-либо официальным документом или лицом.

Прежде чем закончить эти строки, я попросил бы разрешения сделать одну или две ссылки: во-первых, на мои собственные доклады об электромагнитных вращениях в *Quarterly Journal of Science*, 1822, XII, 74, 186, 283, 416, а также на мое письмо о магнито-электрической индукции в *Annales de Chimie*, LI, стр. 404. По существу, эти доклады могли бы с полным правом появиться в этом томе, но тогда они нарушили бы его общий характер

как простой перепечатки «Экспериментальных исследований» в *Philosophical Transactions*.

Затем, в связи с четвертой серией, посвященной новому закону электрической проводимости, я хочу сослаться на опыты Франклина по непроводимости льда, которые были соответствующим образом расчленены и изложены профессором Бэчем (*Bache. Journal of the Franklin Institute, 1836, XVII, 183*). Этих опытов, которых я совсем не помнил, поскольку дело касается размеров действия, никогда не следует забывать, говоря об этом законе применительно к случаю воды, хотя они никоим образом не превосхищают формулировки даваемого мной закона относительно общего действия плавления на электролиты.

Имеются две статьи, которые я обязательно должен упомянуть как содержащие поправки и критические замечания к отдельным частям «Экспериментальных исследований». Первой из них является доклад Якоби (*Jacobi*) (*Philosophical Magazine, 1838, XIII, 40*) относительно возможности получать искру при соединении двух металлов всего одной парой пластин (915). Это прекрасная статья, и хотя я не повторял этих опытов, но описание их приводит меня к убеждению, что я, вероятно, ошибся. Вторая принадлежит прекрасному физику Марианини (*Marianini, Memorie della Societa Italiana di Modena, XXI, 205*) и представляет собой критику и экспериментальную поверку восьмой серии и вопроса о том, *создается* или не создается часть электричества гальванического элемента металлическим контактом. Я и теперь не вижу оснований менять высказанное мной мнение, но доклад является настолько ценным, столь непосредственно подходит к вопросу, который сам по себе чрезвычайно важен, что я намерен при первом удобном случае возобновить исследование и, если удастся, получить бесспорные для всех доказательства в ту или иную сторону.

Другие части настоящих исследований также удостоились чести критического внимания различных ученых; всем им я весьма обязан; некоторые из их поправок я указал в подстрочных примечаниях. В других случаях я не почувствовал силы

этих замечаний: время и прогресс науки наилучшим образом решат вопрос. Я не могу, положа руку на сердце, сказать: я желал бы, чтобы обнаружилось, что я ошибался. Но я горячо верю, что развитие науки в руках ее многочисленных и ревностных современных исследователей даст такие новые открытия и такие общеприложимые законы, что оно и меня заставит думать, что все то, что написано и разъяснено в настоящих «Экспериментальных исследованиях», принадлежит к уже пройденным этапам науки.

*Королевский институт.
Март 1839 г.*

Михаил Фарадей.

П Е Р В А Я С Е Р И Я

Раздел 1. Об индукции электрических токов. Раздел 2. Об образовании электричества из магнетизма. Раздел 3. О новом электрическом состоянии материи. Раздел 4. Объяснение магнитных явлений Араго.

Доложено 24 ноября 1831 г.

1. Присущее электричеству напряжения свойство создавать вблизи себя противоположное электрическое состояние получило общее название индукции. Поскольку оно вошло в научный язык, названием этим можно с полным основанием пользоваться в таком же общем смысле и в том случае, если бы электрические токи оказались способными переводить находящуюся в непосредственной близости от них материю в некоторое особое состояние, которое до того было безразличным. В этом именно смысле я и предполагаю употреблять этот термин в настоящем докладе.

2. Целый ряд действий, вызываемых индукцией электрических токов, был найден и описан ранее, как то: намагничивание, опыты Ампера с поднесением медного диска к плоской спирали, повторение им при помощи электромагнитов замечательных опытов Араго и, может быть, кое-какие другие. Однако казалось невероятным, чтобы этим исчерпывались все действия, которые может производить индукция токов, тем более, что в отсутствии железа почти все эти явления отпадают, тогда как имеется бесчисленное множество тел, обнаруживающих определенные явления индукции от электричества напряжения, и тела эти до сих пор еще не были подвергнуты действию индукции от электричества в движении.

3. Далее: прием ли мы прекрасную теорию Ампера или какую-либо другую, или мысленно откажемся от теорий, все же представляется весьма необычайным, чтобы, с одной стороны, всякий электрический ток сопровождался магнитным действием соответствующей интенсивности, направленным под прямым углом к току, и чтобы в то же время в хороших проводниках электричества, помещенных в сферу этого действия, совсем не индуцировался ток, не возникало какое-либо осязаемое действие, эквивалентное по силе такому току.

4. Эти рассуждения и вытекающая из них как следствие надежда получить электричество при помощи обыкновенного магнетизма в разные времена побуждали меня экспериментально изучить индуктивное действие электрических токов. Недавно я добился положительных результатов, и при этом не только оправдались мои надежды, но я получил в руки ключ, который, как мне кажется, открывает дверь к полному объяснению магнитных явлений Араго, а также к открытию некоторого нового состояния, которое, быть может, играет большую роль в некоторых наиболее важных действиях электрических токов.

5. Эти результаты я предполагаю описать не в том порядке, в каком они были получены, а таким образом, чтобы дать наиболее сжатое образование их в целом.

РАЗДЕЛ 1

Об индукции электрических токов

6. Около двадцати шести футов медной проволоки диаметром в одну двадцатую дюйма было намотано на деревянный цилиндр в виде спирали; отдельные витки спирали предохранялись от касания проложенным между ними тонким шнурком. Эта спираль была покрыта колленкором, а затем таким же способом была навита вторая проволока. Этим путем были навиты одна на другую двенадцать спиралей, длиной в среднем по двадцать семь футов

проводами каждая, и все в одном направлении. Первая, третья, пятая, седьмая, девятая и одиннадцатая спирали были соединены конец с концом так, что образовали одну общую катушку; остальные были соединены таким же способом; таким образом получились две основные, тесно переплетенные друг с другом спирали, имеющие одинаковое направление, нигде не соприкасающиеся и содержащие каждая по сто пятьдесят пять футов проволоки

7. Одна из этих спиралей была соединена с гальванометром, другая — с хорошо заряженной гальванической батареей из десяти пар пластин в четыре квадратных дюйма каждая, причем медные пластины были двойные; однако не удалось наблюдать ни малейшего отклонения стрелки гальванометра.

8. Была изготовлена подобная же составная катушка, состоящая из шести отрезков медной проволоки и шести отрезков проволоки из мягкого железа. Полученная таким образом железная катушка содержала двести четырнадцать футов проволоки, а медная — двести восемь; однако, независимо от того, как проходил ток от батареи: через медную или через железную катушку, — гальванометром не удавалось обнаружить никакого действия на другую катушку.

9. В этих, как и многих подобных опытах, между железом и другими металлами не было обнаружено никакой разницы в действии.

10. Двести три фута медной проволоки в одном куске были намотаны на большой деревянный барабан; другие двести три фута такой же проволоки были проложены в виде спирали между витками первой обмотки, причем металлический контакт был везде устранен посредством шнура. Одна из этих спиралей была соединена с гальванометром, а другая — с хорошо заряженной батареей из ста пар пластин в четыре квадратных дюйма с двойными медными пластинами. При замыкании контакта наблюдалось внезапное, но очень слабое действие на гальванометр, и подобное же слабое действие имело место при размыкании контакта с батареей. Но в дальнейшем, при прохожде-

нии гальванического тока по одной из спиралей, не удавалось обнаружить отклонения гальванометра или иного действия на вторую спираль, похожего на индукцию, хотя мощность батареи и была явно велика, о чем можно было судить по нагреванию всей присоединенной к ней спирали и по яркости разряда, если он пропускаться через древесный уголь.

11. Повторение опытов с батареями из ста двадцати пар пластин не производило других действий; но в этом, как и в предыдущем случае, было установлено, что незначительное отклонение стрелки, получающееся в момент замыкания контакта, всегда имело одно и то же направление, и что подобное ему слабое отклонение, вызываемое размыканием контакта, было направлено в обратную сторону, и далее, что эти действия наблюдались и с прежними катушками (6, 8).¹

12. Результаты, которые к этому времени были мною получены с магнитами, привели меня к мысли, что ток от батареи при пропускании его через один проводник действительно индуцирует подобный же ток в другом проводнике, но что этот ток длится всего один момент и по природе своей походит скорее на электрическую волну, возникающую при разряде обыкновенной лейденской банки, чем на ток от гальванической батареи, и что поэтому, он, быть может, окажется в состоянии намагнитить стальную иглу, хотя на гальванометр действует едва-едва.

13. Это предположение подтвердилось: действительно, когда я, заменив гальванометр небольшой полый спиралью, намотанной на стеклянную трубку, ввел внутрь ее стальную иглу, соединил батарею, как и ранее, с индуцирующим проводом и затем вынул иглу еще до момента размыкания контакта с батареей, то она оказалась намагнитенной.

14. Если сначала включить батарею, и уже после этого ввести во внутрь служившей для наблюдения небольшой спира-

¹ В дальнейшем цифры в скобках, как и у Фарадея, означают *параграфы* его текста (сокращенное обозначение — п.). — *Ред.*

ли (13) немагнитиченную иглу и, наконец, разомкнуть контакт с батареей, то игла оказывается намагнитиченной и, повидимому, в такой же степени, как и раньше, но полюсы оказываются противоположного знака.

15. Такие же действия имели место при опытах с описанными (6, 8) большими составными спиралями.

16. Если немагнитиченная игла вводилась внутрь испытательной спирали раньше, чем был соединен с батареей индуцирующий провод, и оставалась там до момента размыкания контакта, то она совсем не обнаруживала магнетизма или обнаруживала его лишь в слабой степени; в этом случае первое действие было почти целиком нейтрализовано вторым (13, 14). Сила действия тока, индуцируемого при замыкании контакта, оказывалась всегда больше той, которая индуцировалась при размыкании контакта; поэтому, когда контакт замыкался и размыкался много раз подряд, причем игла оставалась внутри испытательной спирали, то она в конце концов оказывалась обладающей некоторым намагнитичением, но намагнитичивалась таким образом, как будто на нее действовал один только ток, индуцированный при замыкании контакта. Это действие может объясняться так называемой аккумуляцией на полюсах разомкнутой батареи; вследствие этой аккумуляции ток при первоначальном замыкании контакта оказывается более сильным, чем впоследствии при размыкании его.

17. Если цепь между спиралью или подвергаемым индукции проводом и гальванометром, или испытательной спиралью (13) не была замкнута перед тем, как замыкалось или размыкалось соединение между батареей и индуцирующим проводом, то нельзя обнаружить никакого действия на гальванометр. Таким образом, если сначала сделать соединения в цепи батареи, а затем соединить подвергаемый индукции провод с испытательной (13) спиралью, то намагнитичивающая способность не проявляется. Но если теперь сохранить эти соединения и размыкать соединения батареи, то в спирали образуется магнит, но второго рода (14), т. е. с полюсами, указывающими на существование

тока того же направления, что и ток батареи, или тока, который всегда индуцируется при прекращении тока батареи.

18. В предыдущих опытах провода были расположены близко друг от друга, и контакт индуцирующего провода присоединялся к батарее на то время, когда требовалось иметь индукционное действие. Но так как можно было бы предполагать, что это особое действие проявляется только в моменты замыкания и размыкания контакта, то я производил индукцию и другим путем. Несколько футов медного провода были натянуты большими зигзагами, в виде буквы W, на поверхности широкой доски; второй провод был натянут точно такими же зигзагами на второй доске, так что, при поднесении ее к первой, провода коснулись бы друг друга на всем протяжении, если бы между ними не был проложен лист толстой бумаги. Один из этих проводов был соединен с гальванометром, а другой — с гальванической батареей. Затем первый провод перемещался по направлению ко второму, и во время его приближения стрелка отклонялась. Во время удаления провода стрелка отклонялась в противоположном направлении. Если заставлять провода сближаться, а затем удаляться друг от друга в такт с колебаниями стрелки, последние скоро становились весьма значительными; однако по прекращении движения проводов по направлению друг к другу или друг от друга, стрелка гальванометра в скором времени возвращалась в свое обычное положение.

19. При сближении проводов индуцированный ток имел направление, обратное направлению индуцирующего тока. При удалении друг от друга проводов индуцированный ток имел то же направление, что и индуцирующий ток (54). Когда провода оставались неподвижными, индуцированного тока не было вовсе.

20. Когда в цепь между гальванометром и его спиралью или проводом вводилась небольшая гальваническая установка таким образом, чтобы создалось постоянное отклонение стрелки в 30° или 40° , а затем индуцирующий провод соединялся с батареей из ста пар пластин, то, как и ранее, имело место мгновен-

ное действие (11); однако стрелка гальванометра немедленно возвращалась обратно и неизменно сохраняла свое положение, несмотря на продолжающийся контакт между индуцирующим проводом и батареей. Это явление происходит независимо от того, каким способом производился контакт (33).

21. Отсюда, повидимому, следует, что расположенные рядом токи — как одинакового, так и противоположного направления — не обнаруживают способности оказывать друг на друга непрерывное индуцирующее действие, могущее сказаться на их величине или же на их напряжении.

22. Мне не удалось убедиться в прохождении электричества через подвергаемый индукции проводник ни с помощью ощущения на язык, ни посредством искры, ни путем нагревания тонкой проволоки или древесного угля; равным образом я не мог получить никаких химических действий, хотя контакты с растворами металлических и других солей замыкались и размыкались с контактами батареи попеременно, так что второе действие индукции не должно было бы ни противодействовать первому, ни нейтрализовать его (13, 16).

23. Такое отсутствие действия обусловлено отнюдь не тем, что индуцированный ток электричества не может проходить через жидкости, а, вероятно, его малой продолжительностью и слабой интенсивностью, ибо при введении в цепь на индуцируемой стороне (20) двух больших медных пластин, погруженных в раствор поваренной соли и предохраняемых от соприкосновения проложенной между ними материей, действие на регистрирующий гальванометр или же на испытательную спираль имело место, как и ранее. Индуцируемое электричество проходило также через гальванический элемент (20). Когда, однако, количество промежуточной жидкости было уменьшено до капли, то гальванометр не давал показаний.

24. Попытки получить аналогичные явления при употреблении проводов, несущих обыкновенное электричество, оказались по своим результатам сомнительными. Была взята составная спираль, сходная с уже описанной и содержащая восемь эле-

ментарных спиралей (6). Подобные концы четырех спиралей были связаны друг с другом проволочкой, и полученные таким образом два главных конца были соединены с небольшой намагничивающей спиралью, заключающей в себе ненамагниченную иглу (13). Остальные четыре спирали были устроены таким же образом, но концы их были соединены с лейденской банкой. При пропускании разряда игла становилась магнитом; однако было не лишено вероятности, что часть электричества из лейденской банки прошла в маленькую спираль и таким образом намагнитила иглу. В самом деле, не было оснований ожидать, чтобы электричество от лейденской банки, обладающее, как известно, высоким напряжением, не распространялось через все металлические части, находящиеся между изолирующими прокладками.

25. Однако же отсюда не следует, что разряд обыкновенного электричества через провод не вызывает явлений, аналогичных тем, которые создаются гальваническим электричеством; но так как представляется невозможным отделить действия, производимые в момент начала разряда, от равных им, но противоположных действий, производимых при его исчезновении (16), поскольку для обыкновенного электричества эти моменты совпадают, трудно надеяться, чтобы подобного рода опытами можно было эти явления обнаружить.

26. Таким образом очевидно, что токи гальванического электричества обнаруживают явления индукции, до некоторой степени аналогичные явлениям, создаваемым электричеством напряжения, хотя, как будет видно далее, между ними существует много различий. Следствием этого является создание других токов (которые однако только мгновенны), параллельных или же обнаруживающих стремление быть параллельными индуцирующему току. По расположению полюсов иглы, возникающему в испытательной спирали (13, 14), и из отклонений стрелки гальванометра во всех случаях было ясно, что индуцируемый ток, производимый первым действием индуцирующего тока, был по направлению противоположен последнему, а ток, произ-

водимый прекращением индуцирующего тока, имел одинаковое с ним направление (19). Для краткости, я предлагаю называть это действие тока от гальванической батареи *вольта-электрической индукцией*. Свойства вторичного провода, когда индукция уже произвела первый ток и когда в соседнем индуцирующем проводе еще продолжает течь электричество от батареи (10, 13), доказывают существование особого электрического состояния, к рассмотрению которого мы вернемся далее (60). Все эти результаты были получены с вольтовым прибором, состоявшим из одной пары пластин.

РАЗДЕЛ 2

Об образовании электричества из магнетизма

27. Из круглого брускового мягкого железа было сварено кольцо; толщина металла была равна семи восьмым дюйма, а наружный диаметр кольца — шести дюймам. На одну часть этого кольца было намотано три спирали, содержавшие каждая около двадцати четырех футов медной проволоки, толщиной в одну двадцатую дюйма. Спирали были изолированы от железа и друг от друга и наложены одна на другую описанным выше способом (6), занимая приблизительно девять дюймов по длине кольца. Ими можно было пользоваться по отдельности и в соединении; эта группа обозначена буквой *A* (рис. 1). На другую часть кольца было намотано таким же способом около шестидесяти футов такой же медной проволоки в двух кусках, образовавших спираль *B*, которая имела одинаковое направление со спиралями *A*, но была отделена от них на каждом конце на протяжении приблизительно полдюйма голым железом.

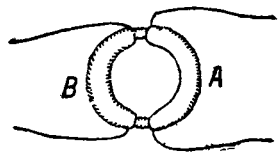


Рис. 1.

28. Спираль *B* соединялась медными проводами с гальванометром, помещенным на расстоянии трех футов от кольца. От-

дельные спирали A соединялись конец с концом так, что образовали общую спираль, концы которой были соединены с батареей из десяти пар пластин в четыре квадратных дюйма. Гальванометр реагировал немедленно, и притом значительно сильнее, чем это наблюдалось, как описано выше, при пользовании в десять раз более мощной спиралью *без железа* (10); однако, несмотря на сохранение контакта, действие прекращалось, и стрелка вскоре возвращалась в свое нормальное положение, обнаруживая как бы полное безразличие по отношению к связанной с ней электромагнитной схеме. При размыкании контакта с батареей стрелка снова сильно отклонялась, но в направлении, противоположном тому, которое индуцировалось в первом случае.

29. При таком видоизменении прибора, когда спираль B была включена, а гальванометр был присоединен к одному из трех проводов A (27), а два остальные были соединены в одну спираль, через которую проходил ток от батареи (28), действия получались подобные же, но значительно более сильные.

30. Когда соединение с батареей производилось в одном определенном направлении, стрелка гальванометра отклонялась в одну сторону; при обратном направлении соединений, отклонение происходило в противоположную сторону. Отклонение при размыкании контакта батареи было всегда противоположно отклонению, получаемому при замыкании. Отклонение при замыкании контакта батареи всегда указывало на существование индуцированного тока, по направлению противоположного току батареи; при размыкании же контакта, отклонение указывало на ток, индуцированный в направлении, совпадающем с направлением тока батареи. Ни замыкание, ни размыкание контакта на стороне B или в каком-либо месте цепи гальванометра не оказывало никакого действия на последний. Дальнейшее существование тока от батареи не вызывало никакого отклонения стрелки гальванометра. Поскольку приведенные выше результаты одинаковы для всех этих и подобных им опытов с обыкновенными магнитами, подробно рассматриваемых далее, нет необходимости снова их особо описывать;

31. Когда я пользовался для упомянутого выше кольца силой ста пар пластин (10), толчок, сообщаемый гальванометру при замыкании и размыкании контакта, был настолько велик, что стрелка начинала вращаться и делала четыре или пять оборотов; прежде чем трение воздуха и земной магнетизм сводили ее движение к простым колебаниям.

32. При поднесении к концам спирали *B* древесного угля можно было обнаружить *искорку* при замыкании контакта с батареей в цепи *A*. Эта искорка не могла быть вызвана ответвлением части тока от батареи через железо в спираль *B*, так как при сохранении контакта с батареей гальванометр, тем не менее, возвращался к своему совершенно безразличному состоянию (28). При размыкании контакта искра наблюдалась редко. Платиновую проволочку раскалить этим индуцированным током не удавалось; однако есть, повидимому, все основания думать, что это действие можно было бы получить при пользовании более сильным начальным током или более мощной комбинацией спиралей.

33. Через спираль *B* и гальванометр был пропущен слабый гальванический ток таким образом, чтобы стрелка отклонилась на 30 или 40°; после этого к цепи *A* была присоединена батарея из ста пар пластин; однако по прекращении первого действия стрелка гальванометра возвращалась в положение, строго соответствующее тому слабому току, который проходил по цепи самого гальванометра. Это имеет место независимо от того, каким путем осуществлять соединение с батареей, и указывает, что и в этом случае (20) не существует постоянного влияния токов друг на друга ни в отношении их величины, ни в отношении их напряжения.

34. Затем было испытано другое устройство, связывающее первые опыты по вольта-электрической индукции (6—26) с настоящими. Система спиралей, подобная вышеописанной (6), была навита на полый картонный цилиндр; спирали состояли из восьми отрезков медной проволоки, общей длиной в 220 футов; четыре из этих спиралей были соединены концы с концом,

а затем с гальванометром; остальные четыре были также соединены конец с концом, и через них разряжалась батарея из ста пар. При таких условиях действие на гальванометр было едва ощутимым (11), хотя индуцированный ток обладал намагничивающей способностью (13). Однако, когда внутрь картонной трубки, окруженной спиралью, вводился цилиндр из мягкого железа, толщиной в семь восьмых дюйма и длиной в двенадцать дюймов, индуцированный ток оказывал на гальванометр очень сильное действие, сопровождающееся всеми вышеописанными явлениями (30). Намагничивающая способность, которой он обладал, была, повидимому, также выше, чем в отсутствие железного цилиндра.

35. Когда железный цилиндр заменялся таким же точно медным цилиндром, то не получалось никакого действия помимо того, какое имело место при наличии одних только спиралей. Устройство с железным цилиндром оказалось менее сильным, чем вышеописанное устройство с кольцом (27).

36. Подобные действия были затем получены при помощи обыкновенных магнитов: так, все элементарные спирали только что описанной полой спирали (34) были соединены с гальванометром посредством двух медных проводов, длиной по пять футов каждый; во внутрь спирали, по ее оси, был введен цилиндр из мягкого железа; два полосовых магнита, длиной по двадцать четыре дюйма каждый, были приложены друг к другу разноименными полюсами, так что давали подобие подковообразного магнита; другие два полюса прикладывались к концам железного цилиндра так, что он временно превращался в магнит (рис. 2); при размыкании магнитных контактов или при изменении их на обратные намагничение железного цилиндра можно было по желанию прекращать или изменять на противоположное.

37. В момент образования магнитного контакта стрелка отклонялась; при продолжительном контакте стрелка становилась безразличной и возвращалась в свое первоначальное положение; при нарушении контакта она снова отклонялась, но в направлении, противоположном первому, а затем опять становилась

безразличной. При обращении магнитных контактов, отклонения стрелки также обращались.

38. При образовании магнитного контакта отклонение стрелки было таково, что указывало на ток электричества, индуцированный в направлении, обратном тому, которое способно образовывать магнит той же полярности, какой получался в действитель-

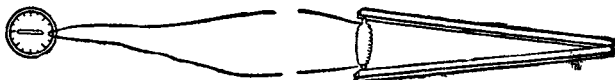


Рис. 2.

ности при соприкосновении с полосовыми магнитами. Так, когда полюс с меткой и полюс без метки были расположены, как изображено на рис. 3, ток в спирали проходил в указанном на рисунке направлении, где *P* есть конец провода, идущего к положительному полюсу батареи, т. е. тот конец, к которому обращены цинковые пластины, а *N* — отрицательный провод. Такой ток намагнитил бы цилиндр в противоположном направлении по сравнению с магнитом, который образуется при соприкосновении с полюсами *A* и *B*; а такой ток направлен противоположно токам, которые, согласно прекрасной теории Ампера, образуют такой магнит, какой изображен на рисунке.¹

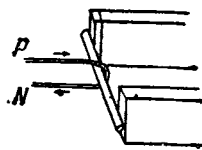


Рис. 3.

39. Однако, поскольку можно было бы предположить, что во всех предыдущих опытах, описанных в этой главе, мгновенный индуцированный ток возбуждался благодаря некоторому осо-

¹ Для большинства запоминание относительного расположения электрического тока и (образуемого им) магнита сопряжено с большими трудностями, ввиду чего Ампером и другими предложены три-четыре мнемонических правила. Я беру на себя смелость указать на следующее правило, как на чрезвычайно простое, оказывающее существенную помощь в наших и близких к ним широтах. Пусть наблюдатель вообразит себя смотрящим

бому действию, имевшему место во время образования магнита, а не благодаря самому факту его приближения, то был произведен следующий опыт. Все тождественные концы составной полый спирали (34) были соединены вместе медной проволокой, и образованные таким образом два главных вывода были связаны с гальванометром. Цилиндр из мягкого железа (34) был заменен цилиндрическим магнитом в три четверти дюйма диаметром и в восемь с половиной дюймов длиной. Один конец этого магнита был введен внутрь спирали по ее оси (рис. 4), а затем, после того как стрелка гальванометра успокоилась, магнит был быстро



Рис. 4.

вдвинут внутрь спирали; стрелка немедленно отклонялась в таком направлении, как если бы магнит был образован посредством одного из двух предыдущих процессов (34, 36). При оставлении магнита внутри стрелка возвращалась в свое первоначальное

положение, а при вытаскивании его отклонялась в противоположном направлении. Действия эти не были особенно сильны; однако, вдвигая и выдвигая магнит таким образом, чтобы каждый последующий толчок прибавлялся к произведенным уже ранее, удавалось сообщить стрелке колебания размахом в 180° и более.

40. В этом опыте не следует продвигать магнит сквозь спираль до конца, так как тогда возникает еще другое действие. При

сверху вниз на магнитную стрелку наклона или на полюс земли и затем представит себе направление вращения часовой стрелки или правого винта; токи, циркулирующие вокруг стрелки в этом направлении, превратили бы ее в магнит, подобный стрелке наклона, или сами представляли бы собой электромагнит, обладающий аналогичными свойствами; будучи поднесены близко к магниту, они стремились бы привести его в это положение; или же сами приняли бы это положение под действием расположенного таким образом магнита, а согласно теории Ампера, они считаются движущимися внутри магнита в этом направлении. Если запомнить эти два обстоятельства, положение стрелки наклона и движение часовой стрелки, то отсюда уже нетрудно вывести любое другое соотношение между током и магнитом.

вдвигании магнита стрелка гальванометра отклоняется в определенном направлении, но когда магнит уже находится внутри спирали, то как при продвижении его полностью через нее, так и при обратном его выдвигании стрелка отклоняется в направлении, обратном предыдущему. Если магнит вдвинуть в спираль и пронести через нее одним непрерывным движением, то стрелка смещается в одну сторону, затем внезапно останавливается, и, наконец, начинает двигаться в обратную сторону.

41. Если полуую спираль, вроде той, которая описана выше (34), расположить с востока на запад (или ином неизменном направлении) и магнит удерживать в направлении с востока на запад, причем так, чтобы его полюс с меткой всегда был обращен в одну и ту же сторону, то независимо от того, с какого конца спирали вводится магнит, и, значит, независимо от того, какой полюс вдвигается первым, стрелка отклоняется всегда одинаковым образом; с другой стороны, какого направления ни держаться, вынимая магнит, отклонение опять-таки получается одно и то же, но противоположное тому, которое получается при вдвигании магнита в спираль.

42. Эти действия являются простыми следствиями закона, описываемого ниже (114).

43. Если составить из восьми элементарных спиралей одну длинную спираль, действие оказывается не таким сильным, как при описанном устройстве. Если брать только одну из восьми спиралей, действие тоже сильно ослабевает. Были приняты все меры для предохранения гальванометра от непосредственного действия на него индуцирующего магнита, и было обнаружено, что перемещение магнита в прежнем направлении и на прежнее расстояние, но с наружной стороны спирали, не оказывало никакого действия на стрелку.

44. В распоряжении Королевского Общества имеется принадлежавший ранее д-ру Говину Найту (Gowin Knight), большой составной магнит, который с разрешения президента и совета (Общества) был предоставлен в мое пользование для производства этих опытов; магнит находится в настоящее время

на попечении г-на Кристи (Christie) в его доме в Ууличе (Woolwich), где я, благодаря любезности г-на Кристи, получил возможность работать; и я весьма ему обязан за помощь во всех опытах и наблюдениях, произведенных с этим магнитом. Магнит этот состоит из полосовых магнитов, числом около 450, каждый длиной в пятнадцать дюймов, шириной в один дюйм и толщиной в полдюйма; они уложены в ящике так, что образуют на одном из его концов два внешних полюса (рис. 5). Эти полюсы выступают горизонтально на шесть дюймов из ящика и имеют каждый двенадцать дюймов в высоту и три дюйма в ширину. Они отстоят друг от друга на девять дюймов, и если положить цилиндр из мягкого железа в три четверти дюйма диаметром и в двенадцать дюймов длиной поперек от одного к другому, то на то, чтобы разорвать контакт, требуется усилие около ста фунтов. Левый полюс на рисунке был с меткой.¹

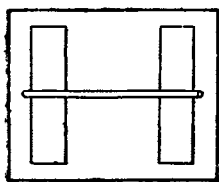


Рис. 5.

45. Во всех опытах, произведенных с этим магнитом, гальванометр находился от него на расстоянии около восьми футов, и не прямо против полюсов, а примерно под углом в 16—17° в сторону. Было най-

дено, что соединение полюсов куском мягкого железа, равно как и нарушение такого соединения, оказывало на прибор некоторое слабое действие; однако всякая могущая произойти от этого ошибка легко и тщательно устранялась.

46. Магнит этот обнаруживал поразительные электрические действия. Если продеть сквозь вышеупомянутую составную полу спираль цилиндр из мягкого железа длиной в 13 дюймов, концы спиралей соединить в выводы (39), присоединить послед-

¹ Во избежание недоразумений в отношении полюсов магнита, тот полюс, который указывает на север, я буду называть полюсом с меткой; если бы я стал при случае говорить о северном и южном концах стрелки, то под этим я не подразумеваю северный и южный полюсы. Многие считают за истинный северный полюс стрелки тот, который указывает на юг; однако у нас в Англии этот полюс часто называют южным.

ние к гальванометру, а железный цилиндр привести в соприкосновение с двумя полюсами магнита, то получается такой сильный толчок электричества, что стрелка делает подряд много оборотов.¹

47. Несмотря на такую большую силу, стрелка при продолжении контакта возвращалась в свое естественное положение, совершенно независимо от расположения спирали (30). При разрыве магнитного контакта стрелка начинала вращаться в противоположном направлении с той же силой, что и в предыдущем случае.

48. Кусок медного листа был обернут *один раз* вокруг того же железного цилиндра наподобие втулки, внутри которой для предохранения от контакта была проложена бумага, и края листа были соединены с проводами гальванометра. В момент приложения к полюсам железа гальванометр обнаруживал сильное действие.

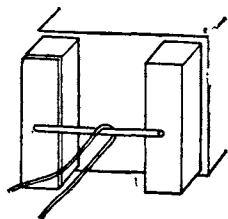


Рис. 6.

49. Вместо спиралей и втулок через железный цилиндр был перекинут провод гальванометра, так что образовалась всего одна половина витка (рис. 6); однако, даже и в этом случае при замыкании или размыкании магнитного контакта обнаруживалось сильное действие на стрелку.

50. При поднесении спирали с железным цилиндром к магнитным полюсам, но *не до соприкосновения с ними*, все же получались сильные действия. Всякий раз, как спираль без железного цилиндра, т. е. не содержащая никакого металла, кроме меди, была приближаема к полюсам или помещалась между ними (44), стрелка отклонялась на 80—90° или более от своего естественного положения. Индуктивная сила оказывалась, конечно, тем больше, чем ближе к полюсам подносилась спираль, все равно

¹ Стержень из мягкого железа в форме якоря от подковообразного магнита, снабженный такого рода катушкой, намотанной вокруг его середины, при соприкосновении с магнитом становится источником кратковременного, но определенного тока электричества.

с железным цилиндром или без него; но в других отношениях, независимо от того, приводилась ли спираль в соприкосновение с магнитом или нет, явления получались одни и те же, а именно: постоянного действия на гальванометр не было, действия же при приближении и удалении спирали были друг другу противоположные (30).

51. Если вместо железного цилиндра вводился медный стержень, действие, вызываемое спиралью, было не больше, чем в отсутствии стержня. Но при замене последнего толстой железной проволокой, магнито-электрическая индукция значительно усиливалась.

52. Во всех этих опытах со спиралью направление получаемого тока было таково же, как описанное выше (38) и получавшееся с более слабыми полосовыми магнитами.

53. Если спираль, содержащую четырнадцать футов медной проволоки, соединить с гальванометром и приближать прямо к полюсу с меткой по линии ее оси, то она оказывала сильное действие на прибор; индуцированный к ней ток был противоположен току, существующему в магните согласно теории Ампера (38), или же току в электромагните той же полярности. При удалении спирали индуцированный ток менял свое направление на противоположное.

54. Через такую же спираль был пропущен ток от восьми-десяти пар 4-дюймовых пластин так, что получался электромагнит, а затем к ней была приближена другая спираль, соединенная с гальванометром (5); стрелка тогда начинала колебаться, указывая на присутствие в спирали гальванометра тока, противоположного току в соединенной с батареей спирали (18, 26). При удалении этой последней стрелка отклонялась в противоположном направлении.

55. Индуцировались токи в одиночных проводках, приближаемых в некоторых определенных направлениях к магнитному полюсу. При удалении проводников направление токов менялось на противоположное. В подобного рода опытах провода не следует удалять в направлениях, отличных от тех,

по которым они приближались, иначе могут возникнуть запутанные и неправильные действия, причины которых станут очевидными из четвертой части настоящего доклада.

56. Все попытки получить посредством индуцированных токов электричества химические действия оказались неудачными, хотя были приняты не только все описанные выше (22) меры предосторожности, но и всякие другие, какие только можно было вообразить. Не получалось никакого ощущения на язык; равным образом не обнаруживалось судорожного сокращения конечностей лягушки. Не удавалось также накалить ни древесный уголь, ни тонкую проволоку (133). Но при повторении на досуге опытов в Королевском институте с оправленным магнитным железняком, принадлежащим проф. Даниэлю (он был способен поднять около тридцати фунтов), наблюдались сильные сокращения мышц лягушки при каждом замыкании магнитного контакта. Сначала не удавалось вызывать сокращений при разрыве магнитного контакта; однако, предположив, что отсутствие действия обусловлено сравнительной медленностью разъединения, я стал производить это последнее ударом, и тогда лягушка содрогалась весьма сильно. Чем более мгновенно происходит соединение и разъединение, тем сильнее содрогание. Мне показалось также, что я мог заметить *ощущение* на язык и *вспышку* перед глазами, но никаких признаков химического разложения я обнаружить не мог.

57. Различные опыты, описанные в этом разделе, подтверждают, я полагаю, с достаточной полнотой получение электричества при помощи обыкновенного магнетизма. Что напряжение его очень слабо, а количество мало, это не будет казаться удивительным, если припомнить, что, подобно термоэлектричеству, оно развивается полностью внутри самого вещества металлов, сохраняющих всю свою проводящую способность. Но если что-то проходит описанным способом вдоль металлических проводов, если оно проявляет при этом прохождении особые магнитные действия и силу, присущие электрическому току; если оно может приводить в движение конечности лягушки и вы-

зывать их содрогание; если, наконец, оно может производить искру¹ при разряде через древесный уголь (32), то это что-то может быть только электричеством. Поскольку все действия могут производиться электромагнитами с железом (34), то нет сомнения, что для этих опытов пригодны устройства, подобные магнитам профессоров Молля (Moll), Генри (Henry), Тэн-Эйке (Ten Eyke) и др., способным поднимать до двух тысяч фунтов, и что в этом случае не только возможно получить более яркую искру, но можно было бы также раскалить проволоки и, поскольку ток способен проходить через жидкости (23), произвести и химическое действие. Вероятность получения таких действий станет еще больше, если силой подобных аппаратов возбуждать магнито-электрические устройства, описанные в разделе 4.

58. Доходящее почти до тождества сходство действия обычных магнитов, с одной стороны, и электромагнитов или вольта-электрических токов, с другой, находится в поразительном согласии с теорией г. Ампера, подтверждая последнюю и давая сильные доводы в пользу предположения, что действие в обоих случаях одинаково; однако, поскольку все же требуется различие в наименовании, то я предлагаю называть это действие, обнаруживаемое обыкновенными магнитами, *магнито-электрической или магнэлектрической индукцией* (26).

59. Единственное, резко бросающееся в глаза различие, существующее между вольта-электрической и магнито-электрической индукцией, заключается в том, что первая происходит внезапно, а вторая требует ощутимого времени; однако, даже в настоящей ранней стадии исследований, некоторые факты все же как будто указывают на то, что при дальнейшем изучении

¹ Способ получения искры от обычного магнита, достигавший этой цели, как мне удалось установить, — см. *Philosophical Magazine*, июнь 1832 г., стр. 5. В том же журнале за ноябрь 1834 г., V, стр. 349, указан другой способ получения магнито-электрической искры, еще более простой по своему принципу и позволяющий обойтись без всякого мягкого железа. Дек. 1838 г.

вопроса это несходство потеряет значение различия в физической природе явлений¹ (68).

РАЗДЕЛ 3

О новом электрическом состоянии материи²

60. Когда провод подвергается действию вольта-электрической или магнито-электрической индукции, он, видимо, находится в некотором особом состоянии, ибо он сопротивляется образованию в нем электрического тока, при обычном же состоянии провода ток бы в нем возбуждался; предоставленный самому себе, такой провод обладает способностью давать начало току, каковой способностью он в обычных условиях не обладает. Это электрическое состояние материи до сих пор не было известно, но оно, вероятно, оказывает значительное влияние во многих, если не в большинстве явлений, производимых токами электричества. По причинам, которые выяснятся в дальнейшем (71), я, посоветовавшись с некоторыми сведущими друзьями, позволил себе назвать это состояние электротоническим.

61. Покуда длится это особое состояние, оно не производит ни одного из известных электрических действий; не удалось мне также обнаружить, чтобы материя, пока она находится в этом состоянии, проявляла какие-либо особенные способности или обладала какими-нибудь особыми свойствами.

¹ Относительно дальнейших важных явлений и выводов, касающихся индукции электрических токов, см. девятую серию, пп. 1048—1118, Дек. 1838 г.

² Поскольку этот раздел был доложен Королевскому обществу, а затем напечатан, а также поскольку он, вследствие моего письма к г. Гашетту (Nachette) привлек внимание французского Института, я считаю себя обязанным оставить его здесь в виде части настоящей статьи; однако более поздние исследования (см. пп. 73, 76, 77) законов, управляющих этими явлениями, заставляют меня думать, что последние могут быть полностью объяснены без допущения электротонического состояния. Мои взгляды на этот вопрос будут изложены во второй серии настоящих исследований.—
М. Ф.

62. Это состояние не обнаруживается посредством отталкивательных или притягательных сил. Разнообразные опыты, произведенные с мощными магнитами над такими металлами, как медь, серебро, и вообще над немагнитными веществами, подтверждают это обстоятельство; в самом деле, подвергавшиеся опытам вещества, поскольку они являются электрическими проводниками, должны бы приобретать это состояние, и, тем не менее, проявления сил притяжения или отталкивания не наблюдалось. Я помещал в безвоздушном пространстве вблизи полюсов очень мощных магнитов медные и серебряные диски, весьма чувствительным образом подвешенные на крутильных весах, и все же не мог обнаружить ни малейшего притяжения или отталкивания:

63. Далее я располагал тонкую полоску из листового золота в непосредственной близости к медному стержню, причем между концами их устраивал с помощью ртути металлический контакт. Все это я поместил в безвоздушное пространство таким образом, что соединенные с концами устройства металлические стержни проходили через стенки сосуда в воздух. Затем я перемещал около этого устройства в различных направлениях мощные магнитные полюсы, причем металлическую цепь временами замыкал снаружи при помощи проводов, а временами размыкал. Однако мне никогда не удавалось обнаружить сколько-нибудь заметного движения золотого листка ни по направлению к магниту, ни к рядом расположенному медному стержню, который, поскольку это касается индукции, должен был бы находиться в таком же состоянии, как и самый листок.

64. Иногда возникало предположение, что при подобных обстоятельствах имеют место силы притяжения и отталкивания, т. е., что такие тела становятся слегка магнитными. Однако описанные здесь явления и, наряду с ними, то доверие, с которым мы вправе относиться к Амперовой теории магнетизма, ставят подобные случаи под некоторое сомнение. В самом деле, если магнетизм обуславливается притяжением электрических токов, и если мощные токи, возбуждаемые вначале или volta-

электрической, или магнито-электрической индукцией, мгновенно и сами собой исчезают (12, 28, 47), вызывая в то же время полное прекращение магнитных действий на стрелку гальванометра, то трудно или даже вовсе невозможно ожидать, чтобы какое-либо вещество, не обладающее теми особыми свойствами, какие присущи железу, никелю и еще одному-двум другим телам, могло проявлять магнитные притягательные силы. Представляется гораздо более вероятным, что наблюдавшиеся крайне слабые длительные действия были обусловлены присутствием следов железа или, может быть, какой-нибудь другой невыясненной причиной немагнитного характера.

65. Это особое состояние не обнаруживает задерживающего или ускоряющего действий на электрические токи, проходящие через приведенный в это особое состояние металл (20, 3, 33). Не удалось также обнаружить никакой подобной способности по отношению к самому индуцирующему току, так как при расположении массы металла, проводников, спиралей и т. д. всевозможными способами около проводника или спирали, несущей измеряемый гальванометром ток (20), не удавалось заметить ни малейшего длительного изменения в показаниях прибора. Таким образом металл, находящийся в предполагаемом особом состоянии, проводит электричество во всех направлениях в своей обычной степени, или, иными словами, его проводимость в этом состоянии не меняется заметным образом.

66. Это особое состояние воспринимают все металлы, что подтверждается предыдущими опытами с медью и железом (9) и легко воспроизводимыми опытами с золотом, оловом, свинцом, цинком, сурьмой, висмутом, ртутью и т. д., которые будут описаны в разделе 4 (132). Что касается железа, то эти опыты доказывают полнейшую и достойную замечания независимость явлений индукции от обычных проявлений магнетизма этого металла.

67. Это состояние целиком является следствием производимой индукции и исчезает сейчас же по удалении индуктивной силы. Состояние получается одинаковое, независимо от того,

чем оно создается: прохождением поблизости гальванических токов (26), или образованием магнита (34, 36), или простым приближением магнита (39, 50); оно является веским доказательством в добавление к тем, которые были выдвинуты г. Ампером в пользу тождества действующих во всех этих случаях агентов. Состояние это, вероятно, появляется ненадолго при прохождении обычной электрической искры (24), и, может быть, в дальнейшем его удастся получить в плохих проводниках при помощи слабых электрических токов или иным способом (74, 76).

68. Состояние это, повидимому, устанавливается мгновенно (12), едва ли требуя для этого заметного промежутка времени. Этим, вероятно, объясняется та *разница* во времени между вольт-электрической и магнито-электрической индукцией, которую обнаруживает гальванометр (59). Если через один из двух параллельных проводов, какие, например, имеются в полый спирали (34), пропустить гальванический ток, то в другом проводнике возникает ток столь малой продолжительности, как время, потребное для однократного действия такого рода, а это время, как указывает опыт, является неизмеримо малым. Это явление представится еще более мгновенным, потому что перед моментом соединения у полюсов батареи имеет место накопление силы, а потому первый напор электричества в соединительном проводнике оказывается больше того, который сохраняется после замыкания контакта; в этот момент подвергаемый действию индукции проводник приходит в соответствующее электротоническое состояние, которое тотчас же ослабевает до того состояния, в котором его может поддерживать постоянный ток; но это ослабление вызывает индуцированный ток, противоположный созданному ранее току. Вследствие этого первая индуцированная волна электричества более похожа на волну, получаемую при разряде лейденской банки, чем это имело бы место при других обстоятельствах.

69. Но если железный цилиндр внесен в ту же спираль (34) раньше, чем произведено соединение с батареей, то можно себе представить, что действие тока от этой последней инду-

цирует в железе бесчисленное множество подобных ему токов и превратит это железо в магнит. Как известно из опыта, для этого требуется некоторое время, ибо образуемый таким образом магнит, даже в том случае, когда он изготовлен из мягкого железа, не достигает своей полной интенсивности мгновенно. Это может зависеть от того, что токи внутри железа образуются и располагаются определенным образом в известной последовательности. Поскольку же магнит, наравне с током от батареи, обладает способностью вызывать индукцию, то совместное действие их обоих продолжает создавать индуцированное электричество до тех пор, пока их объединенное действие не дойдет до максимума; таким образом отклоняющая сила будет действовать достаточно долго, чтобы преодолеть инерцию стрелки гальванометра.

70. Во всех тех случаях, когда спирали или отрезки провода приближаются к магниту или удаляются от него (50, 55), прямой или обратный токи индуцированного электричества продолжают существовать в течение того времени, пока длится приближение или удаление; в самом деле, в течение этого времени электротоническое состояние усиливается или ослабляется, а такое изменение его сопровождается соответствующим появлением электричества; но это вовсе не противоречит взгляду, что электротоническое состояние устанавливается мгновенно.

71. Это особое состояние является, по видимому, состоянием напряжения, и его можно считать *эквивалентным* току электричества, по крайней мере, равному тому, который производится при появлении или исчезновении этого состояния. Но токи, создаваемые в начале и в конце, нельзя рассматривать как меру того напряжения, которого достигло электротоническое состояние. В самом деле, проводимость металла остается при этом неизменной (65), а развиваемое электричество существует только в течение одного момента (особое состояние воспринимается и утрачивается мгновенно (68)); поэтому, если электричество отводится с помощью длинных проводов, оказывающих ему

своим веществом препятствие, отвечающее их малым поперечным и значительным линейным размерам, то оно представляет собой только малую долю того электричества, которое действительно образовалось внутри вещества в момент прихода его в это состояние. Изолированные спирали и куски металла принимали это состояние мгновенно, и в них не удавалось обнаружить никаких следов электричества, как быстро ни производилось соединение с электрометром, после того как они были подвергнуты действию индукции, — все равно, с помощью тока батареи или магнита. Одна капля воды или кусок смоченной бумаги (23, 56) являлись препятствием, достаточным для того, чтобы прекратить ток через провод, причем образовавшееся электричество возвращалось к состоянию равновесия внутри самого металла, так что наблюдать его было невозможно.

72. Напряжение этого состояния может, таким образом, быть сравнительно очень велико. Но, независимо от того, велико оно или мало, едва ли можно себе представить, чтобы оно могло существовать, не оказывая обратного действия на первоначальный индуцирующий ток и не приводя к некоторого рода равновесию. Можно было бы высказать догадку, что это обстоятельство вызовет замедление первоначального тока; однако мне не удалось установить, чтобы такое замедление имело место в действительности. До сего времени мне не удалось вообще обнаружить в явлении никаких признаков, которые можно было бы приписать такому обратному действию.

73. Все полученные результаты говорят в пользу того, что электротоническое состояние связано с частицами, а не с массой провода или вещества, находящегося под действием индукции; в этом отношении оно отличается от индукции, производимой электричеством напряжения. Если это так, то можно допустить, что это состояние существует в жидкостях и тогда, когда нельзя обнаружить заметного тока, и даже в непроводниках; а самый ток, когда он существует, оказывается как бы

случайным явлением, зависящим от существования проводимости и мгновенной движущей силы, проявляемой частицами при их перераспределении. Даже при равенстве проводимостей токи электричества, которые до сего времени являются единственным признаком этого состояния, могут и не быть равными вследствие различий самих частиц в отношении количества, размеров, электрических условий и т. п. Лишь после того как будут установлены законы, управляющие этим новым состоянием, мы будем иметь возможность предсказывать, каково истинное состояние данного вещества и каковы получаемые с его помощью электрические явления.

74. Ток электричества, который индуцирует электротоническое состояние в соседнем проводе, по всей вероятности, индуцирует его и в своем собственном проводе; в самом деле, когда некоторый провод, благодаря току в близлежащем проводе, приходит в электротоническое состояние, то последнее никоим образом не является несовместимым с током электричества, проходящим через первый, и ему не мешает (62). Поэтому, если пропустить ток через второй, а не через первый провод, то представляется невероятным, чтобы его индуцирующее действие на второй стало меньше; наоборот, оно должно быть больше, так как расстояние между действующим агентом и подвергнутой действию материей значительно уменьшилось. Медный стержень присоединялся своими концами к гальванометру, а затем к стержню присоединялись полюсы батареи, состоящей из ста пар пластин; через стержень таким образом пропускаться ток; затем гальваническая цепь внезапно размыкалась, и по гальванометру наблюдалось, имеются ли какие-нибудь признаки обратного тока через медный стержень — тока, обусловленного исчезновением предполагаемого электротонического состояния. Никакого подобного действия не получалось, как этого и следовало ожидать по двум причинам: во-первых, поскольку индукция и электротоническое состояние исчезают одновременно, а не последовательно, обратный ток соответствовал бы только нейтрализации последней части индуцирующего тока и, следовательно,

не обнаруживал бы никакого изменения направления; если же предположить, что эти явления разделены некоторым промежуток времени и что последний ток действительно отличается от первого, то его кратковременность и внезапность (12, 26) препятствовали бы его обнаружению.

75. Представление о том, что проводник приводится в электротоническое состояние скорее своим собственным, а не каким-либо внешним током, не должно вызывать никаких, я полагаю, возражений, особенно, если принять во внимание, что это состояние и токи друг другу, повидимому, не мешают (62, 71). Одновременное существование проводящего и электротонического состояний находит себе аналогию в том способе, каким можно пропустить электрические токи через магниты, где, оказывается, как токи, проходящие через магниты, так и их собственные токи сохраняют свои отличительные свойства и обнаруживают взаимодействия.

76. Сказанное относительно металлов распространяется также и на жидкости и на все прочие проводники и приводит нас к заключению, что при прохождении через них электрических токов эти вещества также приобретают электротоническое состояние. Если бы это подтвердилось, то едва ли можно было бы сомневаться в том, что это состояние играет роль при гальваническом разложении и при переносе элементов к полюсам. Повидимому, при электротоническом состоянии однородные частицы материи принимают правильное, но вынужденное электрическое расположение, совпадающее с направлением тока; в том случае, когда вещество неразложимо, прекращение этого состояния вызывает обратный ток; но в разложимом веществе это вынужденное состояние может оказаться достаточным для того, чтобы заставить элементарную частицу покинуть ту, с которой она находится в вынужденной связи, и соединиться с подобной же соседней частицей, по отношению к которой она находится в более естественных условиях; при этом вынужденное электрическое расположение разряжается или прекращается столь же полно, как если бы не было индукции. Однако, поскольку перво-

начальный гальванический ток еще продолжается, электротоническое состояние может мгновенно возобновиться, причем создается вынужденное положение соединенных друг с другом частиц: потом оно может как бы мгновенно разрядиться путем переноса элементарных частиц противоположного рода в противоположных направлениях, но всегда параллельно току. Даже различия, отмеченные д-ром Волластоном (Wollaston)¹ между обыкновенным и гальваническим электричеством, когда ими пользуются для того, чтобы произвести химическое разложение, как будто можно объяснить явлениями, связанными с индукцией электричества, получаемого от этих двух источников (25). Однако, поскольку я отложил эту область исследования, чтобы иметь возможность закончить исследования, содержащиеся в настоящем докладе, то (несмотря на большой соблазн) я воздерживаюсь от дальнейших рассуждений гипотетического характера.

77. Марианини (Marianini) описал открытое им особое свойство поверхностей металлических дисков, обнаруживающееся в том случае, когда они соприкасаются с влажными проводниками и когда через них пропускают ток электричества; они становятся тогда способными создавать обратный ток электричества, и Марианини удачно воспользовался этим действием для объяснения явлений в элементах Риттера.² Г-н О. де ля Рив (de la Rive) описал особое свойство, приобретаемое металлическими проводниками; оно заключается в том, что если их погрузить в жидкость как полюсы и замкнуть через них на некоторый промежуток времени гальваническую цепь, а затем отключить их от батареи и погрузить в ту же жидкость, то они сами производят электрический ток.³ Г-н ван Бек (van Beek) подробно описал случаи, когда электрические отношения одного металла, находившегося в контакте с другим, сохранялись после их разъединения и сопровождалась соответствующими химическими

¹ Philosophical Transactions, 1801, стр. 247.

² Annales de Chimie, XXXVIII, стр. 5.

³ Ibid., XXVIII, стр. 190.

действиями.¹ Эти состояния и результаты, повидимому, отличаются от электротонического состояния и его проявлений; однако об истинном отношении между одними и другими можно будет судить только тогда, когда наши сведения обо всех этих явлениях будут расширены.

78. В начале этого доклада (2) я имел случай упомянуть об одном опыте г. Ампера, связанном с электрической индукцией токов и произведенном ранее настоящего исследования; я пришел к заключениям, которые, повидимому, ставят под сомнение правильность самого опыта (62 и сл.); я считаю своим долгом по отношению к г. Амперу остановиться на этом опыте более подробно. Когда медный диск (говорит Ампер) был подвешен на шелковой нити и окружен спиралью, через которую пропускался заряд от мощной гальванической батареи, причем одновременно к диску подносился сильный магнит, то диск этот моментально поворачивался, занимая такое же положение равновесия, какое заняла бы сама спираль, если бы она могла двигаться свободно. Мне не удалось обнаружить этого действия и вообще какого-либо движения; однако причина моей неудачи в *последнем* отношении могла зависеть от малой продолжительности тока, недостаточной для преодоления инерции пластины (11, 12). Может быть, г. Амперу удалось получить движение благодаря большей тонкости приборов и мощности его электромагнитного устройства, а, может быть, он наблюдал лишь то движение, которое вызывалось прекращением действия. Однако все полученные мной результаты скорее опровергают выдвигаемое г. Ампером положение, что «ток электричества стремится привести электричество в проводах, вблизи которых он проходит, в движение того же направления», так как результаты эти указывают на противоположное направление получающегося тока (26, 53); далее они показывают, что действие это является мгновенным, что оно вызывается и магнитной индукцией и что оно сопровождается другими необыкновенными действиями.

¹ Annales de Chimie, XXVIII, стр. 49.

79. Кратковременность существования описываемых здесь явлений индукции является достаточным объяснением неопределенности и даже неудачи тех опытов, которые производились до сего времени и имели целью получение электричества с помощью магнитов или получение с их же помощью химического разложения или перераспределения вещества.¹

80. Таким же образом, повидимому, удастся полностью объяснить как наблюдаемые г. Араго замечательные взаимоотношения между металлами и магнитами при передвижении одних или других (120), так и большинство результатов, полученных сэром Джоном Гершелем (John Herschel), гг. Бэббеджем (Babbage), Гаррисом (Harris) и другими при повторении опытов Араго; при этом становится вполне ясным одно обстоятельство, казавшееся сначала необъяснимым, а именно — отсутствие взаимодействия между теми же металлами и магнитами, находящимися в покое. Я сейчас приступлю к описанию этих опытов, которые к тому же представляют собой наиболее удобный способ получения электричества при помощи магнетизма.

¹ Лусée, № 36 за 1 января, содержит длинную и несколько преждевременно опубликованную статью, в которой сделана попытка показать, что французские ученые опередили меня в моих исследованиях. Однако в этой статье ошибочные результаты гг. Френеля (Fresnel) и Ампера принимаются за истинные, а затем мои правильные результаты отождествляются с теми ошибочными. Я здесь упоминаю об этом для того, чтобы оказать Френелю должное уважение, большее, чем он того заслуживал бы тем, что он чуть-чуть опередил бы меня. В результате этот великий ученый одновременно со мною и пятьюдесятью другими лицами проделал опыты, которые, как показано в настоящем докладе, не могли привести к ожидаемым результатам. Он временно был введен в заблуждение и опубликовал сообщение о мнимом успехе; однако при более тщательном повторении своих опытов он не мог получить подтверждения их правильности; в возвышенном и чистом научном стремлении в той же мере устранять ошибку, как и раскрывать истину, он отказался от своего первого утверждения. Случай с Берцелиусом (Berzelius) и первоначально открытым им торием является еще одним примером такого благородства, и поскольку такие случаи представляются не так уже редко, то послужило бы к чести науки, если бы подобные примеры вызвали более частое подражание.

РАЗДЕЛ 4

Объяснение магнитных явлений Араго

81. Если медную пластинку вращать вблизи магнитной стрелки или магнита, подвешенного таким образом, чтобы он мог вращаться в плоскости, параллельной той, в которой вращается пластина, то магнит обнаруживает стремление следовать за движением пластинки; если же вращать магнит, то пластинка следует за его движением; действие оказывается столь сильным, что таким образом удастся вращать магниты или пластинки весом в несколько фунтов. Если магнит и пластина находятся друг относительно друга в покое, то между ними не удастся наблюдать ни малейшего притягивающего, отталкивающего или какого-либо другого действия (62). В этом и состоит явление, открытое г. Араго, который утверждает, что действие это имеет место не только для всех металлов, но для твердых и жидких тел и даже для газов, т. е. для всех веществ (130).

82. Г. Бэббеджу и сэру Джону Гершелю при совместном повторении ими опытов в Англии¹ удалось получить эти явления только для металлов и для угля, находящегося в особом состоянии (взятого из газовых реторт), т. е. только для очень хороших проводников электричества. Они приписывают это явление магнетизму, индуцированному в пластине магнитом, полюс которого вызывает в ближайшей части пластины противоположный себе полюс, а вокруг него более рассеянную полярность одноименного знака (120). Чтобы подвешенный магнит вращался, существенно, чтобы вращающееся под ним вещество приобрело и теряло магнетизм в течение некоторого измеримого промежутка времени, а не мгновенно (124). Эта теория приписывает вышеуказанное действие некоторой притягивающей силе; она не получила признания ни со стороны открывшего явление г. Араго, ни со стороны г. Ампера; против нее они выдвигают факт полного отсутствия притяжения, когда магнит и металл

¹ Philosophical Transactions, 1825, стр. 467.

находятся в покое (62, 126), хотя индуцированный магнетизм должен бы еще сохраняться и в этом случае; на основании опытов, произведенных с длинной стрелкой наклона, они полагают, что действие здесь является всегда отталкивательным (125).

83. По получении уже описанными способами электричества с помощью магнитов (36, 46), я рассчитывал получить при помощи опыта г. Араго новый источник электричества и не терял надежды, что мне удастся построить новую электрическую машину, основанную на магнито-электрической индукции земли. В этой надежде я произвел большое число опытов с магнитом Королевского общества в доме г. Кристи, причем при всех опытах я мог пользоваться ценной помощью последнего. Поскольку многие из опытов в течение самого исследования заменялись более совершенными, я считаю себя вправе изложить опыты в несколько ином порядке, с таким расчетом, чтобы прийти наиболее прямым путем к тому, что мне кажется правильным взглядом на природу явлений.

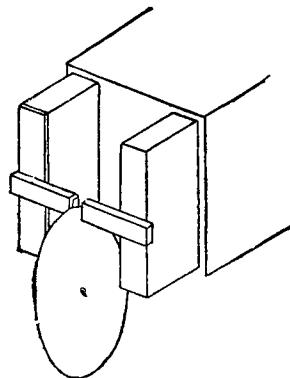


Рис. 7.

84. Магнит был описан выше (44). Чтобы сконцентрировать полюсы и приблизить их друг к другу, поперек полюсов были положены два железных или стальных стержня, длиной около шести или семи дюймов каждый, один дюйм шириной и полдюйма толщиной, как на рис. 7; чтобы они не скользили, они привязывались шнуром; их можно было приближать или удалять друг от друга на нужное расстояние. Иногда я брал два стержня из мягкого железа, согнутые так, что если их приложить каждый к одному из полюсов, то результирующие два меньшие полюса оказывались расположенными вертикально друг над другом, причем сверху мог быть помещен любой из них, по желанию.

85. Медный диск диаметром в двенадцать дюймов и толщиной примерно в одну пятую дюйма был укреплен на латунной оси и установлен на рамках таким образом, чтобы он мог вращаться как вертикально, так и горизонтально; притом край его вдвигался в большей или меньшей степени между магнитными полюсами (рис. 7). Край пластинки был хорошо амальгамирован для получения хорошего и в то же время подвижного контакта; часть пластинки около оси была обработана таким же образом.

86. Были устроены медные и свинцовые проводники или электрические коллекторы, которые должны были образовать контакт с краем медного диска (85) или с пластинками иной формы, которые будут описаны далее (101). Эти проводники имели приблизительно четыре дюйма в длину, одну треть дюйма в ширину и одну пятую дюйма в толщину; на одном конце каждого проводника была сделана небольшая бороздка, чтобы провод более точно прилегал к несколько выпуклому краю пластинок, а затем конец этот был амальгамирован. Медные проводники, толщиной в одну шестнадцатую дюйма, привязанные обычным способом, посредством скручивания, к другим концам этих проводников, вели к гальванометру.

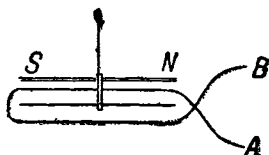


Рис. 8.

87. Гальванометр был грубой работы, но все же был достаточно точен в своих показаниях. Провод его был медный, покрытый шелком, и образовал шестнадцать или восемнадцать витков. Две швейные иглы были намагничены и укреплены на сухой соломинке параллельно друг к другу, но в противоположных направлениях, на расстоянии примерно в полдюйма; эта система была подвешена на нити из некрученого шелка так, чтобы нижняя игла находилась внутри мультипликационных витков, а верхняя — над ними. Верхняя игла была намагничена гораздо сильнее и давала всей системе направление земного поля; рис. 8 изображает направление провода и игл

при установке прибора по магнитному меридиану; для удобства ссылок в дальнейшем концы проводов обозначены буквами *A* и *B*. Буквы *S* и *N* обозначают южный и северный концы иглы, когда она находится под влиянием одного лишь земного магнетизма; таким образом конец *N* соответствует полюсу с меткой (44). Весь прибор был защищен стеклянным колпаком и в отношении положения и расстояния от большого магнита находился в тех же условиях, что и ранее (45).

88. После установки всех этих частей медный диск был прилажен, как на рис. 7, причем малые магнитные полюсы были раздвинуты примерно на полдюйма, а край пластинки был вдвинут между ними приблизительно на половину их толщины. Один из проводов гальванометра был дважды или трижды свободно обвит вокруг латунной оси пластинки, а другой был присоединен к проводнику (86), который, в свою очередь, рукой удерживался в контакте с амальгамированным краем диска в том его месте, которое приходилось непосредственно между полюсами. При таких условиях все оставалось неподвижным, и гальванометр не обнаруживал никакого действия. Но как только пластинка приводилась в движение, возникало действие на гальванометр, и, при быстром вращении пластинки, стрелку удавалось отклонять на 90° и более.

89. В таких условиях трудно было добиться равномерного хорошего и плотного контакта между проводником и краем вращающегося диска; трудно было также в первых опытах получить равномерную скорость вращения; по этим двум причинам стрелка обнаруживала стремление к непрерывным колебаниям; однако не представляло никакого труда установить, в какую сторону она отклонялась и, вообще, вокруг какого положения она колебалась. Впоследствии, при более тщательном повторении опытов, оказалось возможным поддерживать постоянное отклонение стрелки около 45° .

90. Этим было показано, таким образом, что можно создать постоянный ток электричества при помощи обыкновенных магнитов (57).

91. При изменении направления вращения диска, с сохранением всех других обстоятельств неизменными, стрелка гальванометра отклонялась с такой же силой, как и ранее, но отклонение происходило в противоположную сторону, и, следовательно, полученный в этом случае ток электричества также был обратного направления.

92. Ток электричества возникал и в том случае, когда проводник помещался на краю диска несколько правее или левее, как это отмечено пунктиром на рис. 9, причем он имел прежнее направление (88, 91). Так обстояло дело вплоть до значительных расстояний, а именно до расстояния в 50 и 60° в ту или другую

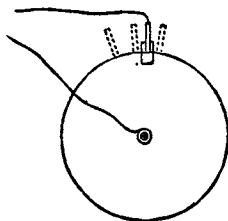


Рис. 9.

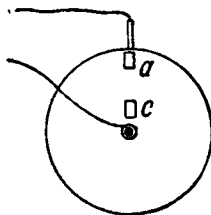


Рис. 10.

сторону от места нахождения магнитных полюсов. Ток, собираемый проводником и отводимый к гальванометру, имел одинаковое направление по обе стороны от места наибольшей интенсивности, но по мере удаления от этого места постепенно убывал по силе. На равных расстояниях от местоположения полюсов он обладал, повидимому, одинаковой силой и в этом отношении не зависел от направления вращения. При изменении направления вращения диска на противоположное направление тока электричества также менялось; но других изменений не обнаруживалось.

93. Если поднять пластинку так, чтобы она загоразивала один полюс от другого (а, рис. 10), то наблюдаются те же действия, в том же порядке и с той же интенсивностью, что и раньше. При поднятии пластины еще выше, так, чтобы полюсы

перешли в точку *c*, эти действия продолжали получаться и, повидимому, с той же силой, как и ранее.

94. Если приложить проводник к краю пластинки, как если бы он был к ней прикреплен, и двигать его вместе с ней между полюсами, хотя бы всего на несколько градусов, то стрелка гальванометра приходит в движение и указывает на присутствие тока электричества — такого же, какой бы имел место, если бы диск вращался в том же направлении, а проводник оставался неподвижным.

95. Если прервать соединение гальванометра с осью, соединить концы его с двумя проводами, которые оба приложены к краю медного диска, то получают токи электричества, пред-

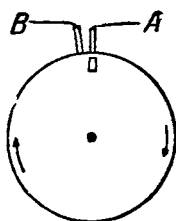


Рис. 11.

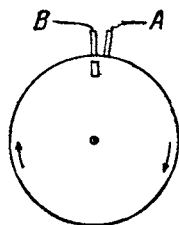


Рис. 12.

ставляющие собой более сложные явления, в полном, однако, согласии с приведенными выше результатами. Так, если провода были приложены, как изображено на рис. 11, то создавался определенный ток через гальванометр, но если они были слегка смещены, как показано на рис. 12, то создавался ток противоположного направления; дело в том, что в первом случае гальванометр показывал разность между сильным током через *A* и слабым через *B*, а во втором — разность между слабым током через *A* и сильным через *B* (92), что и вызывало противоположные отклонения.

96. Равным образом, когда оба проводника находились на одинаковых расстояниях от полюсов, как показано на рис. 13, в гальванометре не обнаруживалось никакого тока, помимо кратковременных отклонений, которые получались вследствие

неравномерности контакта, независимо от того, в какую сторону вращался диск; в самом деле, тогда через оба проводника устремлялись равные токи в одном и том же направлении. Но если оба проводника присоединялись к одной проволоке гальванометра, а ось к другой (рис. 14), то гальванометр обнаруживал ток, в соответствии с направлением вращения (91); оба проводника действовали теперь согласно таким же образом, как действовал раньше один проводник (88).

97. Все эти действия можно было получить при приближении к пластинке всего только одного полюса магнита; в смысле направления и т. п. они были такие же, как раньше, но ни в каком случае не имели прежней силы.

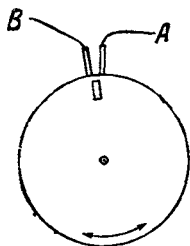


Рис. 13.

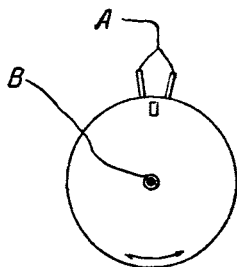


Рис. 14.

98. Были приняты все меры, чтобы сделать эти результаты независимыми от земного магнетизма или от магнитных взаимодействий магнита и стрелок гальванометра. Контакты устраивались по магнитному экватору пластинки и в других точках; пластинка была расположена горизонтально, а полюсы вертикально, были принимаемы и другие предосторожности. Однако отсутствие каких-либо мешающих явлений, о каких говорилось выше, легко доказывалось тем, что все явления совершенно исчезали при удалении диска от полюсов или полюсов от диска, если прочие условия оставались неизменными.

99. Зависимость между получающимся током электричества и магнитным полюсом, направлением вращения пластинки и т. д. можно выразить следующим образом: если полюс без

метки находится под пластинкой и последняя вращается горизонтально, по направлению винта, то электричество, которое собирается на ближайшем к полюсу крае пластинки, будет положительным. Так как полюс земли можно мысленно рассматривать как полюс без метки, то эту зависимость между направлением вращения, полярностью и получающимся электричеством нетрудно запомнить. Так, если на рис. 15 окружность изображает медный диск, вращающийся в указанном стрелкой направлении, а *a* — проекцию полюса без метки, помещенного под пластинкой, то электричество, собираемое в *b* и соседних местах, будет положительное, тогда как электричество, собираемое в центре *c* и других местах, будет отрицательное (88). Таким образом токи в пластинке направлены от центра мимо магнитных полюсов по направлению к окружности.

100. Если при прочих равных условиях полюс с меткой поместить сверху, то электричество в *b*, рис. 15, все еще будет положительное. Если полюс с меткой поместить снизу или полюс без метки сверху, то электричество меняет знак на противоположный. Если в том или другом случае направление вращения изменить на обратное, то электричество также меняет свой знак.

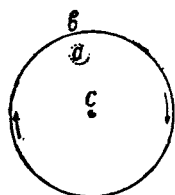


Рис. 15.

101. Теперь очевидно, что опыт с вращающейся пластинкой является просто видоизменением более простого опыта с прямолинейным продвижением куска металла между магнитными полюсами, и что в таких случаях возникают токи электричества под прямым углом к направлению движения и пересекающие последнее там, где расположены полюс или полюсы. Это в достаточной мере было доказано следующим простым опытом: кусок медной пластинки в одну пятую дюйма толщиной, в полтора дюйма шириной и в двенадцать дюймов длиной, покрытый по краям амальгамой, был помещен между магнитными полюсами, а провода от гальванометра соприкасались с ребрами пластинки; затем пластина продвигалась между концами провод-

ников в направлении стрелки (рис. 16); стрелка гальванометра немедленно отклонялась; при этом ее северный конец, или конец с меткой, отходил к востоку, указывая, что проводник *A* получил отрицательное, а проводник *B* — положительное электричество; а так как полюс с меткой находился сверху, то результат этот находится в полном согласии с действием, получаемым при вращении пластинки (99).

102. При обратном движении пластинки, стрелка гальванометра отклонялась в противоположном направлении, указывая на наличие обратного тока.

103. Чтобы выяснить характер электрического тока, существующего в отдельных участках движущейся медной пла-

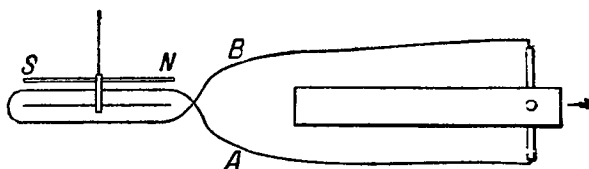


Рис. 16.

стинки, различно расположенных относительно индуцирующих полюсов, к исследуемому участку вблизи полюса прикладывался только один коллектор (86), а другой соединялся с концом пластинки, как с наиболее нейтральным местом; полученные в этом случае результаты изображены на рис. 17—20, причем полюс с меткой находится над пластинкой. *B* (рис. 17) получало положительное электричество, а на противоположной стороне (рис. 18), при движении пластинки в том же направлении, оно получало отрицательное электричество; при изменении движения пластинки на обратное, как показано на рис. 20, *B* получало положительное электричество, а при первоначальном расположении, но при изменении направления движения, изображенного на рис. 17, на такое, как изображено на рис. 19, *B* получало отрицательное электричество.

104. Если расположенные между магнитами пластинки сначала отодвигались в сторону, как изображено на рис. 21,— так, чтобы целиком оказаться вне оси полюсов, то все же

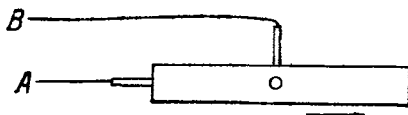


Рис. 17.

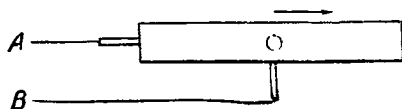


Рис. 18.

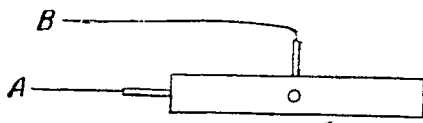


Рис. 19.

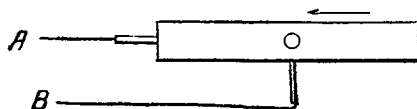


Рис. 20.

проявлялись прежние действия, хотя и не в такой сильной степени.

105. Когда магнитные полюсы соприкасались, а медная пластинка проходила между проводниками вблизи точки касания полюсов, то наблюдалось лишь очень слабое действие. Когда полюсы раздвигались на толщину игральной карты, дей-

ствие получалось несколько сильнее, но все еще оставалось очень незначительным.

106. Когда между проводниками и полюсами проводилась покрытая амальгамой медная проволока толщиной в одну восьмую дюйма (101), то получалось очень значительное действие, хотя и не такое сильное, как с пластинками.

107. Если проводники были все время приложены к каким-либо определенным местам медных пластинок и вместе с ними проходили между магнитными полюсами, то возникали такие же действия, как только что описанные, в согласии с результатами, полученными с вращающимся диском (94).

108. Если проводники присоединялись к концам пластинок, а последние проходили между магнитными полюсами в направлении, перпендикулярном их длине, то получались те же самые действия (рис. 22). Близкие к концам места пластинок можно рассматривать либо как простые проводники, либо как части металла, в кото-

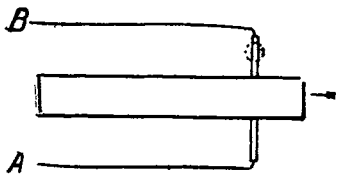


Рис. 21.

рых возбуждается электрический ток, сообразно силе магнита и их расстоянию до него; но результаты были в полном согласии с полученными ранее. Действия были так же сильны, как и в том случае, когда проводники укладывались к краям пластинки (101).

109. Если продвигать между полюсами простую проволоку, соединенную с гальванометром так, что получается замкнутая цепь, то это оказывает на гальванометр известное действие; если двигать взад и вперед провод таким образом, чтобы даваемые переменные импульсы совпадали с колебаниями стрелки, эти последние можно довести до 20 или 30° по ту и другую сторону от магнитного меридиана.

110. Если соединить концы металлической пластинки с проводами гальванометра, а затем пронести ее между полюсами вдоль ее длины (как изображено на рис. 23) в том или другом

направлении, то никакого действия на гальванометр не наблюдается. Но как только движение становилось поперечным, стрелка отклонялась.

111. Эти действия наблюдались также с помощью *электромагнитных полюсов*, получаемых посредством медных спиралей с железными сердечниками или без них (34, 54). Отклонения имели одинаковое направление, но действие в том случае, когда имелись железные сердечники, было значительно сильнее, чем без них.

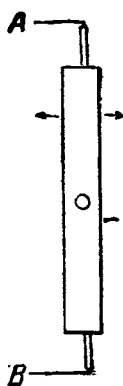


Рис. 22.

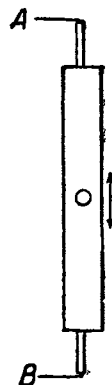


Рис. 23.

112. Если провести между полюсами ребром плоскую спираль, то наблюдается любопытное действие на гальванометр; стрелка сначала сильно отклоняется в одну сторону, затем внезапно останавливается, как будто встретила твердое препятствие, и тотчас же возвращается обратно. Безразлично, как продвигалась спираль: сверху вниз или снизу вверх, — движения стрелки имеют то же направление, затем внезапно прекращалось, а затем менялось на обратное. Но если перевернуть спираль на пол оборота, т. е. заменить один край другим, то движения происходят в обратном направлении: но, как и ранее, они внезапно прекращаются, и затем меняют знак на противоположный. Это двойное действие зависит от того, что две половины

спирали (образуемые прямой, проходящей через центр спирали перпендикулярно к направлению ее движения) действуют в противоположных направлениях; а причина, по которой стрелка отклонялась в одну и ту же сторону, независимо от того, в каком направлении проходила спираль мимо полюсов, заключалась в том, что при изменении направления движения, направление проводов в надвигающейся половине спирали также менялось. Как бы явления эти ни казались на первый взгляд удивительными, их можно непосредственно свести к действию отдельных проводов (40, 109).

113. Первоначально опыты с вращающейся пластинкой, проводами и металлическими пластинками были успешно выполнены с большим магнитом, принадлежащим Королевскому обществу; но впоследствии все опыты были повторены с двумя стержневыми магнитами, имевшими два фута в длину, полтора дюйма в ширину и полдюйма в толщину, и с более чувствительным гальванометром; при этом результаты получились самые поразительные. Очень мощными оказываются электромагниты с железом, как, например, электромагниты Молля, Генри и т. д. (57). При производстве опытов с различными веществами чрезвычайно существенно устранить или хотя бы примерно оценить и учесть термоэлектрические эффекты (происходящие от прикосновения пальцев и т. п.); эти эффекты легко отличимы по их постоянству и независимости от магнитов, а также от направления движения.

114. Зависимость, существующая между полярностью магнита, движущимся проводником или металлом и направлением образующегося тока, т. е. закон, управляющий получением электричества посредством магнито-электрической индукции, очень проста, хотя для выражения ее встречаются некоторые затруднения. Если на рис. 24 PN изображает горизонтальный проводник, проходящий перед магнитным полюсом с меткой так, что его движение совпадает с той кривой, которая проходит снизу вверх; или же если его движение, параллельное самому себе, направлено по касательной к этой кривой, при-

чем в основном следует направлениям, указанным стрелками, или если он проходит мимо полюса в других направлениях, но так, что пересекает магнитные кривые ¹ в том же основном направлении или с той же стороны, с которой они бы пересекались проводом, движущимся вдоль пунктирной кривой, то ток электричества в проводе идет от P к N . Если перемещать провода в противоположном направлении, то электрический ток пойдет от N к P . Или иначе, если провод находится в вертикальном положении, обозначенном $P' N'$, и перемещается в подобных же направлениях, следуя пунктирной горизонтальной кривой, до пересечения с магнитными кривыми, находящимися по одну с ним сторону, то ток пойдет от P' к N' . Представим себе, что провод направлен по касательной к кривой поверхности цилиндрического магнита, и приведем его в какое-либо другое положение, обводя провод вокруг этой поверхности, или будем вращать самый магнит вокруг его оси так, чтобы против упомянутого выше провода стало другое место магнита; если после

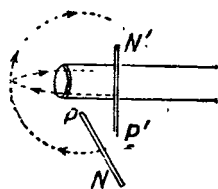


Рис. 24.

этого перемещать провод в указанных направлениях, то ток электричества опять пойдет от P к N ; а если перемещать провод в противоположном направлении, — от N к P . Итак, что касается перемещений провода мимо полюса, то их можно свести к двум друг другу прямо противоположным, одно из которых производит ток от P к N , а другое — от N к P .

115. То же остается справедливым и для полюса без метки, с той разницей, что если подставить его вместо изображенного на рисунке полюса, то при движении проводов в направлении стрелок, ток электричества пойдет от N к P , а при движении в обратном направлении — от P к N .

¹ Под магнитными кривыми я понимаю линии магнитных сил, хотя и искаженные соседством полюсов; эти линии вырисовываются железными опилками; к ним касательно располагались бы весьма небольшие магнитные стрелочки.

116. Итак, направление тока электричества, который возникает в металле при движении вблизи магнита, зависит от взаимного расположения металла и равнодействующей магнитного действия или магнитных кривых, и эту зависимость можно выразить следующим удобопонятным образом: пусть AB (рис. 25) представляет цилиндрический магнит, где A есть полюс с меткой, — а B — без метки; пусть PN есть серебряное лезвие ножа, расположенное поперек магнита острием кверху и повернутое стороной с зарубкой к полюсу A , тогда, независимо от того, в каком направлении или положении двигать нож острием вперед, вокруг полюса с меткой или вокруг полюса без метки, возбуждаемый ток электричества пойдет от P к N , при усло-

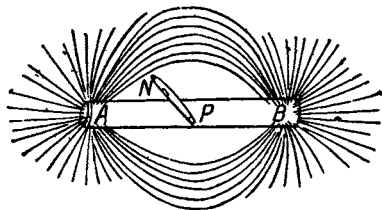


Рис. 25.

вии, что пересекаемые кривые, исходящие из A , упрутся в сторону ножа с зарубкой, а исходящие из B — в сторону без зарубки. Или, если перемещать нож тупой стороной вперед, то ток идет от N к P при любом положении [ножа] и направ-

лении [движении], если только пересекаемые кривые упрутся в те же поверхности, что и раньше. Легко построить небольшую модель, в которой деревянный цилиндр изображает магнит, какой-нибудь плоский предмет — лезвие, а кусок веревки, соединяющий один конец цилиндра с другим и проходящий через отверстие в лезвие, играет роль магнитных кривых; таким образом сразу можно получить результат для любого возможного направления [движения].

117. Когда находящийся под действием индукции провод проходит мимо электромагнитного полюса, например, мимо одного из концов медной спирали, по которой течет электрический ток (34), то в приближающемся проводе ток идет в том же направлении, что и в ближайших к нему местах или сторонах витков, а в удаляющемся проводе — в проти-

в противоположном тому, который имеется в соседних с ним местах.

118. Все эти результаты доказывают, что способность индуцировать токи проявляется по окружности вокруг магнитной равнодействующей или силовой оси точно так, как расположенный по окружности магнетизм возникает вокруг электрического тока и им обнаруживается.

119. Совокупность описанных выше опытов доказывает, что при прохождении куска металла (то же, должно быть, справедливо и для всякого другого проводящего вещества (213)) мимо одиночного полюса, между противоположными полюсами магнита или вблизи электромагнитных полюсов, независимо от того, имеется ли железный сердечник или нет, внутри металла возникают электрические токи, перпендикулярные к направлению движения; в опытах Араго эти токи направлены, следовательно, приблизительно по радиусам. Если отдельный провод двигать вблизи магнитного полюса наподобие спицы колеса, то в нем начинает протекать ток электричества от одного конца к другому. Если представить себе колесо, составленное из большого числа таких радиусов и вращающееся поблизости полюса наподобие упомянутого выше медного диска (85), то в каждом радиусе при прохождении его мимо полюса будет появляться ток. Если предположить, что радиусы соприкасаются своими боковыми частями, то в результате получается медный диск, в котором направление токов будет в общем прежним, видоизменяясь лишь благодаря напряжению, которое может возникнуть между частицами, находящимися теперь в металлическом контакте.

120. Теперь, когда мы знаем о существовании этих токов, явления, открытые Араго, можно объяснить, не приписывая их тому, что в меди образуется полюс, противоположный приближающемуся, и что он окружен рассеянной полярностью того же знака, как приближающийся (82); равным образом не существует, чтобы пластинка приходила в свое состояние и выходила из него в течение конечного времени; с другой стороны,

нет, повидимому, необходимости в допущении какой-либо отталкивающей силы (82), как причины вращения.

121. Действие имеет совершенно ту же природу, что и электромагнитные вращения, которые мне посчастливилось от-

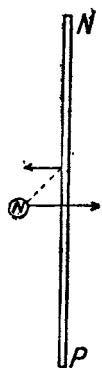


Рис. 26.

крыть несколько лет тому назад.¹ Согласно произведенным в то время, а с тех пор многократно подтвержденным опытам, если соединить проводник PN (рис. 26) с положительным и отрицательным зажимами гальванической батареи так, чтобы положительное электричество проходило от P к N , а полюс с меткой поместить вблизи провода, между этим последним и наблюдателем, то полюс будет перемещаться в направлении, касательном к проводу, т. е. вправо, а провод будет двигаться по касательной влево, как указано стрелками. Совершенно то же самое происходит при вращении пластинки под магнитным полюсом; в самом деле, пусть N (рис. 27) есть полюс с меткой, расположенный над круглой пластинкой, и пусть последняя вращается при этом в направлении стрелки; токи положительного электричества немедленно устремляются из центральных частей, в общем по направлению радиусов, мимо полюса к точкам окружности a по другую сторону этого полюса (99, 119); они находятся, таким образом, относительно него в точно таком же положении, как ток в проводнике (PN , рис. 26), а потому полюс таким же образом движется вправо.

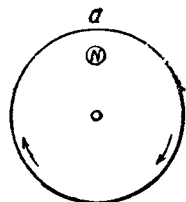


Рис. 27.

122. Если изменить вращение диска на обратное, то и токи меняют свое направление на обратное (91), и полюс поэтому движется влево. Если взять противоположный полюс, то действия происходят так же, т. е. в тех же направлениях, потому что возникают токи

¹ Quarterly Journal of Science, XII, стр. 74, 186, 416, 283.

электричества, противоположные описанным, а при одновременной замене как полюсов, так и токов на обратные видимое действие остается неизменным. В каком положении ни поставить ось магнита, если только один и тот же полюс окажется приложенным к одной и той же стороне пластинки, возникающий ток пойдет в том же направлении, в согласии с уже высказанным законом (114 и т.д.), и таким образом можно объяснить любой факт, относящийся к направлению движения.

123. Эти токи замыкаются или возвращаются в местах пластинки, более удаленных от мест расположения полюса по каждую сторону от него, где, само собой разумеется, магнитная индукция слабее: а когда мы пользуемся коллекторами и ток электричества отводится к гальванометру (88), отклонение в этом последнем есть только повторение тем же током или его частью действия, вызываемого вращением в магните над самой пластинкой.

124. Именно на основании только что изложенной точки зрения я позволил себе сказать, что нет необходимости, чтобы пластинка приходила в свое состояние и выходила из него в течение конечного промежутка времени (120); в самом деле, пусть ток достигнет полного развития несколько ранее, чем он придет в положение наибольшего приближения к вертикальному полюсу магнита, а не как раз в этот момент или несколько позднее; тогда все же относительные движения полюса и пластинки останутся такими же, так как результирующая сила направлена по касательной, а не по прямой, их соединяющей.

125. Однако возможно (хотя это и не необходимо для вращения), что для развития в пластинке максимального тока требуется время, а в этом случае равнодействующая всех сил должна опережать магнит при вращении пластинки или отставать от магнита при вращении последнего; в пользу этого, повидимому, говорят многие опыты с чисто электромагнитными полюсами. В этом случае тангенциальная сила может быть разложена на две другие, из которых одна параллельна,

а другая нормальна к плоскости вращения. Первая будет тогда той силой, которая необходима для вращения пластинки с помощью магнита или магнита с помощью пластинки; вторая будет отталкивательной силой и, вероятно, представляет собой ту силу, действия которой также открыл Араго (82).

126. Странное, казавшееся столь необъяснимым обстоятельство, сопровождающее это действие, а именно — прекращение всех явлений, когда магнит и металл перестают двигаться, теперь находит себе полное объяснение (82); в этом случае одновременно прекращаются обуславливающие движение электрические токи.

127. Все действия, наблюдаемые при разрыве металлической непрерывности, и вытекающее отсюда уменьшение силы, описанное гг. Бэббеджем и Гершелем,¹ находят теперь свое естественное объяснение, равно как и восстановление силы при заполнении промежутков металлическими веществами, которые, хотя и являются проводниками электричества, сами по себе лишь в слабой степени обладают свойством влиять на магниты. Можно придумать и новые способы разрезания пластинки, которые почти совершенно уничтожат ее силу. Так, прорежем медную пластинку (81) на расстоянии примерно одной пятой или одной шестой ее диаметра от края так, чтобы отделить от нее кольцо; затем кольцо это приставим обратно, но с промежуточным слоем бумаги (рис. 28) и произведем опыт Араго с этой составной пластинкой, приладив ее так, чтобы прорез постоянно находился против полюса; очевидно, что для магнитных токов встретится теперь сильное препятствие, а пластинка, вероятно, утратит большую часть присущих ей действий.²

¹ Philosophical Transactions, 1825, стр. 481.

² Этот опыт был действительно произведен г. Кристи, получившим указанные здесь результаты; он описан в Philosophical Transactions, 1827, стр. 82.

Элементарный результат подобного рода был получен с двумя кусками толстой меди, такой формы, как показано на рис. 29.

Два соседних края были покрыты амальгамой и приложены друг к другу, и все это устройство проходило между полюсами магнита в направлении, параллельном краям; тогда в проводах, присоединенных к наружным углам, возникал ток, и на гальванометре обнаруживалось сильное действие; но если повторять опыт, проложив между краями один лист бумаги, заметного действия получить не удастся.

128. Прорез такого рода не мог бы сильно мешать магнитной индукции, если предположить, что она сходна по природе с обыкновенной индукцией, получающейся в железе.

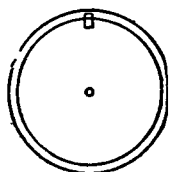


Рис. 28.

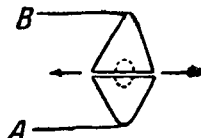


Рис. 29.

129. Такое же явление вращения или отклонения стрелки, какое г. Араго получил с помощью обыкновенных магнитов, г. Амперу удалось получить с помощью электромагнитов. Это находится в полном согласии с результатами, относящимися к вольта-электрической и магнитоэлектрической индукции, описанными в настоящем докладе. Я брал вместо обычных полюсов плоские спирали из медной проволоки, через которые пропускались электрические токи (111); прикладывая иногда одну спираль к одной стороне вращающейся пластинки, а иногда две к противоположным сторонам, я получал индуцированные токи электричества от самой пластинки; можно было отвести их в гальванометр и с его помощью удостовериться в их существовании.

130. Указанная здесь причина вращения в опыте Араго, а именно — образование электрических токов, кажется более

чем достаточной во всех тех случаях, когда в опыте участвуют металлы, а может быть, и другие проводники; что же касается таких веществ, как стекло, смолы и, особенно, газы, то представляется невозможным, чтобы в них можно было образовать токи электричества, способные произвести эти действия. Тем не менее, Араго нашел, что действия, о которых идет речь, производились с помощью как этих, так и всех испытанных им веществ (81). Правда, гг. Бэббедж и Гершель не наблюдали их ни с какими неметаллическими веществами, за исключением угля в сильно проводящем состоянии (82). Г-н Гаррис подтвердил их существование при дереве, мраморе, песчанике и отоженном стекле, но не получил никакого действия с серной кислотой и насыщенным раствором сернокислого железа, хотя последние вещества являются лучшими проводниками электричества, чем первые.

131. Позднейшие исследования, несомненно, выяснят эти затруднения и разрешат вопрос, всегда ли тормозящее или ускоряющее действие, о котором говорилось выше, появляется одновременно с электрическими токами.¹ Тот факт, что действие это в металлах продолжается только в то время, пока существуют токи, т. е. пока имеется движение (82, 88), а равно объяснение наблюденного г. Араго (82, 125) отталкивательного действия являются сильными доводами в пользу того, чтобы приписать его этой причине; но, может быть, она проявляется совместно с другими причинами, иногда действующими и отдельно.

132. Медь, железо, олово, цинк, свинец, ртуть и все испытанные металлы при прохождении между магнитными полюсами обнаруживали электрические токи; ртуть для этой цели поме-

¹ Произведенные мною с тех пор опыты убеждают меня, что это особое действие всегда обусловливается образующимися в этом случае токами; эти опыты дают способ для различения этого действия от действия обыкновенного магнетизма или всякой другой причины, включая такие, как механические или случайные причины, создающие подобные же действия (254).

шалась в стеклянную трубку. Плотный уголь, отлагающийся в газовых ретортах, также давал ток, а обыкновенный древесный уголь не давал. Не удалось мне также получить никакого ощутимого действия ни с рассолом, ни с серной кислотой, ни с растворами солей и т. д., все равно, вращал ли я их в сосудах, или заключал в трубки и заставлял их проходить в таком виде между полюсами.

133. Мне никогда не удавалось получить никакого ощущения на язык с помощью проволок, которые я соединял с проводами, прижатыми к краям вращающейся пластинки (88), или с помощью металлических полосок (101). Не удавалось мне также ни нагреть тонкую платиновую проволоку, ни получить искру, ни вызвать сокращение конечностей лягушки. Равным образом мне не удалось обнаружить с помощью полученного таким образом электричества каких-либо химических действий (22, 56).

134. Электрический ток во вращающейся медной пластинке занимает лишь небольшое пространство, протекая около полюсов и разряжаясь справа и слева на сравнительно весьма малых расстояниях (123); при этом он проходит в толстой массе металла, обладающего чуть ли не самой большой проводимостью и способствующего, следовательно, в исключительной степени образованию и разряжению тока; несмотря на это, наружу могут быть выведены значительные токи, которые способны проходить через тонкие проволоки длиною в сорок, пятьдесят, шестьдесят и даже сто футов. На основании всех этих соображений, очевидно, что ток в самой пластинке должен быть очень мощным, когда мы имеем быстрое вращение и сильный магнит. Это в достаточной мере подтверждается также той готовностью и легкостью, с которой магнит весом в десять или двенадцать фунтов следует за движением пластинки, причем сильно закручивает веревку, на которой он подвешен.

135. Было произведено два грубых опыта, имеющих целью построение *магнито-электрических машин*. В одном опыте кольцо шириной в полтора дюйма и с внешним диаметром в двенад-

цать дюймов, вырезанное из толстого медного листа, было установлено так, чтобы оно могло вращаться между полюсами магнита, представляя собой пластинку, вроде тех, которые служили для опытов ранее (101), но бесконечной длины; внутренний и внешний края были покрыты амальгамой, и к каждому краю в месте расположения полюсов были приложены упомянутые выше проводники. Получавшийся ток электричества, как показал гальванометр, был не сильнее, чем ток от круглой пластинки (88), если вообще достигал его величины.

136. В других опытах небольшие толстые диски из меди или другого металла, диаметром в полдюйма, приводились в быстрое вращение вблизи полюсов, но так, что ось вращения не совпадала с осью полюсов; образующееся электричество собиралось, как и ранее, проводниками, скользящими по краям (86). Токи возникали, но значительно меньшей силы, чем в случае круглой пластины.

137. Последний опыт аналогичен тем, которые производил г. Барлоу (Barlow) с вращающимся железным шаром, подверженным влиянию земли.¹ Полученные им явления гг. Бэббедж и Гершель отнесли к той же причине, которая принималась за действующую в опыте Араго;² однако было бы интересно знать, в какой мере отклонение стрелки можно объяснить получаемым при опыте электрическим током. Достаточно провести медный проводник шесть или семь раз взад и вперед вблизи полюсов магнита, изохронно с колебаниями стрелки присоединенного к нему гальванометра, чтобы заставить стрелку колебаться в пределах дуги от 60 до 70°. Вращение медного шара, может быть, решило бы вопрос и могло бы даже пролить свет на более длительные, хотя в некоторой мере аналогичные, явления, полученные г. Кристи.

138. То, что было ранее сказано относительно железа (66), а также отсутствие связи между характерными для этого веще-

¹ Philosophical Transactions, 1825, стр. 317.

² Там же, 1825, стр. 485.

ства обычными магнитными явлениями и описанными здесь явлениями магнито-электрической индукции, имеющими место в этом и других металлах, были полностью подтверждены многими результатами, аналогичными тем, которые описаны в этой главе. Когда между магнитными полюсами проходила железная пластинка, подобная описанной ранее медной (101), она давала ток электричества, как и медная пластинка, но безусловно меньший по силе; в опытах же с индукцией электрических токов (9) нельзя было заметить никакого качественного различия между железом и другими металлами. Таким образом способность железной пластинки вести за собой магнит или препятствовать магнитному действию нужно тщательно отличать от подобной же способности таких металлов, как серебро, медь и т. п., поскольку в железе явления в большей своей части объясняются тем, что можно назвать обычным магнитным действием. Нет никакого сомнения, что причина, указанная гг. Бэббеджем и Гершелем, при объяснении явлений Араго, является истинной в тех случаях, когда металлом, служившим для опытов, было железо.

139. Обнаруженный этими исследователями и подтвержденный г. Гаррисом факт, что висмут и сурьма при своем движении оказывают некоторое весьма слабое действие на подвешенный магнит, кажется на первый взгляд не соответствующими их проводимости; так ли это или не так — это должно быть решено дальнейшими опытами (73).¹ Эти металлы являются сильно кристаллическими и, вероятно, проводят электричество в различных направлениях с различной степенью легкости; вполне правдоподобно, что там, где масса (металла) составлена из некоторого числа гетерогенно соединенных кристаллов, может иметь место явление, близкое к настоящему

¹ В дальнейшем мне удалось объяснить эти различия и доказать, что для различных металлов явление находится в соответствии с проводимостью, так как мне удалось получить посредством магнито-электрической индукции токи электричества, по своей силе пропорциональные проводимости испытуемых веществ.

разрыву, или что токи электричества могут оказаться внезапно отклоненными на границах таких кристаллических образований; тогда они должны более быстро и полно разряжаться внутри массы.

Королевский институт.

Ноябрь 1831 г.

Примечание. Вследствие длительного промежутка времени, истекшего между прочтением предыдущего доклада и его печатанием, сведения об этих опытах успели распространиться и, при посредстве моего письма к г. Гашетту, достигли Франции и Италии. Письмо это было переведено (с некоторыми ошибками) и доложено в Академии Наук в Париже 26 декабря 1831 г. Копия его, опубликованная в *Le Temps* от 28 декабря, быстро попала к г. Нобили (*Nobili*), который совместно с г. Антинори (*Antinori*) сейчас же произвел соответствующие опыты и получил многие из упомянутых в моем письме результатов; некоторых результатов им не удалось получить или понять вследствие краткости моего сообщения. Полученные гг. Нобили и Антинори результаты составили предмет статьи, датированной 31 января 1832 г., и отпечатаны и опубликованы в номере *Antologia*, датированном ноябрем 1831 г. (по крайней мере, так можно заключить, судя по оттиску статьи, любезно присланному мне г. Нобили). Ясно, что работа тогда отпечатана быть не могла; и хотя г. Нобили включил в свою статью и мое письмо как основу для своих экспериментов, тем не менее, из-за датирования ее задним числом многие, знавшие об опытах Нобили только понаслышке, полагали, что его данные предшествовали моим, а не проистекали из них. При таких обстоятельствах да будет мне позволено заметить, что я экспериментировал по данному вопросу уже несколько лет и результаты уже опубликовал (см. *Quarterly Journal of Science* за июль 1825 г., стр. 338). Нижеследующее является выдержкой из моего дневника, датированной 28 ноября 1825 г.: «Опыты над индукцией с помощью соединительного провода гальванической батареи: батарея из четырех сосудов, десяти пар пластин, расположенных рядом с полюсами, соединенными проводом длиной приблизительно в четыре фута, параллельно которому располагался другой такой же провод, отделенный только двойным слоем бумаги и присоединенный своими концами к гальванометру: никакого действия не обнаружено, и т. д. и т. д. и т. д. Не удалось никоим образом обнаружить какой-либо индукции от соединительного провода». Причина наблюдавшейся в свое время неудачи теперь очевидна (79). —

Апрель 1832 г.

М. Ф.

В Т О Р А Я С Е Р И Я

Лекция имени Бэкера

Раздел 5. Земная магнито-электрическая индукция. Раздел 6. Общие замечания и пояснения относительно силы и направления магнито-электрической индукции.

Доложено 12 января 1832 г.

РАЗДЕЛ 5

Земная магнито-электрическая индукция

140. После того как были открыты основные факты, описанные в предыдущей статье, и установлен закон магнито-электрической индукции в отношении направления [токов] (114), нетрудно было представить себе, что земля может произвести такое же действие, как магнит, и притом в столь сильной степени, что, пользуясь этим действием, можно будет построить новые электрические машины. Нижеизложенное представляет собой некоторые результаты, полученные при развитии этой мысли.

141. Описанная выше полая спираль (6) соединялась с гальванометром посредством проводов длиной в восемь футов; цилиндр из мягкого железа (34), предварительно нагретый докрасна и медленно охлажденный для удаления следов магнетизма, был вставлен внутрь спирали таким образом, что он одинаково выдавался с обоих концов; в таком положении он был закреплен. Спираль вместе с стержнем оставались неподвижными в направлении магнетизма или линии наклонения, а затем (при неподвижной стрелке гальванометра) их повертывали таким образом,

чтобы нижний конец стал верхним, но чтобы вся система опять соответствовала направлению магнетизма; стрелка немедленно отклонилась. Когда стрелка возвратилась в начальное положение, спираль со стержнем снова переворачивалась; если это повторять два или три раза таким образом, чтобы переворачивания совпадали с колебаниями, стрелка раскачивается на угол в 150 или 160°.

142. Когда один конец спирали (назовем его *A*) был сначала наверху (конец *B*, следовательно, внизу), тогда не имело значения, в каком направлении она двигалась во время переворачивания вправо, влево или как-нибудь иначе; стрелка гальванометра неизменно отклонялась в одну и ту же сторону. И, наоборот, когда наверху был конец *B*, переворачивание спирали со стержнем в любом направлении всегда вызывало отклонение стрелки в одном и том же направлении, причем это направление было противоположно направлению отклонения в первом случае.

143. Когда находящуюся в любом данном положении спираль с ее железным сердечником переворачивали, то действие получалось такое же, как будто в переворачиваемую спираль сверху вводили магнит, направленный своим полюсом с меткой вниз. Пусть, например, конец *B* находится наверху; если тогда ввести такой магнит сверху, он заставит конец стрелки гальванометра с меткой отклониться к западу. Если же конец *B* находится внизу, а мягкое железо — на своем месте, то переворачивание всей системы также произведет то же самое действие.

144. Когда стержень из мягкого железа вынимали из спирали и поворачивали в различных направлениях на расстоянии четырех футов от гальванометра, то не обнаруживалось ни малейшего действия на последний.

145. Эти явления с необходимостью вытекают из индуктивной магнитной способности земли, превращающей цилиндр из мягкого железа в магнит, у которого полюс с меткой направлен вниз. Опыт аналогичен тому, в котором для намагничивания того же самого цилиндра в той же самой спирали (36) применялись два стержневых магнита; при этом переворачивание в настоящем

опыте равносильно перемене полюсов в том расположении. Результат, тем не менее, представляет собой пример получения электричества с помощью магнетизма земного шара.

146. Затем в магнитном направлении удерживалась все время одна только спираль, а цилиндр из мягкого железа вводился позже; стрелка гальванометра немедленно отклонялась; если убрать цилиндр, как только стрелка возвратится на место, и дальше производить обе операции сразу, то колебания вскоре доходят до угла в 180° . Действие оказывалось точно таким же, как в том случае, когда я пользовался цилиндрическим магнитом с направленным книзу полюсом с меткой; направление движения и т. д. — все было в полном согласии с результатами предшествующих опытов с таким магнитом (39). Если взять магнит и поставить его в такое же положение, то получается такое же отклонение, только более сильное. Если поставить спираль под прямым углом к направлению магнетизма или направлению стрелки наклона, то при введении и удалении цилиндра из мягкого железа на стрелку никакого действия не получается. При всяком отклонении от положения стрелки наклона получаются результаты такого же рода, как уже описанные, но их сила увеличивалась по мере приближения спирали к направлению стрелки наклона.

147. Хотя цилиндрический магнит и обладает в сильной степени способностью влиять на гальванометр при своем движении во внутрь спирали или из нее, но он не способен продлить отклонение (39), и поэтому, если его оставить внутри спирали, то магнитная стрелка сейчас же возвращается к своему обычному положению покоя. Но при повторении (с магнитом) опыта с переворачиванием в направлении стрелки наклона (141) наблюдалось такое же сильное влияние на стрелку, как и ранее; возмущение магнетизма в стальном магните, производимое индуктивной силой земли, оказалось таким образом близким, если не совсем равным, по величине и скорости, возмущению, производимому в мягком железе. Возможно, что таким путем магнито-электрические устройства могут оказаться полезными для обна-

ружения возмущения магнитных сил в тех случаях, когда другие способы неприменимы; ибо видимое действие производится не полной магнитной силой, а лишь разностью, вызываемой возмущающими причинами.

148. Эти благоприятные результаты позволили мне надеяться, что можно будет сделать ощутимой непосредственную магнито-электрическую индукцию земли; в конце концов, мне удалось получить это действие различными способами. Когда я помещал уже упомянутую спираль (141, б) в направлении стрелки магнитного наклона, но без всякого железного или стального цилиндра, а затем переворачивал ее, то наблюдалось лишь слабое действие на стрелку. Но, поворачивая спираль раз десять или двенадцать, и притом с таким периодом, чтобы отклоняющие силы, возбуждаемые получающимися в спирали токами электричества, складывались с действием инерции стрелки (39), колебания последней удавалось доводить до угла 80 и 90°. Здесь, таким образом, токи электричества производились непосредственно индуктивной способностью земного магнетизма, без всякого содержащего железо вещества, и притом в металле, не способном проявлять обычные магнитные явления. Опыт этот во всех отношениях воспроизводит те действия, которые получаются при поднесении той же спирали к одному или обоим полюсам какого-либо мощного магнита (50).

149. Руководясь данным ранее законом (114), я ожидал, что все электрические явления при вращении металлической пластинки теперь можно будет воспроизвести без всякого постороннего магнита, помимо земли. Столь часто упоминавшаяся пластинка (5) была поэтому укреплена таким образом, что могла вращаться в горизонтальной плоскости. Магнитные кривые земли (114, примечание), т. е. направление стрелки наклона, пересекали эту плоскость под углом около 70°; я считал, что это достаточно близко к перпендикулярности, и что магнито-электрическая индукция, которая здесь получится, будет достаточно сильна для того, чтобы возбудить ток электричества.

150. При вращении пластинки токи, согласно закону (114, 121), должны устремляться в направлении радиусов через все места пластинки, либо от центра к окружности, либо от окружности к центру, в зависимости от того, в каком направлении происходит вращение пластинки. Один из проводников гальванометра был поэтому приведен в соприкосновение с осью пластины, а другой присоединен к свинцовому коллектору или кондуктору (86), который, в свою очередь, был прижат к амальгамированному краю диска. При вращении пластинки наблюдалось отчетливое действие на стрелку гальванометра; при изменении направления вращения на обратное стрелка отклонялась в противоположном направлении, а если опыт производился так, чтобы действие пластины совпадало с колебаниями стрелки, дуга, которую проходила последняя, быстро возрастала до половины окружности.

151. Какой бы части края пластинки ни касался кондуктор, электричество получалось то же самое, если только направление вращения сохранялось неизменным.

152. Когда пластинка вращалась в направлении закручивания винта, иначе: по часовой стрелке, ток электричества (150) шел от центра к окружности; когда направление вращения было такое, как при вывинчивании винта, ток шел от окружности к центру. Направления эти суть те же, какие получались когда под вращающейся пластиной находился магнитный полюс без метки (99).

153. Когда пластинка находилась в плоскости магнитного меридиана или какой-нибудь другой плоскости, *совпадающей* с магнитным наклоением, тогда ее вращение не производило действия на гальванометр. Когда пластинка составляла с наклоением угол, равный всего нескольким градусам, при вращении начинало появляться электричество. Таким образом, при вертикальном положении пластинки в плоскости, перпендикулярной магнитному меридиану, т. е., когда ее собственная плоскость составляла с наклоением угол всего около 20° , при вращении пластинки получалось электричество. С возрастанием этого угла,

электричество становилось все сильнее, и наконец, когда угол, образуемый плоскостью пластинки с наклоном, достигал 90° ; электричество, при данной скорости вращения пластинки, достигало максимума.

154. Поразительно видеть, как вращающаяся пластинка становится таким образом новой электрической машиной; любопытные выводы вытекают из сравнения ее с обычной машиной. В последнем случае пластинка машины делается из наилучшего непроводника, какой можно иметь; в первом — из наиболее совершенного проводника; в одном случае изоляция существенна, в другом — она гибельна. В отношении количества получаемого электричества металлическая машина вовсе не стоит ниже стеклянной, так как она может давать постоянный ток, способный отклонять стрелку гальванометра, чего не может делать стеклянная. Правда, силу получаемого таким образом тока до сих пор не удалось увеличить настолько, чтобы сделать его пригодным для какого-нибудь из обычных применений этой силы; однако имеются все основания ожидать, что это можно будет осуществить в дальнейшем и, вероятно, различными способами. Каким бы слабым ни казался этот ток, он столь же силен, если не сильнее, чем термоэлектрический ток. В самом деле, он может проходить через жидкости (23), приводить в возбуждение животный организм, а если мы пользуемся электрическим магнитом, ток производит и искры (32).

155. Медный диск, толщиной в одну пятую дюйма и диаметром всего в полтора дюйма, был амальгамирован по краю; в квадратном куске листового свинца (медь была бы лучше) такой же толщины было вырезано круглое отверстие, в которое диск входил свободно; небольшое количество ртути служило для контакта между диском и окружающим его кольцом; последнее было присоединено к одному из проводов гальванометра, а другой провод был опущен в маленькую металлическую чашечку с ртутью, укрепленную на нижнем конце медной оси малого диска. Вращая диск в горизонтальной плоскости, удавалось получить действие на стрелку гальванометра, хотя единственным участвующим

щим в опыте магнитом была земля, а радиус диска не превосходил трех четвертей дюйма; ток возбуждался только на этом протяжении.

156. Помещая под вращающийся диск полюс магнита, удавалось получить постоянное отклонение стрелки.

157. Если для опыта брались медные провода толщиной в одну шестую дюйма, вместо более тонких проволок, неизменно употреблявшихся до сих пор (86), получались гораздо более мощные действия. Может быть, если бы гальванометр состоял из меньшего числа витков толстой проволоки, а не из большого числа витков более тонкой, то получались бы еще более поразительные действия.

158. Я предполагаю изготовить прибор такого вида, чтобы в нем были расположены друг над другом несколько дисков; диски должны быть металлически соединены помощью ртути попеременно у краев и у центров, и затем должны вращаться в попеременно противоположных направлениях, т. е. первый, третий, пятый и т. д. — вправо, а второй, четвертый, шестой и т. д. — влево; при этом вся машина должна быть расположена так, чтобы диски были перпендикулярны к направлению стрелки наклона или пересекали магнитные кривые сильных магнитов под углом, возможно более близким к прямому. В одной серии дисков электричество будет направлено от центра к окружности, а в дисках, расположенных по обе стороны от первых, — от окружности к центру; таким образом действие всей системы будет согласно создавать один общий и более сильный ток.

159. Однако я интересовался больше открытием новых фактов и новых соотношений, зависящих от магнито-электрической индукции, чем повышением силы уже имеющихся, так как я был уверен, что эти последние найдут впоследствии свое полное развитие.

160. В моем предшествующем докладе я указывал на вероятную роль земной магнито-электрической индукции (137) при создании, целиком или частью, явлений, наблюдавшихся

гг. Кристи и Барлоу,¹ при вращении содержащих железо тел; это касается в особенности тех явлений, которые наблюдались последним ученым при быстром вращении полого железного шара и которые приписывались им изменению обычного распределения магнетизма шара. Я также высказал тогда предположение, что вращение медного шара, по всей вероятности, позволит отделить действия, вызываемые электрическими токами, от действий, вызываемых перераспределением магнетизма, и прольет свет на истинную природу этих явлений.

161. Если иметь в виду упомянутый выше закон (114), то представляется невероятным, чтобы металлический шар мог вращаться в естественной обстановке без того, чтобы в нем создавались электрические токи: последние должны обтекать его в плоскости, расположенной под прямым углом к плоскости вращения, если только ось вращения не совпадает с направлением стрелки наклона. Казалось, что наиболее сильными токи будут тогда, когда ось вращения перпендикулярна к стрелке наклона, потому что тогда все места шара, лежащие ниже плоскости, проходящей через его центр и перпендикулярной к стрелке наклона, будут при своем движении пересекать магнитные кривые в одном направлении, а все места, лежащие выше этой плоскости, будут пересекать их в противоположном направлении; таким образом в этих движущихся частях будут существовать токи, идущие от одного полюса вращения к другому, но токи наверху будут направлены обратно нижним токам и в соединении с ними создадут непрерывный круговорот электричества.

162. Поскольку электрические токи в шаре нигде не прерываются, я ожидал сильных действий и намеревался получить их с помощью простых приборов. Шар, которым я пользовался, был из латуни; он был взят со старой электрической машины, был полый, тонкий (слишком тонкий) и имел четыре дюйма в диа-

¹ Christie, *Philosophical Transactions*, 1825, стр. 58, 347 и сл.; Barlow, *Philosophical Transactions*, 1825, стр. 317.

метре; в него была ввинчена латунная проволока, и шар приводился во вращение рукой через проволоку, а иногда, в целях большей устойчивости, проволокой держался в отверстии, проделанном в куске дерева; движение производилось опять-таки от руки. Покуда шар находился в покое, он не обнаруживал никаких следов магнетизма.

163. Для обнаружения токов я взял сложную магнитную стрелку. Она была устроена следующим образом: у швейной иглы были отломаны ушко и острие; затем она была намагничена и разломана пополам; полученные таким образом два магнита были укреплены на сухой соломинке перпендикулярно к ней и на расстоянии примерно четырех дюймов друг от друга; оба они были расположены в одной плоскости, но одноименными полюсами в прогивоположные стороны. Соломинка была прикреплена к нитке некрученого шелка, длиной приблизительно в шесть дюймов, а нитка — к палочке, проходившей через пробку, вставленную в горлышко цилиндрической банки; таким образом получалась сложная система, совершенно защищенная от движения воздуха; магнетизм земли влиял на нее лишь в слабой степени, но она, тем не менее, была высокочувствительна к магнитным и электрическим силам, когда последние подносились близко к одной или другой стрелке.

164. Стрелки были установлены в плоскости магнитного меридиана, а шар расположен снаружи стеклянной банки к западу от стрелок и на такой высоте, что его центр находился на одной горизонтали с верхней стрелкой; ось его проходила в плоскости магнитного меридиана, но перпендикулярно направлению стрелки наклона. Когда шар приводился во вращение, немедленно обнаруживалось действие на стрелку. При изменении направления вращения стрелка тоже испытывала действие, но в обратном направлении. Когда шар вращался в направлении с востока на запад, полюс с меткой отклонялся к востоку; при вращении шара в противоположном направлении, полюс с меткой отклонялся к западу или по направлению к шару. Когда шар был расположен к востоку от стрелки, стрелка все же отклонялась в преж-

нем направлении, т. е. при вращении шара с востока на запад полюс с меткой отклонялся к востоку (или по направлению к шару); при вращении в противоположном направлении полюс с меткой отклонялся к западу.

165. Закручиванием шелкового подвеса стрелки были поставлены в положение, перпендикулярное плоскости магнитного меридиана; шар снова был приведен во вращение, причем ось его была параллельна стрелкам; верхняя испытывала такое же действие, как и ранее, и характер отклонения указывал, что в этом, как и в первом случае, стрелка находилась исключительно под влиянием токов электричества, существующих в латунном шаре.

166. Будем верхнюю часть шара рассматривать как провод, движущийся с востока на запад над земным полюсом без метки; тогда ток электричества в нем должен идти с севера на юг (99, 114, 150); если нижнюю часть рассматривать как такой же провод, движущийся над тем же самым полюсом с запада на восток, то электрический ток должен идти с юга на север, и поэтому в наших широтах путь электричества в металлическом шаре, вращающемся в направлении с востока на запад, должен быть: вверх — с севера к югу, а внизу — обратно к северу. А такие именно токи требуются для сообщения стрелке указанных отклонений в описанных выше опытах; так что совпадение теории, на которой были основаны опыты, с самими опытами, оказывается полное.

167. При значительном наклоне оси вращения оказывалось, что вращающийся шар все еще действует на магнитную стрелку; и только тогда, когда угол, образуемый осью и направлением магнитногоклонения, становился малым, действие шара, даже на этот прибор, исчезало (153). Очевидно, что при вращении вокруг оси, параллельной направлению стрелки наклонения, шар становится аналогичным медной пластинке; электричество одного рода можно собирать на его экваторе, а другого рода — на полюсах.

168. Такой ток в шаре, какой описан выше (161), должен отклонять стрелку одинаково, независимо от того, где она нахо-

дится: по правую или по левую сторону от шара и оси вращения; но когда стрелка находится один раз выше, а другой раз ниже шара, то он должен отклонять ее в противоположные стороны, так как тогда ток действует или должен бы действовать на стрелку в противоположных направлениях. Это предположение подтвердилось при вращении шара под намагниченной стрелкой, причем последняя оставалась заключенной в сосуде. Когда шар вращался в направлении с востока на запад, полюс стрелки с меткой отклонялся не к востоку, а к западу; а когда шар вращался в направлении с запада на восток, полюс с меткой отклонялся к востоку.

169. Полученные таким образом с латунным шаром отклонения магнитной стрелки имеют точно такое же направление, как отклонения, наблюдавшиеся г. Барлоу при вращении железного шара, и судя по тому, что железо, подобно всякому другому металлу, обнаруживает явления магнито-электрической индукции, отличные от присущих ему магнитных явлений (132), невозможно, чтобы в этих опытах не возбуждались и не действовали электрические токи. Какая именно часть всего действия объясняется этой причиной, это должно быть решено путем более подробного изучения всех явлений.

170. Эти результаты, в связи с вышеустановленным общим законом (114), навели меня на чрезвычайно простой опыт, который, однако, несмотря на его простоту, при испытании оказался вполне отвечающим делу. Благодаря устранению всяких посторонних обстоятельств и всякой сложности уставки, а также благодаря отчетливости получаемых показаний, этот один опыт содержит в себе почти все факты в области магнито-электрической индукции.

171. Кусок обыкновенной медной проволоки длиной около восьми футов и толщиной в одну двадцатую дюйма одним своим концом был прикреплен к одному из концов цепи гальванометра, а другим — к другому концу; таким образом проволока составляла бесконечное продолжение цепи гальванометра; потом она была кое-как согнута в виде прямоугольника или, вернее, петли, и верхнюю часть этой петли можно было перемещать над гальва-

нометром взад и вперед; при этом нижняя часть со связанным с ней гальванометром оставалась в покое (рис. 30). При перемещении этой петли над гальванометром справа налево магнитная стрелка немедленно отклонялась; при обратном перемещении петли стрелка отклонялась в направлении, противоположном тому, в котором она отклонялась раньше: если повторять эти перемещения петли, согласно с колебаниями стрелки (39), эта последняя быстро раскачивается на 90° и более.

172. Соотношение между током электричества, создаваемым в проводнике, и движением последнего можно себе уяснить, если предположить, что вигков гальванометра нет, а провод

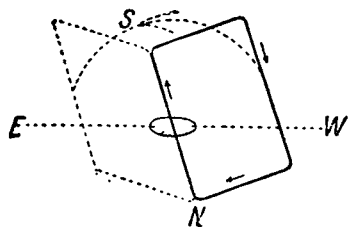


Рис. 30.

согнут в виде прямоугольника, что его нижняя сторона расположена горизонтально в плоскости магнитного меридиана, и сверху как раз над серединой этой стороны подвешена магнитная стрелка, направляемая землей (рис. 30). При передвижении верхней части прямоугольника с запада на восток в положение, изобра-

женное пунктиром, меченый полюс магнитной стрелки отклонялся к западу; следовательно, электрический ток был направлен с севера на юг в месте проводника, проходящем под стрелкой, и с юга на север в движущейся, т. е. верхней стороне, параллелограмма. При движении верхней части прямоугольника над гальванометром с востока на запад полюс с меткой отклонялся к востоку; следовательно, ток электричества был направлен обратно первоначальному.

173. Если прямоугольник был расположен в плоскости восток — запад, а магнитная стрелка установлена параллельно ей либо закручиванием подвесной нити, либо действием магнита, общий характер действий оставался прежним. При перемещении верхней стороны прямоугольника с севера на юг, меченый полюс стрелки отклонялся к северу; когда проводник двигался в про-

тивоположном направлении, меченый полюс отклонялся к югу. Такое же действие имело место при движении проводника во всяком другом азимуте относительно линии наклонения; при этом направление тока находилось всегда в согласии с ранее установленным (114) законом, а также с направлениями, которые получались при вращении шара (164).

174. В этих опытах нет необходимости выводить гальванометр или стрелку из их начального положения. Вполне достаточно сгибать проволоку прямоугольника в том месте, где она выходит из прибора, и повертывать ее так, чтобы подвижная верхняя сторона могла перемещаться в желаемом направлении.

175. Подвижная часть проводника была затем помещена под гальванометром, но так, чтобы она перемещалась перпендикулярно направлению стрелки наклонения. Она действовала на прибор, как и ранее, и в том же направлении, т. е. при перемещении ее под прибором с запада на восток меченый конец стрелки попрежнему отклонялся к западу. Так, конечно, и должно было быть, ибо когда провод пересекает магнитное наклонение в определенном направлении, в нем должен индуцироваться и электрический ток определенного же направления.

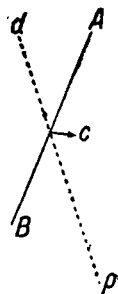


Рис. 31.

176. Пусть на рис. 31 dp параллельно наклонению, а BA будем считать верхней стороной прямоугольника (171) с прикрепленной к ней стрелкой c ; пусть и та и другая удерживаются в плоскости, перпендикулярной наклонению; тогда, как бы провод BA с прикрепленной к нему стрелкой ни поворачивался вокруг dp как оси, если только он будет в дальнейшем перемещаться в направлении стрелки, ток электричества будет идти вдоль него в направлении от B и A .

177. Если перемещать подвижную часть провода вверх и вниз параллельно наклонению, никакого действия на гальванометр не возникает. Если направление движения составляет небольшой угол с наклонением, электричество обнаруживается; оно дости-

гает максимума, когда движение перпендикулярно к направлению магнетизма.

178. Если проводу придавалась другая форма и он перемещался, то получались действия такой же силы, особенно когда его сгибали не в виде прямоугольника, а в виде двойной цепной линии по одну сторону гальванометра, и обе отдельные кривые или половины одновременно приводились в качания в противоположных направлениях; тогда их действия на гальванометр складывались; но все результаты можно было свести к описанным выше.

179. Чем длиннее движущийся провод и чем большее пространство он проходит при своем движении, тем сильнее действие на гальванометр.

180. Ввиду легкости, с которой электрические токи создаются в металлах, перемещаемых под влиянием магнита, в дальнейшем при экспериментировании с металлами и магнитами всегда должно будет принимать предосторожности для избежания подобных действий. Учитывая универсальность магнитного влияния земли, мы приходим к заключению, которое может показаться весьма странным, а именно: вряд ли можно перемещать какой-либо кусок металла, находящийся в контакте с другими, — все равно, находящимися в покое или движущимися с отличными скоростями или в отличных направлениях, — без того, чтобы в них не проходил электрический ток. Возможно, что среди установок паровых машин и металлических конструкций могут встретиться любопытные случайные магнито-электрические комбинации, создающие действия, которые никогда не наблюдались или, если и были замечены, *до сих пор не находили* себе объяснения.

181. При рассмотрении только что описанных явлений земной магнито-электрической индукции почти невозможно не поддаться мысли, что подобные действия, но бесконечно более сильные, могут создаваться действием земного шара как магнита на его собственную массу, вследствие его суточного вращения. Можно было бы думать, что если в наших широтах поместить металлический стержень на поверхности земли, параллельно магнитному

меридиану, то вследствие перемещения стержня с запада на восток (172), благодаря вращению земли, сквозь него устремится ток электричества в направлении с юга на север; что если второй стержень, расположенный в том же направлении, соединить с первым с помощью проводов, то он не сможет разряжать ток от первого, так как он одинаково с первым стремится к тому, чтобы через него шел ток того же направления, в нем индуцированный; но если второй стержень переносить с востока на запад, что равносильно замедлению движения, сообщаемого ему землей (172), то электрический ток с юга на север в первом стержне станет явным вследствие одновременного разряда его через второй стержень.

182. Если предположить, что вращение земли стремится создавать посредством магнито-электрической индукции токи в ее массе, то последние в соответствии с законом (114) и опытами были бы направлены, по крайней мере на поверхности, от мест, расположенных по соседству или вблизи плоскости экватора, в противоположные стороны к полюсам; и если бы можно было приложить к экватору и к полюсам коллекторы, как это было сделано с вращающейся медной пластиной (150), а также с магнитами (220), то отрицательное электричество собиралось бы на экваторе, а положительное — на обоих полюсах (222). Однако за отсутствием кондукторов или чего-нибудь равнозначного, эти токи, очевидно, не могут существовать, поскольку они не имеют возможности разрядиться.

183. Я считал вполне возможным, что между телами может существовать некоторое естественное различие в отношении интенсивности токов, которое создает или стремится создать в них магнито-электрическая индукция; различие это может быть выявлено сравнением этих тел, особенно поскольку гг. Араго, Бэббедж, Гершель и Гаррис согласно нашли большие различия не только между металлами и другими веществами, но даже между различными металлами, в отношении их способности приходить в движение или сообщать движение магниту в опытах с вращением (130). Поэтому я взял два проводника по сто двадцать футов

длиною каждый, один железный, а другой медный. Провода были соединены друг с другом концами и затем протянуты в направлении магнитного меридиана таким образом, что образовалось две почти параллельные линии, нигде кроме концов не соприкасающиеся. Медный проводник был затем разрезан посередине и исследован с помощью чувствительного гальванометра, но никаких признаков электрического тока получено не было.

184. Благодаря любезности Его Королевского Высочества, президента Общества, я получил разрешение Его Величества произвести опыты на озере в садах Кенсингтонского дворца (Kensington Palace) в целях сравнить таким же путем воду и металл. Бассейн этого озера искусственный, вода подается Чельсийской компанией; никакие источники в него не втекают, и оно представляет собой именно то, что мне требовалось: однородную массу спокойной чистой воды с берегами, которые тянутся почти точно с востока на запад и с севера на юг.

185. Две очень тщательно очищенные медные пластины, имеющие каждая поверхность в четыре квадратных фута, были припаяны к концам медного провода; пластины были погружены в воду к северу и к югу одна от другой; соединявший их провод был размещен на лужайке на берегу. Пластины находились примерно на расстоянии четырехсот восьмидесяти футов друг от друга по прямой линии; провод имел, вероятно, шестьсот футов в длину. Этот провод был затем разрезан посередине и соединен посредством двух чашечек ртути с чувствительным гальванометром.

186. Сначала получались указания на существование электрических токов; однако при испытании путем перемены направления контакта и другими способами оказалось, что токи вызываются не ожидаемой, а другими причинами. Небольшая разность температур, минимальное количество азотнокислой ртути, употреблявшейся для амальгамирования проводов и попавшей в воду, служащую для поддержания двух чашек ртути при одной и той же температуре — этого уже было достаточно для того, чтобы образовались токи электричества, которые действовали на

гальванометр, несмотря на то, что им надо было пройти примерно через пятьсот футов воды. Когда против этих и других источников ошибок были приняты меры, то никакого действия не стало получаться, и оказалось, что даже такие не сходные между собой вещества, как вода и медь, при пересечении с одинаковой скоростью магнитных кривых земли, совершенно нейтрализуют одно действие другого.

187. Г-н Фокс из Фальмута получил некоторые весьма важные результаты относительно электричества металлосодержащих жил Корнваллийских копей, опубликованные в *Philosophical Transactions*.¹ Я просмотрел статью, чтобы проверить, нельзя ли некоторые из явлений приписать магнито-электрической индукции; однако, хотя я не могу составить себе совершенно определенного мнения, но думаю, что это не так. При сравнении параллельных жил, идущих с востока на запад, основное стремление электричества в проводах было с севера на юг; когда сравнение производилось между участками вблизи поверхности и на некоторой глубине, ток электричества в проводах был направлен сверху вниз. Если бы существовало какое-либо естественное различие в силе электрических токов, образуемых магнито-электрической индукцией в различных веществах или в веществах, движущихся вместе с землей в различных положениях, и если бы его можно было выявить путем увеличения подвергаемых действию масс, то провода и жилы, с которыми производил опыты г. Фокс, может быть, могли бы действовать, как разрядники для электричества массы заключенных между ними пластов, и направление токов совпадало бы с наблюдавшимися как выше направлениями.

188. Хотя электричество, полученное с помощью магнито-электрической индукции в нескольких футах проволоки, обладает лишь малой интенсивностью и до сего времени наблюдалось лишь в металлах и в угле, в особой модификации его, тем не менее, оно обладает способностью проходить через раствор поваренной соли (23), и поскольку увеличение длины подвергаемого действию

¹ 1830, стр. 399.

тела влечет за собой увеличение интенсивности, я надеялся получить действие от обширных движущихся масс воды, хотя неподвижная вода их не давала. Поэтому, с особого разрешения, я произвел опыты у Ватерлооского моста, протянув медный провод длиною девятьсот шестьдесят футов по перилам моста и опустив от его концов другие провода с прикрепленными к ним большими металлическими пластинами для образования контакта с водой. Таким образом провод и вода составляли одну проводящую цепь, и поскольку вода прибывала и убывала с приливом и отливом, я надеялся получить токи, аналогичные токам в латунном шаре (161).

189. Я постоянно получал отклонения гальванометра, но они были очень неправильны, и я впоследствии отнес их к причинам, отличным от исследуемой. Различная степень чистоты воды у двух берегов реки, разность температур, небольшое различие в пластинах, в применяемом припое, в большем или меньшем совершенстве соединения, получаемом при скручивании или каким-нибудь другим способом, — все это производило, одно за другим, свое действие; я производил опыты над водой, проходящей только через средние пролеты моста, употреблял платиновые пластины вместо медных и принимал всякие другие предосторожности, но все-таки мне не удавалось в течение трех дней получить никаких удовлетворительных результатов.

190. С теоретической точки зрения представляется: где только течет вода, там обязательно должны возникать электрические токи. Так, если мысленно провести прямую, проходящую из Дувра в Калэ через море и возвращающуюся в Дувр по морскому дну, то она вычертит замкнутую цепь проводящих веществ, одна часть которой при движении воды вверх или вниз по проливу пересекает магнитные кривые земли, тогда как другая находится относительно в покое. Это есть повторение опыта с проводом (171), но с худшими проводниками. Тем не менее, есть все основания полагать, что электрические токи в основном протекают в направлении описанной цепи в ту или иную сторону в соответствии с тем, как проходит вода по проливу: вверх или вниз. Нет ни-

чего невероятного, что при значительном увеличении размеров движущейся воды в широтном направлении, явление могло бы стать заметным; возможно, что Гольфштрем таким образом благодаря движущимся поперек него электрическим токам, производимым магнито-электрической индукцией земли, может оказывать заметное влияние на форму линий магнитной вариации.¹

191. Хотя до сих пор действие земли на воду и водные растворы не дало положительных результатов, тем не менее, поскольку такие опыты сильно ограничены по размерам и поскольку в подобных жидкостях производить ток с помощью искусственных магнитов возможно (23), — ибо передача тока является доказательством того, что он может быть произведен (213), — постольку сделанное ранее предположение, что земля создает эти индуцированные токи в самой себе (181) вследствие своего суточного вращения, является все же весьма вероятным (222, 223). И если принять во внимание, что движущиеся массы простираются на тысячи миль поперек магнитных кривых, пересекая их в различных направлениях как внутри массы земли, так и на ее поверхности, то представляется возможным, что электричество может достигать значительной интенсивности.

192. Даже в самой гипотетической форме я не осмеливаюсь задать вопрос, не представляют ли собой северное и южное сияния разряд электричества, оттесненный таким образом к полюсам, откуда он стремится возвратиться естественным и предуказанным образом над землей в экваториальные области. Отсутствие сияний в очень высоких широтах отнюдь не противоречит этому предположению: и замечательно, что г. Фокс, который в Фальмуте наблюдал отклонение магнитной стрелки северным сиянием, дает направление, которое совершенно согласуется с настоящей точкой зрения. Он сообщает, что ночью все магнитные вариации

¹ Теоретически даже в корабле или шлюпке, перемещающихся по поверхности воды в северных или южных широтах, должны иметь место токи электричества, протекающие через них прямо поперек направления их движения; когда вода течет мимо корабля, стоящего на якоре, то также должны возникать подобные токи.

были по направлению к востоку,¹ а это и должно иметь место, если электрические токи направляются с юга на север в земле под стрелкой или с севера на юг в пространстве над ней.

РАЗДЕЛ 6

Общие замечания и пояснения относительно силы и направления магнито-электрической индукции

193. Гг. Бэббедж, Гершель и Гаррис повторяли и видоизменяли опыты Араго; при этом указанные ученые направили свое внимание на наблюдавшиеся у металлов и других веществ различия в силе их действия на магнит. Эти различия были весьма значительны² и позволили мне надеяться, что путем механического соединения различных металлов можно будет получить существенные результаты. Поэтому были произведены следующие опыты с целью обнаружить, если возможно, какие-либо подобные различия в действии двух металлов.

194. Кусок каркасной проволоки из мягкого железа, покрытой бумагой, был обнажен и зачищен на одном конце, а затем соединен металлическим контактом с зачищенным концом медного провода. Оба провода были затем скручены вместе, как в канате, на протяжении восемнадцати — двадцати дюймов, а оставшиеся части были направлены врозь и соединены с проводами гальванометра. Железная проволока имела в длину около двух футов, а продолжение ее к гальванометру было из меди.

195. Скрученные медь и железо (нигде, кроме концов, не соприкасающиеся) были затем перемещаемы между полюсами сильного подковообразного магнита (рис. 32); однако ни малейшего действия на гальванометр не наблюдалось, хотя, казалось бы, устройство было пригодно для обнаружения электрического различия между двумя металлами в отношении действия на них магнита.

¹ Philosophical Transactions, 1831, стр. 202.

² Philosophical Transactions, 1825, стр. 472; 1831, стр. 78;

196. Цилиндр из мягкого железа был затем покрыт в средней части бумагой, и вокруг него была намотана в виде спирали скрученная часть вышеупомянутого составного провода; соединения с гальванометром были попрежнему сделаны на концах *A* и *B*. Затем железный цилиндр был приведен в соприкосновение с полюсами сильного магнита, который мог поднимать тридцать фунтов; тем не менее, гальванометр не обнаружил никаких признаков электричества. При замыкании и размыкании контакта были приняты все меры предосторожности для того, чтобы получить накопление действия, но никаких указаний на наличие тока получить не удалось.

197. Подобным образом (194) были испытаны медь и олово, медь и цинк, олово и цинк, олово и железо, но ни малейших признаков электрического тока получить не удалось.

198. Две плоские спирали, одна из меди и другая из железа, содержащие каждая по восемнадцать дюймов проволоки, были соединены друг с другом и с гальванометром и затем поставлены друг

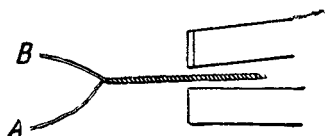


Рис. 32.

против друга в противоположных направлениях. При поднесении их к магнитному полюсу (53) не наблюдалось электрических действий на гальванометр. Когда одна из спиралей была повернута таким образом, чтобы обе имели одинаковое направление, то действие на гальванометр становилось очень сильным.

199. Описанная ранее (8) составная спираль из медной и железной проволоки была устроена в виде двойной спирали, причем одна спираль была целиком из железа и содержала двести четырнадцать футов, а другая — из меди и содержала двести восемь футов проволоки. Два подобных конца *AA* медной и железной спиралей были соединены друг с другом, а другие концы *BB* каждой спирали были присоединены к гальванометру; таким образом при введении магнита в центр системы индуцированные в железе и меди токи должны протекать в проти-

в противоположных направлениях. Тем не менее, когда в спираль вносили магнит или когда находящийся внутри стержень из мягкого железа намагничивался соприкосновением с полюсами, действия на стрелку не возникало.

200. Стекло́нная трубка длиной около четырнадцати дюймов была наполнена крепкой серной кислотой. Конец защищенной медной проволоки на протяжении двенадцати дюймов был согнут в виде мотка и засунут в трубку так, чтобы образовать хороший поверхностный контакт с кислотой, а остальная часть проволоки проходила вдоль наружной поверхности трубки и уходила к гальванометру. Вторая согнутая на конце таким же образом проволока была погружена с другого конца в серную кислоту и также соединена с гальванометром, так что кислота и медный провод в этом опыте были расположены также параллельно друг другу, как железо и медь в первом опыте (194). Когда трубку и провод перемещали подобным же образом между полюсами магнита, ни малейшего действия на гальванометр заметить не удавалось.

201. Из этих опытов как будто явствует, что когда соединенные в одну цепь металлы разного рода подвергаются во всех отношениях одинаково действию магнито-электрической индукции, то они представляют совершенно одинаковые свойства по отношению к тем токам, которые в них возникают или стремятся возникнуть. То же самое, повидимому, справедливо также и по отношению к жидкостям и, вероятно, по отношению ко всем другим веществам.

202. Казалось невозможным, чтобы при этих результатах можно было думать о различной индуктивной способности магнита по отношению к различным металлам; в самом деле, что действие находится в некоторой связи с проводимостью, это казалось необходимым следствием (139); было найдено также, что влияние вращающихся пластин на магниты в общем связано с проводимостью служившего для опытов вещества.

203. В опытах с вращением (81) электрический ток возбуждается и замыкается в одном и том же веществе, независимо от

того, является оно хорошим или плохим проводником; в описанных же здесь опытах ток, возбужденный в железе, может передаваться только через медь, а ток, возбужденный в меди, должен проходить через железо, т. е. если предположить, что в металлах образуются токи различной силы, пропорциональные их проводимостям, то более сильный ток должен проходить по худшему проводнику, а более слабый — по лучшему.

204. Поэтому были произведены опыты, в которых между полюсами магнита продвигались различные изолированные друг от друга металлы, причем противоположные концы их были соединены с одним и тем же концом проводника гальванометра, вследствие чего возникающие и отводимые к гальванометру токи должны были противодействовать друг другу; и когда опыты производились с различными проводниками значительной длины, то наблюдались слабые отклонения.

205. Для получения вполне удовлетворительных результатов был заново изготовлен гальванометр, состоящий из двух не зависящих друг от друга катушек, содержащих каждая по восемнадцать футов обернутой шелком медной проволоки. Эти катушки были совершенно одинаковы по форме и по числу витков и были укреплены рядом, с небольшим зазором между ними; в этом зазоре можно было подвесить на шелковой нити точно такую же двойную стрелку, как в первом приборе (87). Катушки для различения их обозначим буквами *K* и *L*; при пропускании через них электрических токов одного и того же направления, на стрелку действовала сумма их сил, а при токах противоположного направления — разность их сил.

206. Составная спираль (199, 8) была затем присоединена так, что концы *A* и *B* железной проволоки соединялись с концами *A* и *B* катушки *K* гальванометра, а концы *A* и *B* медной проволоки — с концами *B* и *A* катушки *L* гальванометра, так что токи, возбуждаемые в двух спиралях, должны были проходить через катушки *K* и *L* в противоположных направлениях. При введении внутрь спирали небольшого цилиндрического магнита стрелка гальванометра сильно отклонялась. Если выключить железную

катушку, магнит с одной только медной катушкой вызывает еще более сильное отклонение в том же самом направлении. Если вновь включить железную катушку и выключить медную, магнит вызывает незначительное отклонение в противоположном направлении. Таким образом было очевидно, что электрический ток, индуцированный магнитом в медном проводе, значительно сильнее тока, индуцированного тем же магнитом в таком же железном проводе.

207. Для предотвращения всякой ошибки, могущей возникнуть в результате более сильного влияния одной катушки, по сравнению с другой, на стрелку вследствие близости или других обстоятельств, выводы железной и медной спиралей были переставлены по отношению к катушкам гальванометра *K* и *L*, так что катушка, которая ранее получала ток от медной, проводила теперь ток от железной, и наоборот. Однако было обнаружено такое же резкое превосходство меди, как и ранее. К такой же предосторожности я прибегал в остальных опытах, которые производились с другими металлами

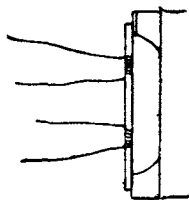


Рис. 33.

и которые будут описаны в дальнейшем.

208. Затем я брал проводники из железа, цинка, меди, олова и свинца, протянутые до одного и того же диаметра (очень близкого к одной двадцатой дюйма), и сравнивал попарно совершенно одинаковые отрезки, а именно по шестнадцать футов каждого, следующим образом: концы медного проводника были присоединены к концам *A* и *B* катушки *K* гальванометра, а концы цинкового проводника — к выводам *A* и *B* катушки *L* гальванометра. Затем средняя часть каждого проводника была шесть раз обернута вокруг покрытого бумагой цилиндра из мягкого железа, такой длины, чтобы им можно было соединять полюсы подковообразного магнита Даниэля (59) (рис. 33); две одинаковые спирали из меди и цинка, по шесть витков каждая, окружали стержень в местах, равно отстоящих друг от друга и от полюсов магнита; но эти спирали были умышленно установлены в противо-

положных направлениях и таким образом подавали противоположные токи в катушки K и L гальванометра.

209. При замыкании и размыкании контакта между стержнем из мягкого железа и полюсами магнита получалось резкое действие на гальванометр; если отключался цинк, действие на гальванометр в том же направлении было еще более резким. По принятии всех ранее указанных (207) и других мер предосторожности было вполне доказано, что ток, индуцируемый магнитом в меди, значительно сильнее, чем в цинке.

210. Затем медь таким же способом сравнивалась с оловом, свинцом и железом и оказалась превосходящей их всех, даже в большей степени, чем она превосходила цинк. Цинк был затем сравнен экспериментально с оловом, свинцом и железом и оказался способным производить более сильный ток, чем каждый из этих металлов. Подобным же образом железо оказалось превосходящим олово и свинец; следующим шло олово, а последним — свинец.

211. Итак, порядок, в котором идут металлы, таков: медь, цинк, железо, олово и свинец. Точь-в-точь таков же их порядок по отношению их электрической проводимости и, за исключением железа, таков же порядок в опытах по магнитному вращению, произведенных гг. Бэббеджем, Гершелем, Гаррисом и др. В последнего рода опытах железо проявляет дополнительную силу, благодаря своим обычным магнитным свойствам, и место его в отношении магнито-электрического действия исследуемого сейчас типа такими опытами установлено быть не может. Описанным выше способом место это может быть определено точно.¹

212. Надо, тем не менее, отметить, что в этих опытах полное действие между различными металлами не обнаруживается;

¹ Г. Кристи, который был назначен докладчиком по этой статье и получил ее в свое распоряжение ранее, чем она была закончена, сам подумал об этом затруднении (202); для собственного успокоения он произвел опыты над железом и медью с большим магнитом (44) и пришел к тем же заключениям, что и я. Эти две серии опытов были совершенно независимы друг от друга, так как ни один из нас не был осведомлен о действиях другого:

в самом деле, из тридцати четырех футов провода, включенного в каждую из цепей, восемнадцать футов в обеих состояли из меди, представляя собой проволоку катушек гальванометра; а так как на результирующую силу тока влияет вся цепь, то это обстоятельство должно стремиться уменьшить разницу, которая проявлялась бы между металлами, если бы цепи состояли целиком из одного и того же вещества.

В данном случае полученное различие представляет собой, вероятно, не более половины того, которое получилось бы, если бы каждая цепь состояла целиком из одного металла.

213. Эти результаты направлены к подтверждению того, что токи, образуемые магнито-электрической индукцией в телах, пропорциональны проводимости этих последних. Что они в точности пропорциональны проводимости и полностью от нее зависят, доказано, я полагаю, той полной нейтральностью, которая имеет место, когда два металла или два других вещества, как кислота, вода и т. д. и т. д. (201, 186), противопоставлены друг другу в их действии. Слабый ток, который стремился возникнуть в худшем проводнике, встречает более благоприятные условия для своего прохождения в лучшем проводнике, а интенсивность более сильного тока, который стремится образоваться в последнем, ослабляется сопротивлением первого проводника; сила, создающая ток, и сила, сопротивляющаяся ему, так строго уравновешены, что в точности нейтрализуют друг друга. А поскольку сопротивление обратно пропорционально проводимости, то для того, чтобы создать это строгое равновесие, стремление к зарождению тока должно быть прямо пропорционально производящей его силе.

214. Теперь становится простой и очевидной причина равенства действия в описанных выше различных случаях, когда друг с другом соединялись большие количества провода (183) или провода и воды (184), которые, однако, производили столь различные действия на магнит.

215. Там, где обычный магнетизм не играет роли, все действия вращающегося вещества на стрелку или магнит должны быть

прямо пропорциональны проводимости этого вещества; и теперь я беру на себя смелость предсказать, что это окажется справедливым в действительности и что во всех тех случаях, в которых это особое действие приписывалось непроводникам, движение было обусловлено какой-нибудь посторонней причиной обычного рода, как то: механическая передача движения через части прибора или другим путем (как в случае, приводимом г. Гаррисом)¹ или же обычные магнитные притяжения. Чтобы отличить действие последних от действий, вызываемых индуцированными электрическими токами, я придумал очень удачный решающий опыт, который будет описан ниже (243).

216. Имеются все основания думать, что стержневой магнит или же магнитная стрелка окажутся превосходными средствами для измерения проводимости вращающихся вблизи них веществ; действительно, путем тщательных опытов я нашел, что при пропускании постоянного тока последовательно через ряд проводов из меди, платины, цинка, серебра, свинца и олова, протянутых до одинакового диаметра, отклонения стрелки во всех случаях оказывались в точности одинаковыми. Следует припомнить, что когда тела вращаются в горизонтальной плоскости, то на них действует магнетизм земли. Поскольку действие сказывается на всей пластине, то оно в этих случаях не может быть вредным, но в иных опытах и расчетах оно может иметь важное значение.

217. Другой вопрос, который я пытался разрешить, заключался в том, существенно ли или нет, чтобы при пересечении магнитных кривых подвижная часть провода переходила в положение, соответствующее большей или меньшей магнитной силе; или же движение само по себе является достаточным для получения тока, если все время пересекаются кривые одной и той же магнитной силы. Что справедливо последнее, это было доказано уже несколькими опытами с земной магнито-электрической индукцией. Так, например, электричество, получаемое от медной пластинки (149), токи, получаемые во вращающемся шаре (161 и сл.),

¹ Philosophical Transactions, 1831, стр. 68.

и токи, проходящие через движущийся провод (171), — все они образуются при обстоятельствах, при которых магнитная сила не могла не оставаться неизменной в течение всего опыта.

218. Чтобы подтвердить это положение для случая обычного магнита, к концу цилиндрического магнита был прилеплен медный диск с прослойкой бумаги; магнит и диск вращались вместе, а коллекторы (присоединенные к гальванометру) были приведены в соприкосновение с окружностью и центральной частью медной пластины. Стрелка гальванометра отклонялась, как и в предыдущих случаях, и направление отклонения было такое же, какое получилось бы, если бы вращалась только медь, а магнит был неподвижен. Не наблюдалось также заметной разницы в величине отклонения. Итак, вращение магнита не вызывает никакой разницы в результатах, ибо вращающийся и неподвижный магнит производят одно и то же действие на движущуюся медь.

219. Закрытый с одного конца медный цилиндр был надет на магнит, половину которого он покрывал как бы колпачком; цилиндр был укреплен неподвижно и предохранен во всех точках от соприкосновения с магнитом проложенной между ними бумагой. Затем прибор этот был опущен в узкий сосуд со ртутью, так что нижний край медного цилиндра касался жидкого металла; один проводник от гальванометра был погружен в эту ртуть, а другой — в небольшую выемку в центре дна медного колпачка. При вращении магнита и укрепленного на нем цилиндра огромное количество электричества проходило через гальванометр, и в том же направлении, как если бы вращался только цилиндр, а магнит оставался в покое. Результаты таким образом получились такие же, как и с диском (218).

220. Что самый металл магнита может заменить собой движущийся цилиндр, диск или провод, казалось неизбежным следствием; в то же время оно показало бы действие магнито-электрической индукции в поразительной форме. Поэтому в центре каждого из концов цилиндрического магнита было проделано по небольшому углублению для помещения в нем капли ртути, и затем магнит был опущен полюсом кверху в этот металл, налитый

в узкий сосуд. Один провод гальванометра был погружен в находящуюся в сосуде ртуть, а другой — в каплю, заключенную в углублении на верхнем конце оси. Затем магнит был приведен во вращение посредством куска обернутой вокруг него веревки, и стрелка гальванометра немедленно отметила сильный ток электричества. При изменении направления вращения на обратное электрический ток менял знак. Направление движения электричества было такое же, как если бы медный цилиндр (219) или какой-нибудь медный проводник вращался вокруг неподвижного магнита в том же направлении, какому следовал самый магнит. Таким образом становится очевидной своеобразная независимость между магнетизмом и тем стержнем, в котором он сосредоточен.

221. В вышеприведенном опыте ртуть доходила примерно до половины высоты магнита: но когда количество ее было увеличено так, что она отстояла от верхнего конца на одну восьмую дюйма, а также тогда, когда оно было уменьшено так, что она настолько же отстояла от нижнего конца, все же наблюдались те же самые действия и те же самые направления электрических токов. Впрочем, в этих крайних случаях действия проявлялись не так сильно, как в тех случаях, когда уровень ртути приходился приблизительно на середине магнита или где-либо между серединой и одним дюймом от одного из концов его. Магнит был длиной в восемь с половиной дюймов и диаметром в три четверти дюйма.

222. При переворачивании магнита и вращении его в одинаковом направлении, т. е. всегда в направлении завинчивания или развинчивания, возникал противоположный ток электричества. Но когда движение магнита сохраняет постоянное направление по отношению к его *собственной оси*, тогда на обоих его полюсах собирается электричество одного знака, а противоположное электричество — у экватора или по соседству с ним, или в местах, соответствующих ему. Если магнит установить параллельно земной оси так, что его полюс без метки будет направлен на Полярную звезду, и затем вращать в таком направлении, чтобы точки на его южной половине двигались с запада на восток,

в соответствии с движением земли, то положительное электричество можно собирать на концах магнита, а отрицательное — у середины его массы или примерно там.

223. При очень чувствительном гальванометре, если один из проводов гальванометра касался конца, а другой — экваториальных областей, достаточно было простого поворота магнита в воздухе для того, чтобы образовался ток электричества и чтобы стрелка отклонялась.

224. Затем были произведены опыты с подобным же магнитом в целях установить, не имеет ли места возвращение электрического тока в центральных или осевых местах, обладающих той же угловой скоростью вращения, что и другие места (259); я полагал, что этого не происходит.

225. На одном конце цилиндрического магнита длиной в восемь дюймов и диаметром в три четверти дюйма в направлении оси было просверлено отверстие диаметром в четверть дюйма и глубиной в три дюйма. В него был вставлен медный цилиндр, окруженный бумагой и на обоих концах покрытый амальгамой, так что на дне отверстия можно было с помощью небольшого количества ртути создать металлический контакт его с серединой магнита; по бокам цилиндр был изолирован бумагой и выдавался примерно на четверть дюйма над концом стали. На медный стержень надевалась муфта, которая доходила до бумаги и образовала чашечку, куда наливалась ртуть, необходимая для замыкания цепи. Вокруг этого конца магнита был, кроме того, устроен высокий бумажный ободок, и в него наливалась ртуть, которая, однако, не имела металлического соединения с ртутью в муфте, если не считать соединение через самый магнит и через медный стержень (рис. 34). Провода *A* и *B* от гальванометра были погружены в эти две порции ртути; таким образом всякий проходящий через них ток мог распространиться не иначе, как вниз, через магнит по направлению к его экваториальным частям и затем вверх по медному стержню, или наоборот.

226. При таком устройстве, при вращении магнита в направлении завинчивания, меченый конец стрелки гальванометра

отклонялся к западу, указывая, что имеется ток через прибор; этот ток шел от *A* к *B* и, значит, от *B* через магнит и медный стержень к *A* (рис. 34).

227. Затем магнит был помещен, как и ранее (219), в сосуд со ртутью (рис. 35); провод *A* был оставлен в контакте с медной осью, а провод *B* был погружен в ртуть в сосуде и находился, таким образом, в металлическом соединении с экваториальными частями магнита, а не с его полюсным концом. При вращении магнита в направлении завинчивания стрелка гальванометра отклонялась в том же направлении, что и раньше, но значительно



Рис. 34.

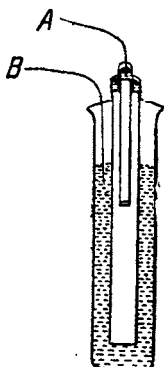


Рис. 35.

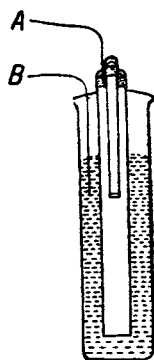


Рис. 36.

сильнее. Но ведь очевидно, что участок магнита от экватора до полюса был вне электрической цепи.

228. Затем провод *A* соединялся со ртутью на конце магнита, провод *B* оставался еще в контакте с ртутью в сосуде (рис. 36); таким образом вся медная ось оказывалась вне цепи. Магнит опять был приведен во вращение в направлении завинчивания и снова производил такое же отклонение стрелки; ток был такой же силы, как и в последнем опыте (227), и гораздо сильнее, чем в первом (226).

229. Отсюда ясно, что в центре магнита не имеется разряда тока, ибо ток, развивающийся теперь свободно, направлен в магните вверх, а в первом опыте (226) он был направлен вниз. В са-

мом деле, там действовала лишь часть движущегося металла, равная небольшому диску, простирающемуся от конца провода *B* в ртути до провода *A*, т. е. только она двигалась с отличной по отношению к остальной цепи угловой скоростью (258), а для этой части направление тока находится в согласии с остальными результатами.

230. В двух последних опытах движущимися по отношению к другим частям цепи, т. е. по отношению к проводам гальванометра, являлись боковые части магнита или медного стержня; эти части, являясь более протяженными и пересекая большее число кривых или двигаясь с большей скоростью, дают большее действие. Для дисковой части направление индуцированного электрического тока везде одинаковое, а именно: от окружности к центру.

231. Таким образом индуцированный электрический ток, возбуждаемый в движущихся по отношению к магнитам телах, зависит от пересечения магнитных кривых металлом (114). Этот закон получил теперь (217, 220, 224) большую точность и определенность и, повидимому, может быть приложен и к случаям, рассмотренным в разделе 1 предыдущего доклада (26); давая полное обоснование для наблюдаемых действий, закон этот делает излишним предположение о существовании особого состояния, которое я позволил себе назвать электротоническим (60).

232. Когда через провод проходит электрический ток, то этот провод во всех своих точках окружен магнитными кривыми, интенсивность которых убывает с расстоянием; мысленно можно уподобить их кольцам, расположенным в плоскостях, перпендикулярных к проводу, или, вернее, к протекающему в нем току. Хотя и отличные по форме, эти кривые являются совершенно аналогичными тем, которые существуют между двумя обращенными друг к другу разноименными полюсами. Когда второй провод, параллельный тому, который несет ток, приближают к последнему (18), то он проходит через магнитные кривые точно того же рода, как и те, которые он пересекал бы при своем пере-

мещении в некотором направлении между противоположными полюсами (109); при удалении от индуцирующего провода он перерезает окружающие его кривые таким же образом, как пересекал бы кривые между теми же полюсами, двигаясь в обратном направлении.

233. Если через проводник NP (рис. 37) пропустить электрический ток в направлении от P к N , то изображенное пунктиром кольцо может представлять собой окружающую его магнитную кривую, идущую в таком направлении, что небольшие магнитные стрелки, помещенные касательно к ней, окажутся расположенными, как на рисунке, где n и s обозначают северные и южные концы (44, сноски).

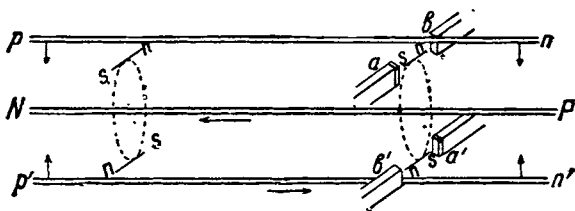


Рис. 37—38.

234. Положим теперь, что ток электричества временно прекращен, а для того, чтобы направить магнитные стрелки мы вместо него воспользовались магнитным полюсом; если с его помощью привести стрелки в такое же положение, какое они занимали бы под влиянием тока, то полюсы надо расположить так, как это изображено на рис. 38, где полюсы с меткой и без метки ab над проводом направлены обратно полюсам $a'b'$ под ним. Таким образом в этом положении магнитные кривые между полюсами ab и $a'b'$ имеют то же общее направление, что и соответствующие части кольцевой магнитной кривой, окружающей провод NP , по которому протекает электрический ток.

235. Если теперь второй провод pn (рис. 37) подносить к главному проводу, по которому идет ток, то он будет пересекать бесконечное число магнитных кривых, имеющих то же направление, что изображенное на рисунке, и, следовательно, сходных

по направлению с кривыми между полюсами ab магнитов (рис. 38); он будет пересекать эти кривые тока таким же образом, как он пересекал бы магнитные кривые, проходя между полюсами сверху вниз. Но такое пересечение в случае магнитов возбудило бы в проводнике электрический ток, направленный от p к n (114); а поскольку кривые расположены одинаково, то такое же действие должно получиться в результате пересечения магнитных кривых, образуемых током, идущим по проводу NP ; так оно и есть в действительности, так как при приближении индуцированный ток имеет направление, противоположное направлению главного тока (19).

236. Если двигать проводник $p'n'$ снизу вверх, то он будет проходить между магнитными полюсами в обратном направлении; но и магнитные полюсы при этом также меняются на противоположные (рис. 38), и индуцированный ток (114) поэтому имеет все то же направление, что и ранее. Он имеет также, по столь же достаточным и очевидным причинам, то же самое направление, если возникает под действием кривых, образуемых проводом.

237. Когда второй провод остается неподвижным поблизости от главного, в нем ток не индуцируется, так как он не пересекает магнитных кривых. При удалении от главного провода он пересекает кривые в направлении, обратном тому, в котором пересекал их ранее (235), и тогда индуцируется ток обратного направления, который, следовательно, соответствует по направлению главному току (19). То же самое действие имело бы место, если бы мы изменили на противоположное направление движения провода при его прохождении между той или другой парой полюсов (рис. 38) и заставили его пересекать имеющиеся там кривые в направлении, обратном тому, в котором он пересекал их ранее.

238. В первых опытах (10, 13) индуцирующий и находящийся под действием индукции провода были расположены на определенном расстоянии друг от друга, и потом через первый из них пропущался электрический ток. Надо принять, что в таком слу-

чае сами магнитные кривые как бы движутся (если можно так выразиться) поперек индуцируемого провода, начиная с момента, когда они начинают развиваться, и вплоть до того момента, когда магнитная сила тока достигает наибольшего значения; что они как бы распространяются в стороны от провода и, следовательно, оказываются по отношению к неподвижному, индуцируемому проводу в том же положении, как если бы он двигался в противоположном направлении поперек них или по направлению к несущему ток проводу. Поэтому первый ток, который был индуцирован в таком случае, шел в направлении, противоположном главному току (17, 235). При размыкании контакта батареи магнитные кривые (которые являются просто выражением распределенных здесь магнитных сил) можно себе представить стягивающимися и возвращающимися по направлению к исчезающему току и, следовательно, движущимися поперек провода в противоположном направлении; поэтому они вызывают индуцированный ток, противоположный первому.

239. В некоторых опытах с обычными магнитами последние не перемещались около проводов, но действительно становились магнитами уже вблизи них (27, 36); можно считать, что тогда имело место подобное же постепенное развитие магнитных кривых, в результате чего получались действия, которые имели бы место при движении проводов в некотором определенном направлении; уничтожение магнетизма соответствует перемещению провода в противоположном направлении.

240. Не будем теперь приближать и удалять вторичный провод к прямолинейному несущему ток проводу (235). Вместо этого для пересечения магнитных кривых последнего воспользуемся вращающейся пластинкой, которую поместим для этой цели вблизи провода, т. е. как бы посреди магнитных кривых. Тогда внутри пластинки должны индуцироваться непрерывные электрические токи; и если прямая, соединяющая провод с центром пластинки, перпендикулярна к обоим, то, согласно закону (114), индуцированный ток должен идти прямо поперек пластины от одного края к другому и под прямым углом к индуцирующему току:

241. Через уединенный металлический провод диаметром в одну двадцатую дюйма пропускался электрический ток, а недалеко от провода, под ним, но не касаясь его, вращался небольшой медный диск диаметром в полтора дюйма (рис. 39). Затем к противоположным краям диска прикладывались коллекторы: с ними были связаны провода к гальванометру. При вращении диска в одном направлении стрелка отклонялась в одну сторону, а при изменении направления вращения на обратное — в другую, в соответствии с ожидаемыми результатами.

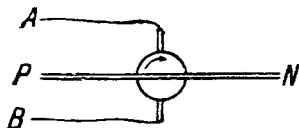


Рис. 39.

242. Таким образом исчезли те основания, которые заставили меня сделать предположение об особом состоянии провода (60), и хотя мне все еще кажется неправдоподобным, чтобы неподвижный провод, находясь по соседству с другим, через который проходит сильный электрический ток, оказывался к нему совершенно безразличным, тем не менее, я не знаю никаких определенных фактов, которые бы дали право заключить, что он находится в каком-нибудь особом состоянии.

243. Я размышлял и далее о природе той причины, которая указана в настоящих докладах для объяснения взаимодействия магнитов и движущихся металлов (120), и сравнивал ее с принявшейся ранее, а именно, что здесь якобы возбужден слабый магнетизм, подобно тому, как это получается в железе; при этом мне пришло в голову, что можно было бы произвести опыт, способный дать весьма решительный ответ на вопрос о том, которая из этих двух точек зрения более отвечает действительности (215).

244. Ни одна из известных нам сил не имеет того же направления, как сила, проявляющаяся между электрическим током и магнитным полюсом; она направлена по касательной, тогда как все остальные силы, действующие на расстоянии, действуют по прямой. По нашей точке зрения, магнитный полюс, находящийся по определенную сторону от вращающейся пластинки, следует

своему пути, потому что подчиняется тангенциальной силе, действующей на него благодаря тому самому току электричества, который им же создан; если это так, то такой же полюс, будучи помещен с противоположной стороны пластинки, должен немедленно высвободить его из под действия этой силы, так как токи, которые должны были бы возникнуть под действием двух полюсов, имеют противоположные направления; вернее, они совершенно не должны возникать, или еще иначе: не должно происходить пересечения магнитных кривых (114); а потому магнит должен оставаться неподвижным. Пусть, наоборот, действие северного магнитного полюса ведет к образованию южного полюса в ближайшей к нему части медной пластинки и рассеянного северного полюса в других точках (82), как это действительно имеет место в случае железа; тогда, если расположить с противоположной стороны того же места пластинки второй северный полюс, то это должно вызывать удвоенное действие, а не уничтожать его, а также должно удваивать стремление первого магнита перемещаться вместе с пластинкой.

245. Поэтому на вертикальной оси была укреплена толстая медная пластинка (85); на плетеном шелковом шнуре был подвешен стержневой магнит так, чтобы его полюс с меткой приходился над краем пластинки; между ними был проложен лист бумаги; после этого пластинка была приведена во вращение; магнитный полюс немедленно подчинился ее движению и последовал в том же направлении. Затем на первый магнит был подвешен второй магнит, тех же размеров и длины, таким образом, что его полюс с меткой приходился *под* краем медной пластинки в положении, соответствующем верхнему магниту, и на таком же расстоянии (рис. 40). Между ними, как и ранее, был проложен лист бумаги в виде экрана; когда пластина была приведена во вращение, то оказалось, что полюсы совершенно безразличны к ее движению, хотя каждый из них в отдельности и следовал бы за ее вращением.

246. Когда один из магнитов был повернут так, что с разных сторон пластинки оказывались *противоположные* полюсы, то

взаимодействие между полюсами и движущимся металлом стало максимальным.

247. Если подвесить один из магнитов таким образом, чтобы его ось была на одном уровне с пластинкой, а один из полюсов приходился против ее края, то при вращении пластинки движения магнита не возникает. Электрические токи, образуемые индукцией, стремились бы теперь проходить в вертикальном направлении поперек толщины пластины, но не могли бы при этом разряжаться или могли бы разряжаться лишь в такой слабой степени, что все действия оставались бы незаметными; наоборот, обычная магнитная индукция или индукция в железной пластинке

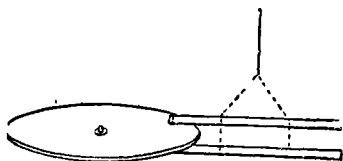


Рис. 40.

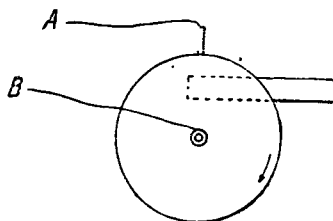


Рис. 41.

при таком положении развивалась бы с такой же, если не с большей силой (251).

248. Далее, по вопросу об условиях, при которых здесь происходит образование электричества. Всякий раз, как движение от пластинки сообщалось магнитам, имели место токи; когда движение не сообщалось, токи исчезали. Меченый полюс большого стержневого магнита был помещен под краем пластинки; коллекторы (86) были приложены к оси и краю пластинки, как и в предшествующих случаях (рис. 41) и соединены с гальванометром; когда пластинка вращалась, электричество проходило к прибору в избытке. Затем над местом расположения первого полюса был помещен не меченый полюс подобного магнита, так что сверху и снизу приходились противоположные полюсы; при вращении пластинки ток электричества был сильнее, чем раньше.

Второй магнит был затем повернут концами наоборот, так что и сверху и снизу пластинки находились полюсы с меткой; тогда при вращении пластинки электричество получалось в едва заметном количестве. Я прилаживал полюсы на расстояниях, соответствующих их относительной силе, и, наконец, достиг этим настолько полной нейтрализации их индуктивного действия на пластинку, что нельзя было получить электричества даже при самом быстром вращении.

249. После этого я приступил к сравнению действия одноименных и разноименных полюсов на железо и медь, воспользовавшись для этой цели очень удобным видоизменением опыта Араго, предложенным г. Стёрдженем (Sturgeon). Прибор этот состоит из круглой металлической пластинки, сидящей в вертикальной плоскости на горизонтальной оси; пластинка слегка нагружена с одного края или же установлена эксцентрически и потому может колебаться как маятник. Полюсы магнитов устанавливаются вблизи боков и краев этих пластинок, и затем определяется число колебаний, необходимое для уменьшения дуги колебания до некоторой постоянной величины. В первом описании этого прибора¹ говорится, что противоположные полюсы производят наибольшее тормозящее действие, а одинаковые — никакого; всего лишь одной страницей дальше утверждается, что действие это — такого же рода, как получаемое в железе.

250. Я устроил две такие пластинки: одну из меди, другую — из железа. Медная пластина, отдельно взятая, давала, как среднее из нескольких опытов, шестьдесят колебаний, прежде чем дуга колебания уменьшалась от одной постоянной заметки до другой. Когда поблизости от одного и того же места пластинки по обе стороны от нее помещалось два противоположных магнитных полюса, число колебаний падало до пятнадцати. Когда полюсы по обе стороны пластинки были одинаковы, оно возрастало до пятидесяти; а когда на том же расстоянии были помещены два куска дерева одинакового с полюсами размера, оно становилось

¹ Edinb. Phil. Journal, 1825, стр. 124.

равным пятидесяти двум. Таким образом при одинаковых полюсах магнитное действие было незначительно или отсутствовало (торможение было вызвано скорее стеснением воздуха); наоборот, при противоположных полюсах, оно становилось наибольшим из возможных. Когда полюс подносился к краю пластинки, торможения не происходило вовсе.

251. Железная пластинка, отдельно взятая, совершала тридцать два колебания, покуда дуга колебания уменьшалась на определенную величину. При поднесении магнитного полюса к краю пластины (247) число колебаний падало до одиннадцати; оно падало до пяти, когда полюс находится на расстоянии около полудюйма от края.

252. Когда полюс с меткой находился у поверхности железной пластинки, на некотором от нее расстоянии, число колебаний равнялось всего пяти. Когда меченый полюс второго магнитного стержня находился с противоположной стороны пластинки на таком же расстоянии (250), то число колебаний уменьшалось до двух. Когда же второй полюс был без метки, но занимал точно такое же положение, то число колебаний возрастало до двадцати двух. При удалении более сильного из этих двух противоположных полюсов на некоторое расстояние от пластинки, число колебаний возрастало до тридцати одного, т. е. почти до первоначальной величины. Но при полном удалении его, оно падало до пяти-шести.

253. Итак, более чем ясно, что в случае железа и тел, способных к обычной магнитной индукции, противоположные полюсы, находясь с противоположных сторон края пластины, нейтрализуют действие друг друга, тогда как одинаковые полюсы его усиливают. Одного полюса, помещенного у края, также достаточно для возникновения явления. В случае же меди и веществ, нечувствительных к обычным магнитным воздействиям, *одинаковые* полюсы, помещенные с противоположных сторон пластинки, друг друга нейтрализуют; противоположные полюсы усиливают действие, а отдельный полюс у края или конца, не действует никак.

254. Невозможно с более исчерпывающей полнотой доказать совершенную разнородность явлений, полученных Араго с этими металлами, и явлений, вызываемых обычными магнитными силами; таким образом прикладывание двух полюсов в случае различных движущихся веществ, если последние вообще подвержены магнитному действию, даст возможность судить о природе этого влияния. Когда противоположные полюсы производят более сильное действие, чем один полюс, результат следует приписать электрическим токам. Когда одинаковые полюсы производят более сильное действие, чем один полюс, то сила *не* является электрической; она не похожа на силу, действующую в движущихся металлах и угле, и в большинстве случаев, вероятно, окажется даже не магнитной природы, а результатом случайных причин, которые не были предусмотрены и против которых поэтому не было принято мер предосторожности.

255. Результат этих исследований доказывает, что действительно существует лишь очень незначительное количество тел, которые являются такими же магнитными, как железо. Я часто искал указаний на присутствие этой силы в обычных металлах и других веществах; однажды, для выяснения возражений Араго (82) и в надежде обнаружить существование токов в металлах при мгновенном приближении магнита, я подвесил медный диск на отдельном шелковом волокне в превосходном вакууме и подносил с внешней стороны сосуда сильные магниты, приближая и удаляя их в такт с маятником, который колебался так же, как колебался бы диск; однако никакого движения получить не удалось; не только не было указаний на обычные магнитные силы, но даже на какие-либо электрические токи, могущие возникнуть в металле в результате приближения и удаления магнита. Поэтому я считаю себя в праве установить разделение веществ на три класса по их отношению к магнитам; первые — это те, которые, находясь в покое, поддаются действию магнитов, как железо, никель и т. д., т. е. обладают обычными магнитными свойствами; затем идут те, которые подвергаются действию магнитов, когда находятся в движении; это — проводники электричества, в которых индуктивная

сила магнитов создает электрические токи; и, наконец, те, которые остаются совершенно безразличными по отношению к магниту, независимо от того, находятся ли они в покое или в движении.

256. Прежде чем в точности будет установлен способ действия между движущимися друг относительно друга магнитом и металлом, потребуются дальнейшие исследования и, вероятно, подробное изучение как экспериментальное, так и математическое; тем не менее, многие из полученных результатов представляются достаточно ясными и простыми, чтобы им можно было дать в некоторой степени общее выражение. Если конечный провод перемещается так, что пересекает магнитную кривую, то возникает сила, которая стремится направить сквозь него электрический ток, но этот ток может возникнуть только в том случае, если на концах провода устроено приспособление для разряда тока и его возобновления.

257. Если второй провод перемещается в таком же направлении, как и первый, то в нем обнаруживается такая же сила, и потому он оказывается неспособным изменить состояние первого; повидимому, между последовательно соединенными телами не существует таких естественных различий, вследствие которых при перемещении этих тел относительно магнита в одних и тех же условиях одно из них стремилось бы произвести более сильный ток во всей цепи, чем другое (201, 214).

258. Но если второй провод перемещается с отличной скоростью или в несколько ином направлении, то имеют место различия в производимой силе, и если провода соединены концами, то через них проходит электрический ток.

259. Возьмем теперь сплошной кусок металла или бесконечный провод и будем рассматривать полюс магнита, как центр действия (выражение, если и не совсем строго правильное, но пока что допустимое для удобства); если все части перемещаются в одном и том же направлении с одинаковой угловой скоростью и сквозь магнитные кривые неизменной интенсивности, то элек-

трического тока не возникает. Это легко наблюдать на телах, способных испытывать действие земного магнетизма, и может быть доказано в отношении небольших магнитов; если вращать их, а все металлическое устройство оставить неподвижным, ток не образуется.

260. Если одна часть провода или металла пересекает магнитные кривые, тогда как другая неподвижна, то токи возникают. Сюда более или менее относятся все получаемые с гальванометром результаты, причем выводы этого последнего представляют собой неподвижную часть. Сюда же можно безошибочно отнести результаты, полученные с проводом, гальванометром и землей (170).

261. Если весь металл движется в одном и том же направлении, но угловые скорости отдельных его частей по отношению к полюсу магнита различны, то токи возникают. Так обстоит дело в опыте Араго, а также в проводе, подвергаемом действию земной индукции (172), когда он перемещается с запада на восток.

262. Если магнит движется не прямо к приборам или от них, а вбок, то случай подобен только что рассмотренному.

263. Если различные части двигаются поперек магнитных кривых в противоположных направлениях, то при равных скоростях наблюдается максимум действия.

264. Все это в сущности является вариациями одного простого условия, а именно: отдельные части массы не должны двигаться наперерез кривым в одном и том же направлении и с одной и той же угловой скоростью. Но это такие выражения, которые, мне кажется, полезно помнить при установлении связи между частными явлениями и общими результатами.

Королевский институт.

21 декабря 1831 г.

ТРЕТЬЯ СЕРИЯ

Раздел 7. Тождество отдельных видов электричества, происходящих от разных источников. Раздел 8. Количественные соотношения между обыкновенным и гальваническим электричеством.

Доложено 10 и 17 января 1833 г.

РАЗДЕЛ 7

Тождество отдельных видов электричества, происходящих от разных источников

265. Ход исследований по электричеству, которые я имел честь представить Королевскому обществу, привел меня к такому моменту, когда для продолжения моих исследований стало существенно, чтобы не оставалось никаких сомнений относительно того, тождественны или различны отдельные виды электричества, возбуждаемые различными способами. Правда, Кэвендиш (Cavendish),¹ Волластон,² Колладон (Colladon)³ и другие устранили, одно за другим, некоторые из наиболее сильных возражений против признания обыкновенного, животного и гальванического электричества тождественными, и большинство ученых, я полагаю, считает, что эти виды электричества в действительности представляют собой одно и то же. Однако, с другой стороны, справедливо и то, что точность опытов Волластона⁴

¹ Philosophical Transactions, 1776, стр. 196.

² Там же, 1801, стр. 434.

³ Annales de Chimie, 1826, стр. 62 и т. д.

⁴ Philosophical Transactions, 1832, стр. 282, примечание.

отрицалась и что один из этих опытов, который как раз не может служить доказательством химического разложения с помощью обыкновенного электричества (309, 327), некоторые экспериментаторы предпочтительно указывали, как доказательство химического действия (336, 346). Несомненно также, что многие физики все еще проводят различие между отдельными видами электричества, происходящими из различных источников, или, по меньшей мере, сомневаются в том, что тождественность их доказана. Сэр Гемфри Дэви (Humphry Davy), например, в своей статье об электрическом скате¹ считает возможным, что животное электричество окажется особым его родом; по поводу него, по поводу обыкновенного электричества, гальванического электричества и магнетизма он говорит: «При изучении различных видоизменений или свойств электричества в этих различных формах, между ними может быть будут установлены различия и т. д.».

Мне было бы, по правде сказать, достаточно сослаться на последний том «Philosophical Transactions», чтобы показать, что вопрос отнюдь не считается решенным окончательно.²

¹ Philosophical Transactions, 1829, стр. 17: «Обыкновенное электричество возбуждается в непроводниках и легко уходит с помощью проводников и несовершенных проводников. Гальваническое электричество возбуждается в соединениях совершенных и несовершенных проводников и только переносится совершенными проводниками или несовершенными проводниками наилучшего сорта. Магнетизм, если он является формой электричества, присущ только совершенным проводникам, а в своих видоизменениях — только особому классу их. ^a Животное электричество существует только в несовершенных проводниках, образующих органы живых существ и т. д.».

^a Д-р Ригчи показал, что это не так (Philosophical Transactions, 1832; стр. 294).

² Philosophical Transactions, 1832, стр. 259. Д-р Дэви, производя опыты с электрическим скатом, получил такие же действия, какие производятся обыкновенным и гальваническим электричеством; он говорит, что в отношении магнитной и химической силы оно не представляет существенных отличий (стр. 274); однако дальше, на стр. 275, он говорит, что имеются другие пункты различия; указывая на них, он добавляет: «Как

266. Таким образом, несмотря на общее впечатление о тождественности различных видов электричества, очевидно, что доказательства этого не были достаточно ясными и отчетливыми и не могли быть признанными всеми лицами, компетентными в данном вопросе; положение вопроса представлялось мне сходным с положением другого вопроса, так блестяще разрешенного сэром Дэви, а именно: во всех ли случаях гальваническое электричество лишь выделяло кислоты и щелочи, обнаруживаемые в воде после его действия, или же оно в некоторых случаях их действительно создавало? Та же самая необходимость, которая побудила сэра Дэви разрешить сомнительный пункт, препятствовавший развитию его взглядов и нарушавший строгость его рассуждений, заставила и меня решить раз навсегда, являются ли обыкновенное и гальваническое электричества тождественными или различными. Я убедился, что они тождественны, и надеюсь, что опыты, которые я намереваюсь привести, и проистекающие из них доказательства Королевское общество найдет достойными внимания.

объяснить эти различия? Допускают ли они объяснение, подобное выдвинутому г. Кэвендишем в его теории электрического ската, или мы можем предположить по аналогии с солнечным лучем, что электрическая сила, независимо от того, чем она возбуждается: посредством обычной машины, или гальванической батареи, или электрическим скатом, является не простой силой, а комбинацией сил, которые могут встречаться в различных сочетаниях и создавать все разнообразие видов электричества, которые нам известны?» На стр. 279 того же тома «Transactions» имеется статья д-ра Ритчи, из которой приводим следующие выдержки: «Обыкновенное электричество рассеяно на поверхности металла; гальваническое электричество существует внутри металла. Свободное электричество проходит по поверхности тончайшего золотого листка так же, как по массе металла, имеющей такую же поверхность; гальваническое электричество для своего прохождения нуждается в некоторой толщине металла» (стр. 280); и еще: «Предполагаемая аналогия между обыкновенным и гальваническим электричеством, которая так усердно проводилась после изобретения вольтова столба, оказывается совершенно несостоятельной в данном случае, в котором всегда усматривалось наиболее резкое сходство» (стр. 291).

267. В целях сравнения различные проявления электричества можно разбить на два рода, а именно: на явления, связанные с электричеством напряжения, и на явления, присущие электричеству в движении. Такое подразделение принято здесь не по физическим соображениям, а лишь для удобства. Действия электрического заряда напряжения, т. е. находящегося в покое, заключаются в притяжении или отталкивании на заметных расстояниях. Из действий электричества в движении, т. е. электрических токов, назовем: 1) развитие тепла; 2) магнетизм; 3) химическое разложение; 4) физиологические явления; 5) искра. Моя задача будет состоять в сравнении электричеств от разных источников, в особенности обыкновенного и гальванического электричества, в отношении их способности производить эти действия.

I. Гальваническое электричество

268. **Н а п р я ж е н и е.** При исследовании полюсов гальванической батареи, состоящей из ста пар пластин, с помощью обыкновенного электрометра, они, как это всем известно, оказываются один положительным, другой отрицательным; золотые листочки, присоединенные к одному и тому же полюсу, отталкивают друг друга, а присоединенные к различным полюсам притягивают друг друга, если даже между ними находится воздушный промежуток в полдюйма или более.

269. Что обыкновенное электричество легко разряжается острием через воздух, что оно легко передается через сильно разреженный воздух, а также через нагретый воздух, как, например, через пламя, — все это обусловлено его высоким напряжением. Поэтому я стал искать подобные явления при разряде гальванического электричества; я пользовался для доказательства прохождения электричества либо гальванометром, либо химическим действием, которое производилось в описанном ниже (312, 316) приборе.

270. Имевшаяся в моем распоряжении гальваническая батарея состояла из 140 пар пластин по четыре квадратных дюйма,

причем медные пластины были двойные. Батарея была тщательно изолирована; она давала расхождение золотых листочков электрометра приблизительно на одну треть дюйма. Я пытался получить от этой батареи разряд с тонких остриев, которые весьма тщательно устанавливал и приближал друг к другу либо в воздухе, либо в откачанном сосуде; но я не добился указаний на существование тока ни посредством магнитного, ни посредством химического действия. В этом, однако, не усматривалось признаков различия между гальваническим и обыкновенным электричеством; в самом деле, когда я заряжал лейденскую батарею (291)

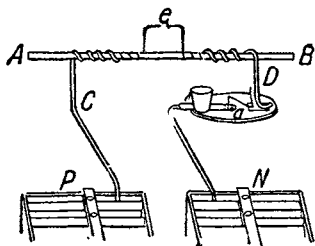


Рис. 42.

так, что золотой листочек электрометра отклонялся на тот же угол, то разряд, который проходил через острия, был недостаточно силен для того, чтобы произвести магнитное или химическое действие. Происходило это не потому, что обыкновенное электричество было не в состоянии произвести оба эти действия (307, 310), а потому, что при столь низком на-

пряжении его количество электричества, необходимое для того, чтобы сделать действие видимым, — а это количество чрезвычайно велико (371, 375), — невозможно было передать в сообразный с чем-нибудь срок. Наряду с другими доказательствами тождественности, которые будут приведены дальше, это действие остриев также подтверждает тождественность, а не различие между гальваническим и обыкновенным электричеством.

271. Поскольку нагретый воздух разряжает обыкновенное электричество с значительно большей легкостью, чем острия, я надеялся, что этим же путем можно будет получить разряд и гальванического электричества. Поэтому был построен прибор (рис. 42), в котором *AB* представляет собой изолированную стеклянную палочку, на которой жестко укреплены два медных провода *C* и *D*; к этим проводам припаяны два куса тонкой платиновой проволоки, концы которых в точке *e* сходятся очень

близко, не касаясь, однако, друг друга; медный провод *C* был соединен с положительным полюсом гальванической батареи, а провод *D* — с прибором (312, 316) для разложения; от этого прибора провод шел к отрицательному полюсу батареи. В этих опытах я брал только два ящика, т. е. двадцать пар пластин.

272. При описанных условиях в точке *a* разложения не происходило; но когда я приближал к двум платиновым концам в точке *e* край пламени спиртовой лампы и раскаливал их докрасна, разложение имело место; в точке *a* вскоре появлялся иод и устанавливалась передача электричества через нагретый воздух. При повышении температуры концов *e* с помощью паяльной трубки разряд облегался в еще большей степени, и разложение наступало мгновенно. При удалении источника тепла ток немедленно прекращался. Если провода установить рядом, параллельно друг другу, но так, чтобы они не касались, действия получаются, пожалуй, с еще большей легкостью, чем ранее. Когда я пользовался для опытов более сильной гальванической батареей (270), действия также получались с большей легкостью.

273. Прибор для разложения был заменен гальванометром; при каждом отклонении стрелки в определенную сторону точки *e* нагревались, а во время обратного ее движения источник тепла удалялся (302); тогда вскоре получились слабые отклонения, что также подтверждает прохождение тока через нагретый воздух; впрочем этот прибор в данных условиях был менее чувствителен, чем химическое действие.

274. Эти действия до настоящего времени оставались неизвестными и, во всяком случае, не предвиделись в такой именно форме; они являются лишь частными случаями того разряда, который имеет место в воздухе между угольными концами полюсов мощной батареи, если их постепенно разъединять после соприкосновения. В этом случае имеет место прохождение электричества сквозь нагретый воздух, точно так же как и в случае обыкновенного электричества. Сэр Дэви указывает, что когда он работал с той же батареей Королевского института, разряд

проходил через промежуток не менее четырех дюймов.¹ В откачанном сосуде электричество проскакивало через промежуток около полудюйма; при соединенном действии разрежения и нагревания заключенный внутри воздух оказался способным пропускать электричество через промежуток в шесть-семь дюймов.

275. То обстоятельство, что лейденская батарея мгновенно заряжалась от полюсов гальванического прибора, является еще одним указанием величины напряжения, а также количества электричества, развиваемых последним. Сэр Г. Дэви говорит: «Если оба провода от концов прибора соединить с лейденской батареей, один с внутренней, а другой с внешней обкладкой, то батарея заряжается мгновенно; если удалить провода и сделать надлежащие соединения, то можно ощутить удар или заметить искру; кратчайшей продолжительности контакта достаточно для того, чтобы вновь зарядить батарею до полной силы».²

276. Э л е к т р и ч е с т в о в д в и ж е н и и. I. В ы д е л е н и е т е п л а. Выделение тепла в проводах и жидкостях гальваническим током является фактом общеизвестным.

277. II. М а г н е т и з м. Нет факта, известного физикам лучше, чем способность гальванического тока отклонять магнитную стрелку и создавать магниты по *определенным законам*; нет действия, более характерного для электрического тока.

278. III. Х и м и ч е с к о е р а з л о ж е н и е. Химические действия гальванического тока и подчинение их *определенным законам* также общеизвестны.

279. IV. Ф и з и о л о г и ч е с к и е д е й с т в и я. Способность сильного гальванического тока производить удар и сокращения во всем организме животного, а слабого тока — действовать на язык и глаза является весьма характерной.

280. V. И с к р а. Блестящая светлая звездочка, производимая разрядом гальванической батареи, известна всем, как самый

¹ Elements of Chemical Philosophy, стр. 153.

² Там же, стр. 154.

прекрасный свет, который может быть искусственно создан человеком.

281. Эти действия можно разнообразить почти до бесконечности; одни могут усиливаться, а другие ослабевать; все это факт общепризнанный; отсюда, однако, не вытекает никаких сомнений в тождественности природы гальванических токов, хотя они и становятся столь отличными по своим действиям. Прекрасное объяснение этих изменений, которое дает предложенная Кэвэндишем теория о количестве и интенсивности, в настоящее время не нуждается в дальнейших доказательствах, поскольку оно, повидимому, не вызывает сомнений.

282. Я имею ввиду сделать в дальнейшем некоторые сопоставления между проводниками, несущими гальваническое и обыкновенное электричество; поэтому, а также в связи с некоторыми воззрениями на состояние провода

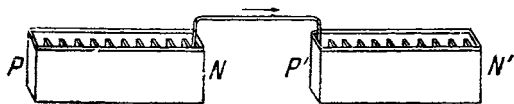


Рис. 43.

или иного проводя-

щего вещества, соединяющего полюсы гальванического устройства, необходимо будет дать некоторое определенное указание, что называется гальваническим током, в отличие от какого-либо иного особого состояния или расположения, которое можно себе представить, которое не соединено с движением, и в которое, как можно вообразить, может прийти провод или электричество внутри его. Если расположить две гальванические батареи PN и $P'N'$ (рис. 43) симметрично, изолировать их и концы NP' соединить проводом, над которым подвешена магнитная стрелка, то провод не оказывает на стрелку воздействия; но если соединить концы PN' другим проводом, стрелка немедленно отклоняется и сохраняет такое положение до тех пор, пока цепь остается замкнутой. Если теперь действие батарей заключается только в том, что они вызывают в проводе особое расположение либо его частиц, либо самого электричества (а этим расположением и определяется электрическое и магнитное состояние провода).

то в проводе NP' уже до того как P и N' были соединены, должно было существовать такое же расположение, как впоследствии, и он должен был бы отклонять стрелку, хотя и менее сильно, — может быть, всего до половины величины, соответствующей полному соединению всей цепи. Если же магнитные действия производятся током, то ясно, почему их нельзя получить ни в какой мере до замыкания цепи, ибо раньше этого момента ток существовать не мог.

283. Под *током* я подразумеваю нечто движущееся поступательно — все равно, что при этом находится в движении: электрическая жидкость, или две жидкости, движущиеся в противоположных направлениях, или просто колебания, или, выражаясь более обще, движущиеся в известном направлении силы. Под *расположением* я понимаю приведение в некоторый порядок частиц или жидкостей или сил, но без поступательного движения. Можно было бы привести множество других доводов в пользу точки зрения тока по сравнению с точкой зрения *расположения*, но я хотел бы избежать излишних доказательств таких вещей, которые другим могут показаться самоочевидными.

II. Обыкновенное электричество

284. Под обыкновенным электричеством я понимаю такое, которое можно получить от обычной машины, или из атмосферы, или посредством давления, или расщепления кристаллов, или посредством множества других операций; отличительным свойством его является значительное напряжение и способность оказывать притягательное и отталкивательное действие не только на заметных, но и на значительных расстояниях.

285. Э л е к т р и ч е с т в о в с о с т о я н и и н а п р я ж е н и я. Известно, что притяжения и отталкивания на небольших расстояниях, производимые обыкновенным электричеством, в некоторых случаях настолько сильны, что почти бесконечно превосходят подобные же явления, производимые электричеством, возбужденным другим путем. Тем не менее, по своей при-

роде эти притяжения и отталкивания ничем не отличаются от тех притяжений и отталкиваний, о которых говорилось под заголовком: «Гальваническое электричество, напряжение» (268). Количественные различия между ними не больше тех, которые наблюдаются в отдельных случаях обыкновенного электричества. Я полагаю, что нет необходимости пускаться в подробные доказательства тождественности этого свойства в обоих случаях. Доказательства эти многочисленны, признаны, вообще говоря, удовлетворительными и самоочевидны; всякий раз, когда в других частях того сравнения, которое я собираюсь проводить, встретится подобный случай, я буду довольствоваться констатированием тождественности, останавливаясь более подробно лишь на тех случаях, где важный вопрос о тождественности или отличии еще не разрешен.

286. Разряд обыкновенного электричества через нагретый воздух является фактом общеизвестным. Аналогичное явление для гальванического электричества описано было выше (272 и т. д.).

287. Э л е к т р и ч е с т в о в д в и ж е н и и. I В ы д е л е н и е т е п л а. Способность обыкновенного электричества при прохождении через провода или другие вещества нагревать их — общеизвестна. Сходство между ним и гальваническим электричеством является в этом отношении полным. Г-ном Гаррисом описан ¹ построенный им на этом принципе прекрасный и весьма чувствительный прибор, посредством которого тепло, производимое в проводе разрядом небольшого количества обыкновенного электричества, легко обнаруживается; к этому прибору я в целях экспериментального подтверждения буду иметь случай прибегать в одной из последующих частей настоящего доклада (344).

288. II. М а г н е т и з м. Гальваническое электричество обладает сильными и бросающимися в глаза магнитными свой-

¹ Philosophical Transactions, 1827, стр. 18; Edinb. Transactions, 1831; Гаррис. О новом электрометре и т. д.

ствами. Если обыкновенное электричество с ним тождественно, то оно должно обладать теми же свойствами. Было найдено, что в отношении намагничивания стрелок и стержней оно ведет себя как гальваническое электричество, и что направление намагничивания в обоих случаях одинаково; но оно оказалось неспособным вызывать отклонение магнитной стрелки, так что иногда его способность в этом отношении совершенно отрицалась, иногда же, чтобы обойти трудности, гипотетически допускалось существование различий между этими видами электричества.¹

289. Женевский ученый Г. Колладон выразил мнение, что различие между этими видами электричества обусловлено тем, что во всех более ранних опытах по этому вопросу брали недостаточные количества обыкновенного электричества. В записке, доложенной Академии Наук в 1826 г.,² он описывает опыты, в которых ему, с помощью батареи, остриев и чувствительного гальванометра, удалось получить отклонение (стрелки) и таким образом установить тождественность этих видов электричества. В докладе упоминается, что гг. Араго, Ампер и Савари были свидетелями успешного повторения этих опытов. Однако никто другой не подтвердил этого; сами гг. Араго, Ампер и Савари не опубликовали, поскольку мне известно, о своем согласии с результатами этих опытов, а кое-кому получить их не удавалось; поэтому заключения г. Колладона иногда подвергались сомнению и даже отрицались; для меня же важно было либо установить их правильность, либо совершенно исключить их из числа признанных экспериментальных фактов. Я рад сообщить, что результаты моих опытов полностью согласуются с результатами г. Колладона; мне не стоило бы останавливаться на их описании, если бы они не были весьма существенны, как доказательство справедливости окончательных и общих заключений, которые я могу сделать в отношении магнитного и химического действия электричества (360, 366, 367, 377 и т. д.).

¹ Demonferrand, Manuel d'Electricité dynamique, стр. 121.

² Annales de Chimie, XXXIII, стр. 62.

290. Диск электрической машины, которой я пользовался, имеет в диаметре пятьдесят дюймов; у машины имеется два ряда щеток; ее главный кондуктор состоит из двух латунных цилиндров, соединенных между собой третьим, так что полная длина их оказывается равной двенадцати футам, а поверхность соприкосновения с воздухом — 1422 квадратным дюймам. При хорошем возбуждении один оборот диска дает от кондукторов десять или двенадцать искр, длиной в один дюйм каждая. Легко можно получить от кондукторов искры или свечение длиной от десяти до четырнадцати дюймов. При вращении с умеренной скоростью каждый оборот машины занимает примерно $\frac{4}{5}$ секунды.

291. Электрическая батарея состояла из пятнадцати одинаковых банок. Они оклеены до высоты восьми дюймов над основанием и имеют по двадцать три дюйма в окружности, так что каждая из них содержит сто восемьдесят четыре квадратных дюйма стекла, оклеенного с обеих сторон; здесь не приняты в расчет днища, которые изготовлены из более толстого стекла и содержат примерно по пятьдесят квадратных дюймов каждое.

292. Был устроен хороший разрядный провод; для этого достаточно толстый провод металлически соединялся с домовыми металлическими газовыми трубами, с металлическими трубами городской газовой сети Лондона и с металлическими трубами Лондонского водопровода; разрядный провод действовал настолько хорошо, что мгновенно уводил электричество самого слабого напряжения, даже электричество от одного гальванического элемента; он оказался существенным для многих опытов.

293. Гальванометром служил один из двух описанных выше (87, 205), но стеклянный колпак, покрывающий его и поддерживающий стрелку, был изнутри и снаружи оклеен станиолом, а верхняя его часть (оставленная неоклеенной для того, чтобы можно было наблюдать движение стрелки) была прикрыта проволочной сеткой, из которой торчало множество тонких остриев. Когда я соединял эту раму и обе обкладки разрядным проводом (292), то на расстоянии одного дюйма от любого места гальва-

нометра можно было помещать изолированное острие или же шар, соединенный с машиной, которая работала с максимальной скоростью, и, тем не менее, на стрелку внутри [гальванометра] не обнаруживалось действия в смысле обычных электрических притяжений или отталкиваний.

294. В связи с этими предосторожностями может быть необходимо пояснить, что намагничение стрелки гальванометра легко может быть нарушено, ослаблено и даже изменено на обратное при прохождении через прибор удара. Если стрелка при прохождении удара расположена хоть немного косо и неправильно относительно катушек гальванометра, то такого рода действия неизбежны.

295. Я рассчитывал, что благодаря задерживающим свойствам плохих проводников, стремящихся ослабить напряжение электричества, не изменяя его количества, удастся сообщить обыкновенному электричеству характерные особенности и действия гальванического электричества в большей мере, чем, по обычным представлениям, оно ими обладает.

296. Сначала обкладка и броня гальванометра были соединены с разрядным проводом (292); конец *B* (87) провода гальванометра был соединен с внешней обкладкой батареи, а затем оба они — с разрядным проводом; конец *A* провода гальванометра был соединен с разрядным стержнем посредством смоченного шнура в четыре фута длиною; и, наконец, когда после примерно сорока оборотов машины батарея зарядилась положительно, был произведен разряд через гальванометр через посредство стержня и шнура. Стрелка немедленно пришла в движение.

297. В течение того промежутка времени, когда стрелка завершала колебание в своем первом направлении и возвращалась обратно, машина приводилась в действие, и батарея заряжалась вновь и вновь; и когда стрелка возобновляла движение в первоначальном направлении, через гальванометр снова производился разряд. Повторяя эту операцию несколько раз, можно было размах колебаний довести приблизительно до 40° по обе стороны от положения равновесия.

298. Это действие можно было получать по произволу. Оно, видимо, не изменялось ни по направлению, ни по силе при замене длинного тонкого шнура короткой толстой веревкой или даже четырьмя короткими толстыми веревками. С более чувствительным гальванометром можно было получить прекрасное отклонение стрелки уже после одного разряда батареи.

299. Если изменить соединения гальванометра на обратные так, чтобы разряд проходил через него в направлении от *B* к *A*, стрелка отклоняется так же сильно, но в противоположном направлении.

300. Отклонения (стрелки) имели такое же направление, какое они имели бы при пропускании через гальванометр гальванического тока, т. е. положительно заряженная обкладка электрической батареи соответствовала положительному полюсу гальванического прибора (268), а отрицательно заряженная обкладка — отрицательному полюсу.

301. Затем батарея была выключена, а соединения устроены таким образом, что ток от главного кондуктора с помощью помещенного против него разрядного стержня можно было пропускать через смоченную веревку, через катушку гальванометра и в разрядный провод (292), через который он окончательно рассеивался. Ток этот в любой момент можно было прекратить, удаляя разрядный стержень и либо останавливая машину, либо соединяя главный кондуктор посредством другого стержня с разрядным проводом; столь же мгновенно ток этот можно было возобновить. Стрелка была установлена таким образом, что при малых и средних колебаниях полное прохождение дуги в одном направлении требовало времени, равного двадцати пяти биениям часов; само собой разумеется, что столько же времени требовалось для прохождения стрелки в обратном направлении.

302. При таком устройстве и при неподвижной стрелке гальванометра ток от машины пропускался прямо через гальванометр в течение двадцати пяти биений; затем на следующие двадцать пять биений он прерывался, затем возобновлялся еще на двадцать пять биений, снова прерывался на такое же время и т. д.

Стрелка вскоре начинала колебаться заметным образом, и после нескольких перемен такого рода колебания возрастали до 40° и более.

303. При изменении направления тока через гальванометр направление отклонения стрелки также менялось. Во всех случаях движение стрелки совпадало по направлению с движением, которое получилось бы от электрической машины или же от гальванической батареи (300).

304. Затем я выбросил смоченную веревку и заменил ее медным проводом, так что электричество от машины сразу проходило в провода, непосредственно сообщающиеся с разрядной цепью, причем катушка гальванометра служила одним из проводов, служащих для разряда. Действия оказались точно такими же, как и полученные ранее (302).

305. Вместо того чтобы пропускать электричество через систему, касаясь кондуктора концом разрядного стержня, на последнем было устроено четыре острия; когда нужно было пропустить ток, их подносили на расстояние дюймов двенадцать от кондуктора; в противном случае их поворачивали в сторону. Если затем, за исключением указанного изменения, поступать как ранее (302), то вскоре получается сильное отклонение стрелки в полном соответствии с предшествующими результатами. Чтобы получать свои разряды, Колладон во всех случаях пользовался остриями.

306. Наконец, я пропускал электричество сначала через откачанный сосуд, так что оно в нем напоминало собой северное сияние, а затем через гальванометр в землю; оно и теперь все еще было в состоянии отклонять стрелку и, повидимому, с такой же силой, как и ранее.

307. Из всех этих опытов следует, что ток обыкновенного электричества, независимо от того, через что он пропущен: через воду, металл, или через разреженный воздух, или, с помощью острия, через атмосферный воздух, оказывается, тем не менее, способным отклонять стрелку; повидимому, единственным условием является предоставление ему достаточного времени для

действия. Далее отсюда следует, что он является во всех отношениях на деле столь же магнитным, как и гальванический ток и, следовательно, в этом отношении различий между ними не существует.

308. Для выявления этих действий несовершенные проводники, как вода, раствор поваренной соли, кислоты и т. д. и т. д., оказываются гораздо более удобными, чем разряды другого рода, как, например, разряд между остриями или шарами; дело в том, что несовершенные проводники сразу преобразуют заряд мощной батареи в слабый искровой разряд или, скорее, в непрерывный ток и оказываются мало опасными или даже совершенно безопасными в смысле нарушения магнитного состояния стрелок (294).

309. III. Х и м и ч е с к о е р а з л о ж е н и е. Химическое действие гальванического электричества является характерным для этого агента, но еще более характерны те *законы*, по которым полученные в результате разложения вещества располагаются у полюсов. Д-р Волластон показал,¹ что обыкновенное электричество в отношении этих действий сходно с гальваническим, и «что оба они являются существенно одинаковыми», но он включил в число своих доказательств опыт, в котором имеется не более как сходство с случаем гальванического разложения, что, впрочем, он и сам отчасти понимал; вместо того, чтобы ссылаться на другие многочисленные и решающие опыты, которые им подробно описаны, именно на этот опыт особенно часто ссылаются: одни для доказательства того, что здесь происходит электрохимическое разложение, подобное разложению, производимому элементами, а другие — с целью набросить сомнение на весь доклад.

310. Я позволю себе вкратце описать результаты моих опытов, и таким образом к свидетельству Волластона добавить свои доказательства в пользу тождественности гальванического и обыкновенного электричества в отношении химического действия;

¹ Philosophical Transactions, 1801, стр. 427, 434.

я делаю это не только потому, что я могу этим облегчить повторение опытов, но также потому, что могу привести к некоторым новым выводам, относящимся к электрохимическому разложению (376, 377).

311. Прежде всего я повторил четвертый¹ опыт Волластона, при котором концы изолированных серебряных проводов были погружены в каплю сульфата меди. При пропускании электричества от машины через такое устройство тот конец провода в капле, который получал электричество, покрывался металлической медью. Сто оборотов машины производили очевидное, а двести оборотов — весьма уже заметное действие. Разлагаю-

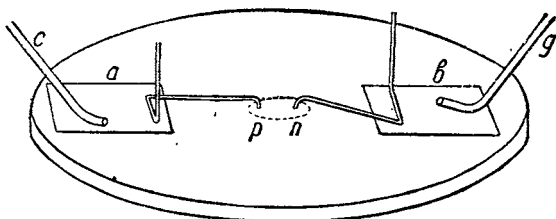


Рис. 44.

щее действие было, однако, очень слабое. Меди осаждалось очень мало, и в растворе не появлялось заметных следов серебра от другого полюса.

312. Значительно более подходящим и действительным устройством для химического разложения с помощью обыкновенного электричества является следующее. Стеклоянная пластинка (рис. 44) была помещена над листом белой бумаги и несколько приподнята над ней, чтобы не мешали тени; на пластинку нужно положить два листка станиоля *a*, *b*; один из них соединяется посредством изолированной проволоки *c*, или проволоки и шнура (301) с машиной, а другой *g* — с разрядным проводом (292) или отрицательным кондуктором; затем надо взять два куска тонкой платиновой проволоки, изогнутой, как изображено на рис. 45;

¹ Philosophical Transactions, 1801, стр. 429.

часть *df* должна быть почти вертикальна, а вся система должна покоиться на трех опорных точках *p*, *c*, *f*, расположенных, как показано на рис. 45; тогда концы *pn* оказываются разлагающимися полюсами. Таким путем по желанию можно получить сколь угодно малую поверхность соприкосновения; соединения можно прерывать и возобновлять мгновенно, а подвергающиеся действию вещества можно наблюдать с величайшей легкостью.

313. На стекле раствором сульфата меди была проведена толстая черта, и туда вставлялись концы *p* и *n*; станиоль *u* был соединен посредством провода и смоченного шнурка с положительным кондуктором машины так, что искры не проскакивали; после двадцати оборотов машины на конце *n* осаждалось такое большое количество меди, что он имел вид медного провода; на конце *p* никаких видимых изменений не было.

314. Смесь равных количеств соляной кислоты и воды была окрашена в темносиний цвет при помощи сернокислой соли индиго, и на стекло (рис. 44) была нанесена большая капля этой смеси, так что *p* и *n* были погружены в нее с противоположных сторон; после первого оборота машины уже обнаруживалось обесцвечивание вокруг *p* благодаря выделявшемуся хлору. После двадцати оборотов около *n* еще не замечалось действий подобного рода, но около *p* освобождалось столько свободного хлора, что если помешать каплю, она вся делалась бесцветной.

315. Около *p* и *n* была помещена таким же образом капля раствора иодида калия, смешанного с крахмалом; при вращении машины иод выделялся около *p*, но не выделялся около *n*.

316. Дальнейшее усовершенствование устройств этого вида заключается в том, что смачивают лист фильтровальной бумаги подлежащим исследованию раствором и помещают его на стекло под концами *p* и *n*; бумага задерживает выделившееся вещество в месте его образования, благодаря своей белизне делает видимым всякое изменение цвета и дает возможность уменьшить до

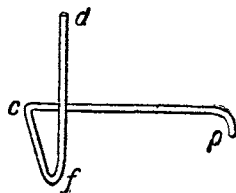


Рис. 45.

крайней степени место соприкосновения между нею и разлагающими проволоками. Кусок бумаги, смоченной раствором иодида калия и крахмала или одного только иодида калия, при известных предосторожностях (322), является прекрасным реактивом на электрохимическое действие. Если его расположить, как указано выше, и подвергнуть действию электрического тока, то появление иода заметно уже после пол-оборота машины. При наличии этих приспособлений и применений иодида калия на бумаге химическое действие оказывается иногда более чувствительным обнаружителем электрических токов, чем гальванометр (273). Так обстоит дело, когда вещества, по которым проходит ток, являются плохими проводниками или когда выделяемое или переносимое в течение заданного промежутка времени количество электричества очень мало.

317. Кусок лакмусовой бумаги, смоченный раствором поваренной соли или сульфата натрия, быстро краснел у конца *p*. Такой же кусок, смоченный соляной кислотой, быстро белел у конца *p*. У конца *n* действий подобного рода не было.

318. Кусок куркумовой бумаги, смоченный раствором сульфата натрия, краснел около конца *n* после двух-трех оборотов машины, а после двадцати-тридцати оборотов получалось обильное выделение щелочи. Если перевернуть бумагу таким образом, чтобы пятно приходилось под концом *p*, а затем привести машину в действие, щелочь быстро исчезает, соответствующее место желтеет, а на новом месте под концом *n* появляется бурое щелочное пятно.

319. Если взять одновременно кусок лакмусовой и кусок куркумовой бумаги, смочить оба раствором сульфата натрия и положить их на стекло таким образом, чтобы конец *p* приходился на лакмусовой, а конец *n* — на куркумовой бумажках, то уже небольшого числа оборотов машины достаточно для того, чтобы выявить выделение кислоты около первого и щелочи около последнего; совсем так, как это производится гальваническим током.

320. Все эти разложения происходили с одинаковым успехом, независимо от того, как проходило электричество: от ма-

шины к станиолю *a* через воду или только через провод, посредством соприкосновения с кондуктором или через искру у него; искры не должны только быть настолько велики, чтобы электричество могло проходить в виде искр от *p* к *n* или по направлению к *n*; и я не вижу оснований предполагать, чтобы при истинном электрохимическом разложении с помощью машины электричество, проходящее в виде искр от кондуктора или от любой точки тока, было способно благодаря своему напряжению действовать сильнее, чем электричество, пропускаемое в виде настоящего тока.

321. Наконец, опыту был придан следующий вид, подтверждающий полнейшую аналогию в этом случае между обыкновенным

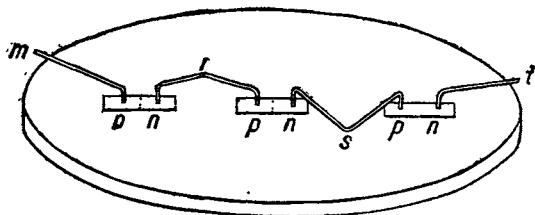


Рис. 46.

и гальваническим электричеством. Три комплекта лакмусовых и куркумовых бумажек (319) были смочены раствором сульфата натра и расположены на стеклянной пластинке с платиновыми проволочками, как это изображено на рис. 46. Проволочка *t* была соединена с главным кондуктором машины, проволочка *t* — с разрядной цепью, а проволочки *r* и *s* были включены в цепь электрического тока через посредство смоченных бумажек; проволочки были согнуты таким образом, что покоились каждая на трех точках: *n*, *r*, *p* и *n*, *s*, *p*; при этом точки *r* и *s* лежали на стекле, а остальные — на бумажках; три конца *p*, *p*, *p* опирались на лакмусовую, а другие три *n*, *n*, *n* — на куркумовую бумажку. Даже при вращении машины в течение короткого времени около всех полюсов или концов *p*, *p*, *p*, через которые электричество входило в раствор, выделялась кислота, а около

остальных полюсов n , n , n , через которые электричество уходило из раствора, — щелочь.

322. При всех опытах с электрохимическим разложением с помощью обычной машины и смоченных бумажек (316) необходимо принимать во внимание и устранять следующий важный источник ошибок. Если над лакмусовой и куркумовой бумажками проходит искра, то (при условии достаточной чувствительности бумажки и не слишком высокой ее щелочности) она вызывает покраснение лакмусовой бумажки; при прохождении нескольких искр покраснение бумажки делается весьма сильным. Если электричество прежде чем найти вещество и влажность, достаточные для создания проводимости, проходит некоторое протяжение над поверхностью смоченной бумажки, то покраснение последней распространяется до тех же пределов, что и разветвления. Если подобные разветвления возникают около конца n над куркумовой бумажкой, то они не допускают возникновения производимого щелочью красного пятна, которое в противном случае должно было бы здесь образоваться; искры и разветвления от точки n вызывают также покраснение лакмусовой бумажки. Если бумагу, смоченную раствором иодида калия (который является изумительно чувствительным индикатором электрохимического действия), подвергнуть действию искр, или разветвлений, или даже слабого истечения электричества через воздух с острия p или n , то немедленно выделяется иод.

323. Эти действия не должно смешивать с действиями, вызываемыми истинными электрохимическими способностями обыкновенного электричества, и их надо тщательно избегать, когда желательно наблюдать последние. Поэтому ни в одной точке тока нельзя допускать проскакивания искры и повышения напряжения, в результате чего электричество могло бы проходить между платиновыми проволочками и смоченными бумажками как-нибудь иначе, а не путем проводимости, ибо если электричество пробьет воздух, то последует вышеупомянутое (322) действие.

324. Самое действие вызывается образованием азотной кислоты, путем соединения кислорода и азота воздуха, и в действи-

тельности является лишь более тонким воспроизведением прекрасного опыта Кэвендиша. Образующаяся таким образом, хотя и в малом количестве, кислота находится по отношению к воде в состоянии высокой концентрации и вызывает затем покраснение лакмусовой бумажки, либо предотвращает появление щелочи на куркумовой бумажке, либо, действуя на иодид калия, выделяет иод.

325. Смачивая очень маленькую полоску лакмусовой бумажки раствором едкого кали и пропуская над ней и вдоль нее электрическую искру, я постепенно нейтрализовал щелочь и, в конце концов, добивался покраснения бумажки; высушив ее, я обнаружил, что в результате этой операции получился нитрат кали, и что бумажка превратилась в зажигательную.

326. Таким образом лакмусовая бумага или же белая бумага, смоченная раствором иодида калия, дает прекрасный, простой и быстрый способ иллюстрировать опыт Кэвендиша по получению азотной кислоты из атмосферы.

327. Я уже имел случай упомянуть об одном из произведенных д-ром Волластоном опытов (265, 309), к которому слишком часто возвращаются как те, кто возражает против правильности его взглядов о тождественности гальванического и обыкновенного электричества, так и те, кто с ними согласен. Волластон покрывал тонкие проволоки стеклом или другими изолирующими веществами; он снимал затем лишь столько вещества, чтобы обнажить конец или сечение провода, и пропускал электричество через два таких провода, защищенные концы которых были погружены в воду; он обнаружил при этом, что вода могла быть разложена даже током от машины, без искровых разрядов, и что от концов проводов поднимались кверху две струи газа, по внешнему виду в точности напоминающие струи, получающиеся при гальваническом электричестве и представляющие, подобно последним, смесь кислорода и водорода. Однако д-р Волластон сам замечает, что действие это отлично от действия гальванического элемента, так как и кислород и водород образуются около обоих полюсов; он называет это действие «очень

точной имитацией гальванических явлений», но добавляет, что «в действительности сходство не является полным» и не полагается на него при установлении принципов, правильно изложенных в его работе.

328. Этот опыт является ни более ни менее, как усовершенствованным повторением опыта, произведенного в 1797 г. д-ром Пирсоном (Pearson), а еще ранее — гг. Пэтсом ван Трооствиком и Дейманом (Paets van Troostwick a. Deiman) в 1789 г. или несколько ранее. Что этот опыт отнюдь нельзя приводить в качестве доказательства истинного электрохимического разложения, достаточно очевидно из того обстоятельства, что закон, управляющий переносом и окончательным расположением образующихся веществ (278, 309), в данном случае не соблюдается. Вода разлагается независимо около обоих полюсов, а кислород и водород, образующиеся около проводов, представляют собой составные элементы той воды, которая находилась в этих местах в предыдущий момент. Что полюсы, или, вернее, концы проявляют свое разлагающее действие независимо друг от друга, можно доказать тем, что если заменить один из них проводом или пальцем, это не оказывает никакого действия на другой, хотя и прекращает всякое действие около замененного полюса. Этот факт можно наблюдать, если вращать в течение некоторого времени машину. Хотя от оставленного неизменным острия пузырьки газа поднимаются при этом в количестве, достаточном для того, чтобы целиком покрыть служащий для соединения другой провод, если бы их можно было расположить по нему, — на этом проводе не образуется ни единого пузырька.

329. Имеются веские основания думать, что при электрохимическом разложении количество разложенного вещества пропорционально не напряжению, а количеству прошедшего электричества (320). В последующей части настоящего доклада (375, 377) я буду в состоянии представить некоторые доказательства этого. Но в рассматриваемом опыте дело обстоит не так. Если при данных двух остриях пропускать электричество от машины в виде искр, то выделяется определенное количество

газа; но если сделать искры короче, то газа выделяется меньше; если же искр не пропускать, то освобождается едва заметное количество газа. Если заменить воду раствором сульфата натра, то даже при сильных искрах удастся получить лишь едва заметное количество газа, а с помощью одного тока не удастся получить почти ничего, хотя количество электричества, прошедшего за данный промежуток времени, было во всех этих случаях одинаково.

330. Я не стану отрицать, что с помощью такого устройства обыкновенное электричество может разлагать воду, подобно тому, как это делает электричество гальванического элемента; в настоящее время я думаю, что оно может это сделать. Но когда получается только то действие, которое я считаю истинным, количество выделяющегося газа настолько мало, что я не мог удостовериться, что это был (как это должно быть) кислород у одного провода и водород — у другого. Из двух струй одна казалась более обильной, чем другая, а при обратном расположении прибора более обильную струю давала опять та же самая по отношению к машине сторона. При замене чистой воды раствором сульфата натра такие небольшие струившиеся же наблюдались. Однако количества газа были столь малы, что после полурасовой работы машины мне не удалось получить ни у одного полюса пузырька газа, превосходящего по размерам небольшую песчинку. Если выведенное мною по вопросу о величине химического действия (377) заключение правильно, то это так и должно быть.

331. Мне тем более хотелось установить истинное значение этого опыта, как доказательства электрохимического действия, что мне придется сослаться на него в случаях ожидаемого химического действия магнито-электрических и других электрических токов (336, 346), а также в других местах. Но независимо от этого, теперь уже не может быть сомнений в том, что д-р Волластон был прав в своем основном заключении, и что гальваническое и обыкновенное электричества обладают способностью производить химическое разложение, одинаковое по своей

природе и управляемое одним и тем же законом в отношении расположения элементов.

332. IV. Физиологические действия. Обыкновенное электричество способно производить удар и сокращения животного организма, а при слабой интенсивности действовать на язык и глаза; если принять во внимание интенсивность одного электричества и продолжительность действия другого, то эту способность можно рассматривать как тождественную с подобной же способностью гальванического электричества. В цепь тока обыкновенного электричества от батареи (291), которая была заряжена восемью — десятью¹ оборотами хорошо действующей машины (290), вводилась влажная нить, и разряд производился посредством платиновых лопаточек через язык или десны; тогда действие на язык и глаза получалось точно такое же, как от слабого кратковременного гальванического тока.

333. V. Искра. Всем знакома красивая вспышка, сопровождающая разряд обыкновенного электричества. По яркости она соперничает с сиянием, сопровождающим разряд гальванического электричества, а может быть, даже превосходит его в значительной степени. Но разряд этот продолжается лишь в течение одного мгновения и сопровождается резким треском, как бы от небольшого взрыва. Тем не менее, в нем, особенно при определенных условиях, можно без всяких затруднений узнать такую же искру, как искра от гальванической батареи. Глаз не способен обнаружить различий между искрами гальванического и обыкновенного электричества, когда они получаются между амальгамированными поверхностями металла, лишь через определенные промежутки времени и через одинаковые воздушные промежутки.

334. При разряде лейденской батареи (291) через влажный шнур, введенный в цепь вдали от места прохождения искры, искра получалась желтоватой, похожей на пламя; продолжительность ее была заметно больше, чем в отсутствии воды; длина равнялась примерно трем четвертям дюйма; сопровождалась

¹ Или даже тридцать — сорока.

она лишь слабым треском, который иногда даже совершенно отсутствовал; утратив часть своих обычных особенностей, искра до некоторой степени приближалась к гальванической. Когда задерживаемое водой электричество разряжалось между кусками древесного угля, оно было чрезвычайно ярко и блестяще у обеих поверхностей угля, напоминая яркость гальванического разряда между такими же поверхностями. Разряд электричества, производившийся через уголь без задержки, был ярким у обеих поверхностей (напоминая в этом отношении гальваническую искру), но при этом получался громкий, резкий, звонкий шум.

335. Согласно, как я думаю, с мнением всех остальных ученых, я полагал, что атмосферное электричество обладает той же природой, что и обыкновенное (284); я мог бы поэтому сослаться на некоторые опубликованные данные о химических действиях атмосферного электричества, как на доказательство того, что обыкновенному электричеству наравне с гальваническим присуща способность химического разложения. Но сравнение, которое мною проводится, является слишком строгим для того, чтобы можно было пользоваться этими данными, не имея полной уверенности в их правильности; тем не менее, я не имею права умалчивать о них, так как, если они соответствуют истине, то они устанавливают то, под что я пытаюсь подвести прочный фундамент, и имеют приоритет по сравнению с моими результатами.

336. Женевский ученый г. Бонижоль (Bonijol)¹ построил, как говорят, весьма чувствительный прибор для разложения воды с помощью обыкновенного электричества. При соединении этого прибора с изолированным громоотводом разложение воды происходило непрерывно и быстро, даже в том случае, когда атмосферное электричество не было особенно мощным. Прибор этот не описан, но поскольку указывается, что диаметр провода очень мал, то прибор по своей конструкции, повидимому, схож с прибором Воластона (327), а поскольку в последнем случае

¹ Bibliothèque Universelle, 1830, XLV, стр. 213.

наблюдаемое нами разложение не является примером настоящего полярного электрохимического разложения (328), то и результат, полученный г. Бонижолем, не доказывает тождественности химического действия обыкновенного и гальванического электричеств.

337. На той же самой странице *Bibliothèque Universelle* говорится, что г. Бонижоль произвел разложение *поташа*, а также хлорида серебра; для этого он помещал их в узкие трубки и пропускал над ними электрические искры от обыкновенной машины. Очевидно, что эти явления не представляют никакой аналогии со случаями истинного гальванического разложения, при котором электричество только тогда разлагает подвергнутое его действию вещество, когда оно им проводится, и перестает разлагать его, согласно обычным законам разложения, когда оно проходит в виде искр. Эти действия, вероятно, отчасти аналогичны тому, что происходит с водой в приборах Пирсона или Волластона; может быть, они обусловлены очень высокой температурой, действующей на небольшие массы вещества; их можно также поставить в связь с теми результатами, которые получены в воздухе (322). Поскольку под действием электрической искры (324) азот может непосредственно соединяться с кислородом, то нет ничего невозможного в том, что он будет отнимать его от кали в поташе, тем более, что всегда останется достаточно кали в соприкосновении с действующими частичками, чтобы соединиться с образовавшейся азотной кислотой. Как бы ни были отличны эти действия от настоящих полярных электрохимических разложений, они, тем не менее, в высокой степени важны и достойны изучения.

338. В прошлом году покойный г. Бэрри представил Королевскому обществу доклад,¹ настолько отчетливый в своих деталях, что он как будто сразу доказал тождественность химического действия обыкновенного и гальванического электричества; однако при более внимательном изучении возникают значительные

¹ *Philosophical Transactions*, 1831, стр. 165.

трудности при согласовании одних действий с другими. Бэрри пользовался двумя трубками; в каждой из них через закрытый конец проходила проволочка, как это обычно делается при гальваническом разложении. Трубки были наполнены раствором сульфата натра, подкрашенным фиалковой настойкой, и соединены обычным способом посредством некоторого количества того же раствора; проволочка в одной трубке была соединена посредством позолоченной нити с веревкой изолированного электрического змея, а проволочка в другой трубке, посредством такой же позолоченной нити, — с землей. Вскоре в трубке, соединенной со змеем, появлялся водород, а в другой — кислород; через десять минут жидкость в первой трубке позеленела от выделившейся щелочи, а жидкость в другой трубке покраснела от образовавшейся свободной кислоты. Единственное указание на силу или интенсивность атмосферного электричества заключается в выражении «при прикосновении к веревке ощущались обычные удары».

339. Что в этом случае электричество не похоже на получаемое из обычных источников обыкновенное электричество, видно из целого ряда обстоятельств. Посредством обыкновенного электричества Волластону не удалось произвести разложения воды в таком приборе и получить газы в *отдельных* сосудах; равным образом никому из многочисленных ученых, пользовавшихся такими приборами, не удавалось получить посредством тока от машины подобного разложения ни воды, ни нейтральной соли. Недавно я в течение четверти часа пробовал большую машину (290) в полном действии; в течение этого времени было произведено семьсот оборотов, и никаких заметных действий получено не было, хотя машина должна бы давать при этом значительно более сильные и частые удары, чем те, которые можно извлечь без всякой опасности из веревки электрического змея; а из приводимого далее (371) сравнения будет видно, что для того, чтобы обыкновенное электричество давало такое же действие, количество его должно быть ужасно велико и, повидимому, значительно превосходить то, которое можно отвести в землю с помощью

позолоченной нити; в то же время от него получались лишь «обычные удары».

340. Что электричество в этом случае не было, повидимому, аналогичным гальваническому электричеству, это ясно из того, что получались только «обычные удары», отнюдь не похожие на ужасные ощущения, производимые гальванической батареей, даже в том случае, когда напряжение ее настолько мало, что даваемый ею разряд не проходит через воздушный промежуток в одну восьмую дюйма.

341. Возможно, конечно, что проходящий мимо змея и веревки воздух был в таком электрическом состоянии, которое достаточно лишь для получения «обычных ударов», но мог, тем не менее, отдавши электричество вниз, возобновлять заряд и таким образом поддерживать ток. Веревка была в 1500 футов длиною и состояла из двух двойных нитей. Однако, если принять во внимание, какое огромное количество [электричества] нужно было таким образом собрать (371, 376), то приведенное объяснение представляется весьма сомнительным. Я зарядил гальваническую батарею, содержащую двадцать пар пластин, площадью по четыре квадратных дюйма, с двойными медными пластинами, очень хорошо изолировал ее, соединил ее положительный полюс с разрядным проводом (292), а ее отрицательный полюс — с прибором, подобным прибору г. Бэрри; он был присоединен к проводу, опущенному на глубину трех дюймов во влажную почву. Устроенная таким образом батарея производила слабые разлагающие действия, соответствующие, насколько я мог судить, описанию, даваемому г. Бэрри. Напряжение ее было, конечно, гораздо ниже, чем у электричества, получаемого из веревки змея, но подача электричества из разрядного провода была не ограничена. Схема не давала ударов, сравнимых с «обычными ударами» из веревки змея.

342. Было бы весьма важно повторить и проверить опыт г. Бэрри. Если он подтвердится, это будет, насколько мне известно, первый отмеченный случай настоящего электрохимического разложения воды посредством обыкновенного электричества; он

даст нам в руки источник электрического тока такого вида, который как по количеству, так и по напряжению является как раз промежуточным между током от обычной электрической машины и током от гальванической батареи.

III. Магнито-электричество

343. Напряжени е. Вызываемые напряжением обычного электричества притяжения и отталкивания успешно наблюдались с электричеством, полученным с помощью магнито-электрической индукции. При помощи особого прибора, остроумного по своей конструкции и мощного по своему действию, ¹ Пиксии (Pixii) удалось получать значительное расхождение золотых листочков электрометра. ²

344. [Электричество] в движении. I. Выделен и е теп ла. Ток, получаемый с помощью магнито-электрической индукции, подобно обыкновенному электричеству, может нагреть провод. В июне этого года я имел удовольствие совместно с г. Гаррисом, профессором Даниэлем, г. Дунканом и другими производить перед Британской ассоциацией наук в Оксфорде опыты, для которых я воспользовался большим магнитом из музея, новым электрометром г. Гарриса (287) и магнито-электрической катушкой, описанной в моем первом докладе (34). Последняя была видоизменена, как это описано в другом месте, ³ таким образом, что при замыкании и размыкании ее контакта с магнитом получалась электрическая искра. Концы спирали были устроены так, что контакт между ними нарушался, когда должна была проходить искра; они были соединены с нитью электрометра; было обнаружено, что при каждом замыкании и размыкании магнитного контакта внутри прибора происходило расширение воздуха, что указывало на возрастание температуры провода в этот момент.

¹ Annales de Chimie, L, стр. 322.

² Там же, стр. 77.

³ Phil. Mag. and Annals, 1832, XI, стр. 405.

345. II. Магнетизм. Эти токи были открыты благодаря их магнитному действию.

346. III. Химическое разложение. Я многократно пытался произвести химическое разложение с помощью магнитного электричества, но безуспешно. В прошедшем июле мною было получено анонимное, с тех пор опубликованное¹ письмо, в котором описывается магнито-электрический прибор для разложения воды. Так как автор пользуется термином «защищенные острия», то я полагаю, что это был прибор типа Волластоновского (327 и т. д.); в таком случае результаты не могут служить для обнаружения полярного электрохимического разложения. Недавно синьор Ботто (Botto) опубликовал некоторые полученные им² результаты, которые, однако, в том виде, в каком они описаны, не убедительны. Он пользовался, очевидно, прибором д-ра Волластона, а показания, которые этот прибор дает, обманчивы (327 и т. д.). Поскольку магнито-электричество может производить искры, действия, которые оно должно давать, как раз таковы, как и дает этот прибор. Однако упомянутый уже прибор г. Пиксии³ дал как в его руках, так и в руках г. Гашетта⁴ решающие химические результаты, являющиеся, таким образом, завершающим звеном в цепи доказательств. С помощью этого прибора была разложена вода, а кислород и водород получались в отдельных трубках в соответствии с законом, управляющим разложением, с помощью гальванического электричества и электричества от машины.

347. IV. Физиологические действия. Сокращения конечностей лягушки были получены еще в самых ранних опытах с этими токами (56). Ощущение на язык и искра перед глазами, которые я сначала получал лишь в слабой степени (56),

¹ Lond. and Edinb. Phil. Mag. and Journal, 1832, I, стр. 161.

² Там же, 1832, I, стр. 441.

³ Annales de Chimie, LI, стр. 77.

⁴ Там же, LI, стр. 72.

с тех пор благодаря более мощным установкам усилились настолько, что стали даже неприятными.

348. **В. Искра.** Слабая искра, которая была сначала получена мною при помощи этих токов (32), была видоизменена и усилена синьорами Нобили, Антинори и др., и теперь не остается сомнений в том, что она тождественна с обыкновенной электрической искрой.

IV. Термоэлектричество

349. Что касается термоэлектричества (этой прекрасной формы электричества, открытой Зеебеком), то уже самые условия, при которых оно возбуждается, не дают основания надеяться, что напряжение его можно будет повысить в сколько-нибудь значительной степени, подобно напряжению обыкновенного электричества; поэтому нельзя ожидать от него действий, получающихся от электричества в этом состоянии. Совокупность данных, говорящих об аналогии между термоэлектричеством и описанными ранее видами электричества, заключается, я считаю, в следующем: **Н а п р я ж е н и е.** Притяжения и отталкивания, производимые напряжением определенной величины, не наблюдались. **В виде токов: I. Образование тепла.** Мне неизвестно, чтобы наблюдалась его способность повышать температуру. **II. Магнетизм.** Оно было открыто и лучше всего распознается по его магнитным действиям. **III. Химического разложения** посредством термоэлектричества получено не было. **IV. Физиологические действия.** Нобили¹ показал, что эти токи могут вызывать сокращение конечностей лягушки. **V. Искру** до сих пор увидеть не удалось.

350. Отсутствуют или оказываются слабыми только те действия, которые зависят от высокого напряжения; и если обыкновенное электричество свести в этом отношении до степени, подобной термоэлектричеству, то оно не сможет производить никаких действий, помимо тех, которые производит последнее.

¹ Bibliothèque Universelle, XXXVII, стр. 15.

V. Животное электричество

351. После ознакомления с опытами Уолша (Walsh),¹ Ингенгусса (Ingenhousz),² Кэвендиша,³ сэра Г. Дэви⁴ и д-ра Дэви⁵ у меня не остается сомнений в том, что электричество электрического ската тождественно с обыкновенным и гальваническим электричеством; я думаю, что и у других осталось так мало сомнений, что я смело могу воздержаться от подробного принципиального обоснования этой тождественности. Сомнения, высказанные сэром Г. Деви, были устранены его братом д-ром Дэви, поскольку выводы последнего оказались прямо противоположными выводам первого. В настоящее время совокупность данных сводится к следующему:

352. **Н а п р я ж е н и е.** Заметных притяжений или отталкиваний, обусловленных напряжением, не наблюдалось.

353. **П р и д в и ж е н и и:** I. **Образование тепла** до сих пор не наблюдалось. У меня почти нет и даже совсем нет сомнений в том, что с электрометром Гарриса его бы удалось заметить (287, 359).

354. **II. Магнетизм.** Совершенно отчетливый. Согласно д-ру Дэви,⁶ ток намагничивал стрелку; производя намагничение, он подчинялся в отношении направления тому же самому закону, которому подчиняются токи обыкновенного и гальванического электричества.

355. **III. Химическое разложение.** Также отчетливое. И хотя д-р Дэви пользовался прибором, по конструкции сходным с прибором д-ра Волластона (327), тем не менее, в этом случае ошибки не возникало, потому что разложение носило характер полярного и по природе своей было настоящим электрохимическим. По направлению магнита было установлено,

¹ Philosophical Transactions, 1773, стр. 461.

² Там же, 1775, стр. 1.

³ Там же, 1776, стр. 196.

⁴ Там же, 1829, стр. 15.

⁵ Там же, 1832, стр. 259.

⁶ Philosophical Transactions, 1832, стр. 260.

что нижняя поверхность рыбы была отрицательной, а верхняя — положительной; при химических разложениях серебро и свинец осаждались на проводе, присоединенном к нижней поверхности, и не осаждались на другом; если провода были из стали или серебра и были погружены в раствор поваренной соли, газ (водород?) поднимался от отрицательного провода и совсем не поднимался от положительного.

356. Вторым доводом за то, что разложение было *электрохимическим*, является то, что если бы прибор Волластона был построен с проводами, покрытыми сургучем, то он, по всей вероятности, не разлагал бы воду даже особым свойственным ему путем, разве что интенсивность электричества повысилась бы настолько, что в некотором участке цепи начали бы получаться искры; но скат не способен производить заметные искры. Третий довод заключается в том, что чем чище вода в приборе Волластона, тем более обильно идет разложение; и я даже нашел, что машина и концы проводов, работавшие вполне успешно с дистиллированной водой, совершенно отказывались действовать, когда проводимость воды улучшали прибавлением сульфата натра, поваренной соли или других солей. Д-р Дэви в своих опытах с электрическим скатом с успехом пользовался *крепкими* растворами соли, нитрата серебра и ацетата свинца; несомненно, что с крепкими растворами дело шло лучше, чем с более слабыми.

357. IV. Физиологические действия. Они являются настолько характерными, что главным образом благодаря им были установлены особые свойства электрического ската и электрического угря.

358. V. Искра. Искра до сих пор не была получена, по крайней мере я так думаю. Однако мне, пожалуй, лучше обратиться к имеющимся по этим вопросам данным. Гумбольдт (Humboldt), сообщая о результатах, полученных шведским ученым г. Фальбергом (Fahlberg), говорит: «Этот ученый наблюдал электрическую искру подобно тому, как ее до него наблюдали Уолш и Ингенгусс в Лондоне, когда он поместил электрического

угря в воздухе и прервал проводящую цепь с помощью двух золотых листочков, наклеенных на стекло на расстоянии одной линии друг от друга.¹ Однако мне не удастся найти никаких данных о соответствующих наблюдениях Уолша или Ингенгусса, и я не знаю, где отыскать данные о наблюдении г. Фальберга. Самому г. Гумбольдту не удалось наблюдать светового эффекта. Далее сэр Джон Лесли (John Leslie) в своем рассуждении о развитии математических и физических наук, предпосланном седьмому изданию «Британской энциклопедии» (Эдинбург, 1830, стр. 622), говорит: «От здорового экземпляра» *Silurus electricus*; подразумевая скорее электрического угря, «выставленного в Лондоне, в затемненной комнате получались яркие искры». Однако он не говорит, что видел их сам, и не указывает, кто их видел; мне же не удастся найти хоть какое-нибудь сообщение об этом явлении; так что это утверждение является сомнительным.²

359. Заканчивая перечень свойств электричества скатов, я не могу не указать на то огромное абсолютное количество электричества, которое пускается в оборот этим животным при каждом его усилии. Сомнительно, существует ли в настоящее время такая электрическая машина, которая была бы в состоянии давать электричество в количествах, достаточных для того, чтобы в течение некоторого, не слишком большого промежутка времени произвести истинное электрохимическое разложение воды (330, 339); в то же время током от электрического ската это достигнуто. Такое же высокое соотношение дают и магнитные действия (296, 371). Эти обстоятельства указывают на то, что электрический скат обладает способностью (вероятно, таким путем, как это описано у Кэвендиша) непрерывно выделять электричество в течение заметного промежутка времени, так что последовательные разряды напоминают скорее разряды действующего с перерывами гальванического устройства, чем раз-

¹ Edinburgh. Phil. Journal, II, стр. 249.

² Г-ну Брэйли (Brayley), который указал мне на эти сообщения и который обладает обширными познаниями в области упоминаемых фактов, неизвестны какие-либо дальнейшие сообщения по этому вопросу.

ряды многократно подряд заряжаемой и разряжаемой лейденской батареи. Впрочем, на деле между этими двумя случаями нет физического различия.

360. Общее заключение, которое, как я полагаю, следует сделать из этой совокупности фактов, состоит в том, что отдельные виды *электричества тождественны по своей природе, каков бы ни был их источник*. Явления, присущие пяти перечисленным типам или видам электричества, различаются друг от друга не по своей природе, а лишь количественно, и в этом отношении варьируют в соответствии с имеющимися обстоятельствами в смысле количества и напряжения [электричества];¹ последние можно произвольно изменять почти для каждого из видов электричества в тех же самых пределах, в каких они меняются при переходе от одного вида к другому.

Таблица установленных опытным путем действий, присущих всем отдельным видам электричества, получаемым от различных источников²

	Физиологич. действия	Отклонение магнитных стрелок	Способность намагничивать	Искра	Нагревательная способность	Истинное химическое действие	Притяжение и отталкивание	Разряд через нагретый воздух
1. Гальваническое электричество . . .	×	×	×	×	×	×	×	×
2. Обыкновенное электричество . . .	×	×	×	×	×	×	×	×
3. Магнитоэлектричество	×	×	×	×	×	×	×	
4. Термоэлектричество	×	×	+	+	+	+		
5. Животное электричество	×	×	×	+	+	×		

¹ Термин *количество* является для электричества, пожалуй, достаточно определенным и понятным; термин *напряжение* поддается точному определению гораздо труднее; я пользуюсь этими терминами в их обычном и общепринятом смысле.

² Многие из пустых мест первоначально составленной таблицы могут быть в настоящее время заполнены. Так, с помощью термоэлектричества

РАЗДЕЛ 8

Количественные соотношения между обыкновенным и гальваническим электричеством¹

361. Полагая, что пункт о тождественности отдельных видов электричества установлен удовлетворительным образом, я попытался в дальнейшем получить общую меру или известную количественную связь между электричеством, возбуждаемым посредством машины, и электричеством от гальванической батареи, и не только для того, чтобы подтвердить их тождественность (378), но и для того, чтобы установить некоторые общие принципы (366, 377 и т. д.) и расширить методы исследования и применения химических сил этого изумительного и тонкого агента.

362. Первый подлежащий решению вопрос заключался в следующем: будет ли одно и то же абсолютное количество обыкновенного электричества, если его пропустить через гальванометр, производить при различных условиях одно и то же отклонение стрелки? Поэтому к гальванометру была прикреплена произвольная шкала, каждое деление которой равнялось примерно 4°; прибор был устроен так же, как в предыдущих опытах

Ботто намагнитил магниты и получил полярное химическое разложение, Антинори произвел искру; г. Уаткинс (Watkins) недавно, если это не было сделано еще ранее, наблюдал нагревание проводника в термоэлектрометре Гарриса. Что касается животного электричества, то Маттеуччи (Matteucci) и Линари (Linari) получали искру от электрического ската, а я недавно получил ее от электрического угря; д-р Дэви наблюдал нагревательную способность тока от электрического ската. Поэтому я заполнил соответствующие клетки крестиками, расположенными иначе, чем в первоначальной таблице. Остается только пять пустых мест — два в столбце «Притяжение и отталкивание» и три — в столбце «Разряд через нагретый воздух». Но хотя эти действия до сих пор получены не были, необходимо заключить, что они возможны, так как соответствующая им искра наблюдалась. А если разряд может происходить через холодный воздух, то должно быть налицо и соответствующее напряжение, являющееся единственным добавочным условием для остальных действий.

¹ Для дальнейшей иллюстрации этого вопроса см. pp. 855—873 в седьмой серии. Дек. 1838 г.

(296). Машина (290), батарея (291) и другие части установки были приведены в порядок и, насколько это было возможно; поддерживались в одном и том же состоянии во все время опыта. Опыты производились один за другим таким образом, чтобы можно было заметить всякое изменение в состоянии прибора и вносить необходимые исправления.

363. Семь банок из батареи было изъято, и для интересующего нас опыта было оставлено восемь банок. Было найдено, что после примерно сорока оборотов машины эти восемь банок заряжались до конца. Затем они заряжались тридцатью оборотами машины и разряжались через гальванометр; при этом в цепь был введен толстый смоченный шнур, примерно в десять дюймов длиной. Стрелка немедленно отклонялась на пять с половиной делений в одну сторону от нуля, а при своем колебании проходила почти точно на пять с половиной делений по другую сторону.

364. Затем были добавлены остальные семь банок, и все пятнадцать банок заряжались в течение тридцати оборотов машины. Показания электрометра Генли (Henley) не достигали половины прежнего значения, однако, когда через установленный на нуль гальванометр был произведен разряд, то стрелка немедленно начинала колебаться, доходя в *точности* до того же деления, что и в первом случае. Эти опыты были повторены несколько раз попеременно то с семью, то с пятнадцатью банками, с одинаковыми каждый раз результатами.

365. Затем были произведены другие опыты, в которых действовала целиком вся батарея; заряд ее (полученный от пятидесяти оборотов машины) пропускался через гальванометр; опыт, однако, видоизменялся таким образом, что разряд пропускался иногда через смоченный шнур, иногда — через тридцать восемь дюймов тонкого шнурка, смоченного дистиллированной водой, а иногда — через шнур в двенадцать раз более толстый, но имеющий в длину всего лишь двенадцать дюймов и пропитанный разбавленной кислотой (298). Через толстый шнур заряд проходил сразу; прохождение его через тонкий

шнур длилось заметное время, а при разряде через веревку требовалось две или три секунды для того, чтобы листочки электрометра сблизились до конца. Очевидно, что в этих трех случаях ток должен был очень сильно различаться по своему напряжению, но, тем не менее, отклонения стрелки оставались всегда более или менее одинаковыми. Если и существовало какое-либо различие, то оно заключалось в том, что тонкий шнур и веревка давали наибольшее отклонение; и если, как указывает Колладон, имеет место какая-нибудь утечка через шелк рамки гальванометра, то это так и должно быть, потому что в этих случаях напряжение меньше и утечка менее значительна.

366. Отсюда как будто следует, что если через гальванометр проходит одно и то же абсолютное количество электричества, то каково бы ни было его напряжение, сила, отклоняющая магнитную стрелку, остается неизменной.

367. В течение шестидесяти оборотов машины заряжалась затем батарея из пятнадцати банок и, как и раньше, разряжалась через гальванометр. Величина отклонения стрелки теперь почти не отличалась от одиннадцати делений, но градуировка не была достаточно точна для того, чтобы я мог быть уверенным, что отклонение было в точности два раза больше, чем в первом случае; на-глаз казалось, что это так. Чрезвычайно вероятно, что отклоняющая сила электрического тока прямо пропорциональна прошедшему абсолютному количеству электричества, независимо от напряжения последнего.¹

368. Д-р Ритчи доказал, что во всех тех случаях, когда напряжение электричества оставалось неизменным, отклонение маг-

¹ Из рассмотрения этих двух выводов становится очевидным большое значение гальванометра вообще в качестве измерителя электричества, проходящего через него — все равно, непрерывно или с перерывами. В той его форме с стеклянным подвесом, как он построен проф. Ритчи, он в этой области, повидимому, не оставляет желать лучшего (см. Philosophical Transactions, 1830, стр. 218 и Quarterly Journal of Science, новая серия, I, стр. 29).

нитной стрелки было прямо пропорционально протекшему через гальванометр количеству электричества.¹ Г-н Гаррис доказал, что способность обыкновенного электричества *нагревать* металлические провода одинакова в случае равных количеств электричества, каково бы ни было его напряжение до этого.²

369. Следующей задачей было получить гальванический прибор, который бы производил действие, в точности равное только что описанному (367). Платиновая и цинковая проводочки были пропущены через одно и то же отверстие в волочиной доске, в результате чего диаметр их оказался равным одной восемнадцатой дюйма; они были укреплены на штативе, так что нижние концы их выступали и шли параллельно, на расстоянии пяти шестнадцатых дюйма друг от друга. Верхние концы были прочно соединены с проводами гальванометра. Было разбавлено некоторое количество кислоты и после нескольких предварительных опытов за стандартный был принят раствор, состоящий из одной капли крепкой серной кислоты на четыре унции дистиллированной воды. Наконец, было замечено время, в течение которого стрелка совершала одно качание справа налево или слева направо; время это оказалось равным семнадцати биениям моих часов, дающих полтора часа биений в минуту. Эти приготовления имели целью устройство гальванического прибора; прибор этот должен был при погружении в данную кислоту на заданный промежуток времени — гораздо меньший, чем время, в течение которого происходило колебание стрелки в одном направлении, — производить такое же отклонение стрелки прибора, как и разряд обыкновенного электричества от батареи (363, 364). Против платиновой я помещал свежий кусок цинковой проволоки, после чего приступал к сравнительным опытам.

370. Когда цинковая и платиновая проволоки погружались в кислоту на глубину пяти восьмых дюйма и оставались там в течение восьми биений часов (после чего они быстро вынима-

¹ Quarterly Journal of Science, новая серия, I, стр. 33.

² Plymouth Transactions, стр. 22.

лись), стрелка отклонялась и продолжала двигаться в том же направлении некоторое время после того, как гальванический прибор был удален из кислоты. Стрелка достигала деления пять с половиной и затем возвращалась обратно, отклоняясь на такое же расстояние в другую сторону. Этот опыт был повторен много раз, и всегда с одним и тем же результатом.

371. Если судить покуда только по магнитной силе (376), то отсюда как некоторое приближение вытекает; что если взять две проволоки — одну платиновую, а другую цинковую, диаметром каждая в одну восемнадцатую дюйма, поместить их на расстоянии пяти шестнадцатых дюйма и погрузить на глубину пяти восьмых дюйма в кислоту, состоящую из одной капли купоросного масла и четырех унций дистиллированной воды, при температуре около 60° , если соединить их на других концах посредством медного провода в восемнадцать дюймов длиною и одну восемнадцатую дюйма толщиной (такова проволока в катушке гальванометра), то они производят за время, соответствующее восьми биениям моих часов, т. е. за $8/150$ минуты, столько же электричества, сколько электрическая батарея после тридцати оборотов находящейся в порядке (363, 364) машины. Несмотря на кажущееся огромное несоответствие, результаты эти находятся в полном согласии с теми действиями, которые, как нам известно, получаются при изменениях напряжения и количества электрической жидкости.

372. Чтобы получить данные относительно *химического действия*, провода в дальнейшем оставались погруженными в кислоту на глубину пяти восьмых дюйма, и наблюдалось отклонение стрелки в устойчивом состоянии. Насколько можно судить невооруженным глазом, стрелка останавливалась приблизительно на делении $5\frac{1}{3}$. Следовательно, постоянное отклонение такой величины можно рассматривать как указание на наличие непрерывного гальванического тока, который за время, соответствующее восьми биениям моих часов (369), мог бы дать столько же электричества, сколько батарея лейденских банок после тридцати оборотов машины.

373. Из целого ряда изготовленных установок и множества результатов, относящихся к химическому действию, упомяну следующие. Конец платиновой проволоки, диаметром в одну двенадцатую дюйма и в двести шестьдесят гран весом, был сошлифован плоско, так что получилось определенное сечение, равное площади круга того же диаметра, что и проволока; затем она соединялась попеременно то с кондуктором машины, то с гальваническим прибором (369); при этом проволока всегда являлась положительным полюсом и все время сохраняла вертикальное положение, чтобы она могла опираться всем своим весом на реактивную бумажку. Реактивная бумажка лежала на платиновой лопаточке, которая присоединялась либо к разрядному проводу (292), либо к отрицательному проводу гальванического прибора; она состояла из четырех слоев, всегда в одинаковой степени смоченных стандартным раствором гидридата кали (316).

374. При соединении платиновой проволоки с главным кондуктором машины, а лопаточки — с разрядной цепью, после десяти оборотов машины получалось разлагающее действие, выражавшееся в появлении бледного круглого пятна иода с диаметром, равным диаметру проволоки; двадцать оборотов давали значительно более темный след, а после тридцати оборотов появлялось темное бурое пятно, проникавшее до второго слоя бумаги. Различие в действии, получавшееся при изменении числа оборотов на два-три, легко обнаруживалось.

375. Затем провод и лопаточка были соединены с гальваническим прибором (369), причем гальванометр также был включен в установку; был приготовлен более концентрированный раствор азотной кислоты в воде; гальванический прибор был погружен в него настолько, что получалось постоянное отклонение стрелки, равное $5\frac{1}{3}$ деления (372); сложенная вчетверо смоченная бумага попрежнему входила в цепь. Затем конец проволоки перемещался по реактивной бумажке с места на место; наблюдалось действие тока в течение пяти, шести, семи или какого-либо другого числа биений часов (369), и дей-

ствие это сравнивалось с действием машины.¹ При многократных, попеременных повторениях этих сравнительных опытов неизменно оказывалось, что данный стандартный ток гальванического электричества, продолжавшийся в течение восьми биений часов, был равен по своему химическому действию тридцати оборотам машины; двадцати восьми оборотов машины было, несомненно, мало.

376. Отсюда следует, что как в отношении *магнитного отклонения* (371), так и в отношении *химической силы* ток электричества от стандартной гальванической батареи, длившийся в течение восьми биений часов, был равен току, производимому тридцатью оборотами машины.

377. Отсюда также следует, что для этого, а вероятно и для всех случаев электрохимического разложения, *химическая сила, подобно магнитной силе* (366), *прямо пропорциональна абсолютному количеству проходящего электричества.*

378. Отсюда вытекает и дальнейшее подтверждение, — если оно еще нужно, — того, что обыкновенное и гальваническое электричество тождественны, и что различиями в напряжении и количестве вполне можно объяснить все то, что принято считать за отличительные свойства этих электричеств.

379. То расширение фактов и умозаключений, образующих теорию электрохимического разложения, которое я смог сделать на основании настоящих исследований, равно как и некоторые другие положения учения об электричестве, будут в ближайшее время представлены Королевскому обществу в другой серии настоящих исследований.

Королевский институт.

15 декабря 1832 г.

Примечание. Я желал бы, и получил на это разрешение, сделать к настоящему докладу добавление, чтобы исправить указание на ошибку, приписанную мною г. Амперу в первой серии настоящих экс-

¹ Для компенсации действия включенного теперь плохого проводника необходимо, конечно, было усилить мощность гальванической батареи.

периментальных исследований. Упомянув об его опыте по индукции электрических токов (78), я называл диском то, что следовало называть кругом или кольцом. Г-н Ампер пользовался для опытов кольцом, — вернее, очень коротким цилиндром, сделанным из узкой медной пластинки, согнутой в виде круга; он сообщает мне, что с помощью такого приспособления движение получается очень легко. Я не сомневался в том, что г. Ампер получал описанное им движение, и только ошибался в типе подвижного проводника, которым он пользовался, и в этом отношении допустил ошибку в описании его *опыта*.

В том же самом параграфе я указывал: г. Ампер говорит, что диск вращался так «как если бы стремился занять положение равновесия, в точности совпадающее с тем, которое заняла бы сама спираль, если бы ей была предоставлена свобода движения»; далее я указывал, что мои выводы скорее приводят к результатам, обратным *высказанному г. Ампером положению, что ток электричества стремится привести электричество проводников, вблизи которых он проходит, в движение одинакового с ним направления*. В только что полученном мною письме г. Ампер сообщает, что при описании опыта он тщательно избегал каких-либо указаний на направление индуцированного тока, и, просмотрев цитированные им параграфы, я вижу, что в самом деле это так. Таким образом в вышеупомянутых сообщениях я был по отношению к нему неправ и спешу исправить свою ошибку.

Однако, чтобы нельзя было подумать, что я написал упомянутые слова легкомысленно, я вкратце приведу те основания, которые у меня имелись для такого истолкования. Первоначально опыт не удавался. Он был успешно произведен примерно год спустя в Женеве, совместно с г. де ля Ривом; этот последний описал полученные результаты и говорит,¹ что согнутая в виде круга медная пластина, служившая им подвижным проводником, «иногда шла между ветвями (подковообразного) магнита вперед, а иногда отталкивалась, в соответствии с направлением тока в окружающих проводниках».

Я привык ссылаться на «Руководство по динамическому электричеству» Демонферрана как на книгу, пользующуюся авторитетом во Франции и содержащую в систематизированном изложении относящиеся к этой отрасли знания основные данные и законы, полученные вплоть до времени ее опубликования. На стр. 173 автор при описании этого опыта говорит: «Подвижный круг поворачивается так, чтобы занять положение равновесия, которое занял бы проводник, несущий ток *того же направления, что и спираль*»; в том же самом параграфе он добавляет: «Таким образом доказано, что ток электричества стремится привести

¹ Bibliothèque Universelle, XXI, стр. 48.

электричество проводников, облизн которых он проходит, в движении одинакового с ним направления. Это как раз те слова, которые я цитировал в своем докладе (78). Le Luscée от 1 января 1832 г., № 36, в статье, написанной после получения моего первого эпололучного письма г. Гашетту и до напечатания моих докладов, обсуждает направление индуцированных токов, и говорит, что *«элементарный ток должен получаться в том же направлении, как соответствующий участок индуцирующего тока»*. Немного дальше говорится: «Таким образом мы должны бы получить токи, движущиеся в том же направлении, индуцированные в металлическом проводе с помощью либо магнита, либо тока. Г-н Ампер был настолько твердо убежден в том, что таково должно быть направление тока, полученного путем влияния, что и сносом опыте в Женеве не счел нужным этого проверить».

Ясные утверждения в «Руководстве» Демонферрана, согласные с выражениями в статье де ля Рива (как я понимаю теперь, они, однако, означают лишь то, что при изменении индуцирующего тока движение подвижного круга также меняется) и не противоречащие ничему, высказанному по поводу опыта самим г. Ампером, заставили меня в моем докладе прийти к заключению, что написанное мною действительно представляет собой подлинное мнение г. Ампера; и когда появился упомянутый номер Le Luscée, что произошло ранее напечатания моего доклада, то он не мог зародить во мне никаких подозрений в том, что я ошибался.

Отсюда ошибка, в которую я невольно впал. Я рад случаю исправить ее и отдать полную дань той пронизательности и точности, которые, насколько я разбираюсь в этих вопросах, г. Ампер вносит во все отрасли естествознания, им изучаемые.

Наконец в моем примечании к п. 79 говорится, что в № 36 Le Luscée за истинные принимает ошибочные выводы гг. Френеля и Ампера и т. д. и т. д. Называя выводы г. Ампера ошибочными, я имел в виду выводы, упомянутые и описанные в самом «Le Luscée»; однако в *настоящее время*, когда выражение, относящееся к направлению индуцированного тока, приходится отбросить, выражение *«ошибочное»* к ним больше не приложимо.

29 апреля 1833 г.

М. Ф.

ЧЕТВЕРТАЯ СЕРИЯ

Раздел 9. О новом законе электрической проводимости. Раздел 10. Общие соображения об электрической проводимости.

Поступило 24 апреля. — Доложено 23 мая 1833 г.

РАЗДЕЛ 9

О новом законе электрической проводимости¹

380. При своих исследованиях по вопросу об электрохимическом разложении (о них мне еще предстоит доложить Королевскому обществу), я натолкнулся на проявления оставшегося до сих пор неизвестным весьма *общего закона* электрической проводимости; это обстоятельство помешало мне в получении искомого результата, но кратковременное разочарование было сторицей уравновешено тем новым и важным значением, которое найденные явления представляют для обширного отдела учения об электричестве.

381. Я работал со льдом и твердыми веществами, получаемыми замораживанием растворов; я применял их либо в качестве барьера, пересекавшего подлежащие разложению вещества, либо непосредственно в качестве полюсов гальванической батареи, так, чтобы можно было проследить и изолировать некоторые элементы в процессе их переноса; ход моих исследований внезапно прервался, когда я обнаружил, что лед при таких об-

¹ Дальнейшие соображения относительно этого закона см. пп. 910, 1358, 1705. Дек. 1838 г.

стоятельствах оказывается непроводником электричества; как только я включал тонкий слой льда в цепь очень мощной гальванической батареи, передача электричества этим предотвращалась, и всякое разложение прекращалось.

382. Сначала опыты производились с обыкновенным льдом во время холодной морозной погоды, наступившей в самом конце января 1833 г., однако вследствие несовершенства установок результаты получались неверные, и поэтому была принята следующая, более безупречная форма опыта.

383. Были изготовлены открытые с одного конца оловянные сосуды в пять дюймов высотой; они имели один с четвертью дюйма в одном направлении и от трех восьмых до пяти восьмых дюйма в другом. Внутри них, с помощью пробок, были укреплены платиновые пластинки, не касавшиеся оловянных стенок; к пластинкам были предварительно припаяны медные проволоки, которыми пластинки, когда нужно было, легко было соединить с гальваническим элементом. Затем в сосуд была налита дистиллированная вода, предварительно кипевшая в течение трех часов; вода замораживалась посредством смеси снега с солью, так что между платиной и оловом получался чистый, прозрачный твердый лед; эти металлы были, наконец, присоединены к противоположным концам гальванического прибора; одновременно в цепь был включен гальванометр.

384. В первом опыте платиновый полюс имел три с половиной дюйма в длину и семь восьмых дюйма в ширину; он был целиком погружен в воду или в лед, и так как сосуд имел в ширину четыре восьмых дюйма, то толщина промежуточного слоя льда в среднем равнялась не более четверти дюйма, тогда как поверхность соприкосновения льда у обоих полюсов была около четырнадцати квадратных дюймов. После того как вода замерзала, сосуд все еще оставлялся в охлаждающей смеси; в то же время олово и платина соответственно присоединялись к концам хорошо заряженной батареи, состоявшей из двадцати пар пластин (медные — двойные), площадью по четыре квадратных дюйма. Ни малейшего отклонения стрелки гальванометра не происходило.

385. Далее я вынимал замороженный прибор из охлаждающей смеси и подогревал дно оловянного сосуда; при этом часть льда расплавлялась; в это время соединения с батареей сохранялись; стрелка гальванометра сначала не отклонялась; проводимость появлялась только тогда, когда процесс плавления заходил настолько далеко, что таяла часть льда, соприкасающаяся с платиновым полюсом, но после этого происходило весьма сильное действие, и стрелка гальванометра оставалась все время отклоненной почти на 70° .

386. В другом опыте платиновая лопаточка в пять дюймов длиной и в семь восьмых дюйма шириной погружалась на четыре дюйма в лед; толщина слоя льда между двумя металлическими поверхностями равнялась всего трем шестнадцатым дюйма; тем не менее, этот прибор изолировал столь же совершенно, как и первый.

387. Если в верхний конец сосуда наливалось небольшое количество воды, прибор все-таки не проводил электричества, хотя жидкая вода там, несомненно, имелась. Этот результат объясняется тем, что холодные металлы замораживали воду в месте соприкосновения с ней и изолировали, таким образом, жидкую часть; этот факт хорошо иллюстрирует непроводящие свойства льда, показывая, насколько тонкого слоя его достаточно для того, чтобы воспрепятствовать прохождению тока батареи. Проводимость появлялась по расплавлению этой тонкой пленки, на участках, которые прилегали к *обоим* металлам.

388. Оловянный сосуд был нагрет, и кусок льда был удален; при этом обнаружилось, что пробка соскользнула, и потому один из краев платиновой пластинки почти соприкасался с оловянным сосудом; и все же, несмотря на чрезвычайную тонкость промежуточного слоя льда, не наблюдалось прохождения ощутимого количества электричества.

389. Эти опыты повторялись многократно с одними и теми же результатами. Наконец, была взята хорошо заряженная батарея, состоявшая из пятнадцати ящиков, иначе из ста пятидесяти пар пластин, площадью по четыре квадратных дюйма.

но даже и в этом случае тонкая ледяная диафрагма не пропускала ощутимых количеств электричества.

390. Сначала казалось, что иногда наблюдаются случайные отклонения от этих действий, но их всегда можно было объяснить некоторыми посторонними причинами. Во всех случаях вода должна быть хорошо заморожена; правда, нет необходимости в том, чтобы лед простирался от полюса до полюса, поскольку тонкой ледяной преградой вокруг одного из них достаточно для предотвращения проводимости; но если часть воды остается жидкой, то уже одного оставления прибора на воздухе или приближения к нему рук достаточно для того, чтобы на *верхней поверхности* воды и льда образовалась тонкая пленка жидкости, простирающаяся от платины к олову, а тогда возникает проводимость. Далее, если служащие для укрепления платины пробки окажутся влажными или мокрыми изнутри, то охлаждение должно быть достаточно сильно, чтобы вода внутри них замерзла; в противном случае, если поверхность соприкосновения их с оловом слегка нагреется от теплоты рук, это место окажется проводящим, а поскольку внутренняя часть также обладает проводимостью, то ток будет проходить. Вода должна быть чистой не только для того, чтобы не получалось запутанных результатов, но также и для того, чтобы по мере замораживания не могло образоваться небольшого количества концентрированного раствора соли; если последний останется жидким и распределится внутри льда или проникнет в образовавшиеся при сжатии трещины, то он может обнаруживать проводящие свойства, независимо от самого льда.

391. В одном случае я, к своему удивлению, обнаружил, что проводимость не восстановилась после того, как большое количество льда растаяло; но потом я нашел, что пробка, поддерживающая проводник как раз в том месте, где он соединен с платиной, так глубоко погрузилась в лед, что вместе с самим льдом предохраняла платину от соприкосновения с расплавленной частью еще долгое время спустя после того, как можно было ожидать контакта.

392. Это изолирующее свойство льда перестает быть действительным для электричества повышенной интенсивности. Если привести электрометр с отклоненным золотым листочком в соприкосновение с проводом, соединенным с платиной, и в то же время к оловянному сосуду прикоснуться рукой или другим проводом; электрометр мгновенно разряжается (419).

393. Правда, если электричество обладает столь малым напряжением, что уже не вызывает расхождения листочков электрометра, оно все же может проходить через лед (хотя и в весьма ограниченных количествах (419)); тем не менее, различие в поведении воды и льда по отношению к электричеству гальванического прибора остается столь же поразительным и столь же важным по своим последствиям.

394. Мне казалось неправдоподобным, чтобы этот закон *приобретения проводимости во время плавления и потери ее во время замерзания* составлял отличительное свойство воды; поэтому я тотчас же приступил к проверке его действия в других случаях и нашел, что он является весьма общим. Для этой цели были выбраны вещества, находящиеся при обыкновенной температуре в твердом состоянии, но легко плавящиеся, и притом такого состава, что в силу других соображений, связанных с электрохимическим действием, можно было полагать, что в расплавленном состоянии они смогут заменить воду в качестве проводников. В качестве источника электричества служила гальваническая батарея из двух сосудов, иначе из двадцати пар пластин площадью по четыре квадратных дюйма (384); в цепь был введен гальванометр, который должен был обнаруживать наличие или отсутствие тока.

395. Я расплавил на осколке флорентийской колбы, с помощью спиртовой лампы, небольшое количество хлорида свинца и ввел в него две платиновые проволоочки, соединенные с полюсами батареи; мгновенно возникало сильное действие; действие на гальванометр было очень сильно, и хлорид быстро разлагался. При удалении лампы в момент затвердевания хлорида как ток, так и производимые им действия совершенно прекра-

щались, хотя платиновые проволочки оставались погруженными в хлорид на расстоянии не более одной шестнадцатой дюйма друг от друга. При возобновлении нагрева сейчас же начиналось прохождение тока, как только плавление продвигалось настолько, что жидкость соединяла собой полюсы.

396. Если расплавить хлорид, заранее введя в него одну проволочку, и касаться жидкости другой, последняя, будучи холодной, вызывает образование на своем конце небольшого твердого шарика, и ток не проходит; явление проводимости, и притом весьма значительной, возникало лишь после того, как проволочка становилась настолько горячей, что мог установиться контакт с жидким веществом.

397. При подобных же опытах с хлоридом серебра и хлоратом кали получались точно такие же результаты.

398. В этих случаях при каждом прохождении тока всегда происходило разложение вещества; однако электрохимическую часть этого вопроса я предполагаю связать в будущем докладе ¹ с более общими соображениями.

399. Другие вещества, которые нельзя было расплавить на стекле, расплавлялись с помощью лампы и паяльной трубки на платине, соединенной с одним полюсом батареи, а затем в них погружался провод, соединенный с другим полюсом. Этим путем хлорид натрия, сульфат натра, протоксид свинца, смесь карбонатов кали и натра и т. д. и т. д. обнаруживали точно такие же явления, как описанные выше: в жидком состоянии они проводили ток и разлагались, в твердом же состоянии, несмотря на весьма высокую температуру, они были изоляторами тока

¹ Г. Дэви еще в 1801 г. знал, что «безводная селитра, едкие кали и натр, расплавленные сильным нагреванием, являются проводниками гальванического электричества» (*Journal of the Royal Institution*, 1802, стр. 53), но он не имел представления об общем законе, который я стараюсь здесь развить. Замечательно, что одиннадцать лет спустя Дэви говорил: «Мы не знаем жидкостей, за исключением содержащих воду, которые могли бы служить средой, соединяющей металл или металлы гальванического прибора» (*Elements of Chemical Philosophy*), стр. 169.

батареи, даже в том случае, когда последняя состояла из четырех сосудов.

400. Иногда вещества помещались в небольшие изогнутые трубки из зеленого стекла; после расплавления вещества с обеих сторон трубки вводились внутрь платиновые полюсы (рис. 47). В таких случаях в основном наблюдались такие же результаты, как и вышеописанные, но получалось дальнейшее преимущество; а именно, в то время как вещества оказывались проводящими и претерпевали разложение, можно было наблюдать конечное распределение элементов.

Так, иодиды калия и свинца выделяли иод у положительного полюса, а у отрицательного — калий и свинец. Хлориды свинца и серебра давали хлор у положительного и металлы у отрицательного полюсов; селитра и хлорат калия выделяли кислород и т. д. у положительного и щелочь, или даже калий, у отрицательного полюса.

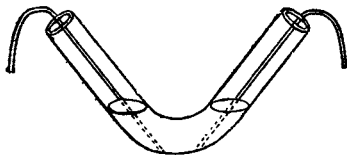


Рис. 47.

401. Для веществ, требующих для своего расплавления очень высоких температур, было испытано еще четвертое устройство. С одним полюсом батареи была соединена платиновая проволочка; конец ее для опытов с паяльной трубкой был изогнут в виде небольшого кольца, как это описано у Берцелиуса; небольшое количество соли, стекла или иного вещества расплавлялось на этом кольце с помощью обыкновенной паяльной трубки или, в некоторых случаях, даже с помощью гремучего газа, и когда капля, которая удерживалась кольцом на месте, вся насквозь оказывалась горячей и жидкой, к ней прикасались проводом от противоположного полюса батареи и наблюдали получаемые действия.

402. Ниже приведены различные вещества, принадлежащие к сильно разнящимся в химическом отношении группам; все они подчиняются этому закону. Перечень таких веществ можно было бы, несомненно, расширить до громадных размеров, но

у меня времени хватило лишь на то, чтобы подтвердить закон на достаточно большом числе примеров.

Прежде всего вода. Из окислов — поташ, протоксид свинца, сурьмяное стекло, протоксид сурьмы, окись висмута.

Хлориды калия, натрия, бария, стронция, кальция, магния, марганца, цинка, меди (прото-), свинца, олова (прото-), сурьмы, серебра.

Иодиды калия, цинка и свинца, протоиодид олова, периодид ртути, фторид калия, цианид калия, сульфо-цианид калия.

Соли. Хлорат кали; нитраты кали, натра, бария, стронция, свинца, меди и серебра; сульфаты натра и свинца, протосульфат ртути; фосфаты кали, натра, свинца, меди; фосфорное стекло или кислый фосфат кальция, карбонаты кали и натра в смеси и отдельно; бура, борат свинца, перборат олова, хромат кали, бихромат кали, хромат свинца, ацетат кали.

Сернистые соединения. Сернистая сурьма, сернистый калий, полученный восстановлением сульфата кали водородом, обыкновенный сернистый калий.

Силикат кали; минеральный хамелеон.

403. На примере тех веществ, которые перед расплавлением размягчаются, особенно интересно наблюдать, в какой именно стадии у них обнаруживается проводимость и до какой степени она повышается при достижении совершенно жидкого состояния. Так, при нагревании на стекле с помощью лампы борат свинца становился мягким, как патока, но не проводил электричества; он делался проводящим только после того, как с помощью паяльной трубки был доведен до яркокрасного каления. После полного расплавления он проводил электричество очень хорошо.

404. Я не стану отрицать, что в этих случаях размягчения увеличение проводимости отчасти вызывалось возрастанием температуры (432, 455), но у меня нет сомнений в том, что значительно большая часть действия обязана своим существованием влиянию уже доказанного общего закона, который в этих случаях вступал в силу не внезапно, а постепенно.

405. Следующие вещества не приобретали проводимости при переводе их в жидкое состояние: сера, фосфор, иодистая сера, периодид олова, аурипигмент, реальгар, ледяная уксусная кислота, смесь маргариновой и олеиновой кислот, искусственная камфара, кофеин, сахар, трупный воск, стеарин из кокосового масла, спермацет, камфара, нафталин, канифоль, сандараксовая смола, шеллак.

406. У перхлорида олова, хлорида мышьяка и гидратированного хлорида мышьяка в жидком состоянии нельзя было с помощью гальванометра обнаружить заметной проводимости; равным образом вещества эти не разлагались.

407. Некоторые из вышеупомянутых веществ замечательны как исключения из общего закона, справедливого в предыдущих случаях. К таковым относятся аурипигмент, реальгар, уксусная кислота, искусственная камфара, периодид олова, а также хлориды олова и мышьяка. Я буду иметь случай упомянуть о них в докладе об электрохимическом разложении.

408. С помощью пламени гремучего газа (401) борная кислота была доведена до наивысшей возможной температуры, но, тем не менее, не приобрела проводимости, достаточной для действия на гальванометр, а также не претерпела заметного разложения. Она казалась таким же плохим проводником, как воздух. Зеленое бутылочное стекло, подогретое таким же образом, не приобретало проводимости, ощутимой для гальванометра. Сильно разогретый флинтгласс являлся слегка проводящим и разлагался, а при повышении содержания в стекле поташа или же окиси свинца действия усиливались. Сорта стекла, содержащие борную кислоту, с одной стороны, и окиси свинца или калия, с другой, ясно обнаруживали приобретаемую ими при расплавлении проводимость и сопровождающее ее разложение.

409. Мне очень хотелось произвести основной опыт с серной кислотой удельного веса около 1.783 и с таким содержанием воды, которое делает смесь способной кристаллизоваться при 40° по Фаренгейту; однако, кислота, которую оказалось

возможным получить, была неподходящего сорта и не давала уверенности в том, что весь раствор будет замерзать даже при 0° по Фаренгейту. Достаточно разницы в одну десятитысячную часть против необходимого количества воды, чтобы при охлаждении всего раствора отделилась часть незамерзающей жидкости и чтобы жидкость, оставшаяся в промежутках твердой массы и смачивающая плоскости раздела, препятствовала правильному наблюдению явлений, наступающих при полном затвердении и при последующем расплавлении.

410. У веществ, приобретающих проводимость при сжижении, степень сообщаемой им таким путем способности является, вообще говоря, очень высокой. Вода представляет собой как раз то вещество, для которого приобретаемое при этом свойство оказывается наиболее слабым. В различных окисях, хлоридах, солях и т. д. и т. д. оно проявляется в значительно более высокой степени. У меня не было времени измерить в этих случаях проводимость, но она превосходит проводимость чистой воды, повидимому, в несколько сот раз. Увеличение проводимости воды, сообщаемое ей, как известно, при добавлении солей, по всей вероятности, в значительной степени зависит от высокой проводимости этих веществ в жидком состоянии; в последнее они превращаются в этом случае посредством не нагревания, а растворения в воде.¹

411. Является ли проводимость этих приведенных в жидкое состояние тел следствием их разложения или нет (413), а также, являются ли эти два действия проводимости и разложения органически связанными друг с другом, — это не может повлиять на вероятность и правильность предыдущего утверждения.

412. Это *всеобщее приобретение проводимости* телами при самом переходе их из твердого в жидкое состояние представляет собой новое удивительное свойство, существование которого, насколько мне известно, раньше не подозревалось; свойство это,

¹ Некоторое сомнение по этому поводу высказано в п. 1356. Дек. 1838 г.

повидимому, тесно связано с некоторыми свойствами и взаимоотношениями частиц материи, на которые я теперь вкратце укажу.

413. Почти во всех наблюдавшихся до сих пор случаях, которые подчиняются этому закону, исследованные вещества представляли собой не просто сложные тела, но тела, содержащие такие элементы, о которых известно, что они располагаются у противоположных полюсов; кроме того, тела эти обладают способностью *разлагаться* под действием электрического тока. При наличии проводимости возникало разложение; когда разложение прекращалось, проводимость также исчезала; поэтому возникает вполне законный и важный вопрос, не является ли самая проводимость везде, где этот закон имеет силу, следствием неспособности к разложению, а самого процесса разложения? И к этому вопросу можно присоединить другой, а именно: не является ли факт уничтожения проводимости при затвердевании просто следствием закрепления частиц на их местах под влиянием агрегации, препятствующей их окончательному разделению в той форме, которая необходима для разложения?

414. Однако, с другой стороны, имеется одно вещество (а могут найтись и другие), именно периодид ртути, которое, будучи, подобно другим, подвергнуто испытанию (400), оказалось изолятором в твердом состоянии и приобретало проводимость в жидком, но, тем не менее, в последнем случае, повидимому, не претерпевало разложения.

415. С другой стороны, имеются вещества, содержащие в себе такие элементы, от которых можно было бы ожидать, что они расположатся у противоположных полюсов гальванического элемента; таким образом эти вещества являются подходящими в данном отношении для разложения; тем не менее, они оказывались непроводящими. Сюда относятся иодистая сера, периодид цинка, перхлорид олова, хлорид мышьяка, гидратированный хлорид мышьяка, уксусная кислота, аурипигмент, реальгар, искусственная камфара и т. д. На основании этих фактов, пожалуй, можно было бы предположить, что разложение обуславливается проводимостью, а не наоборот. Однако истинное соот-

ношение между разложением и проводимостью в телах, подчиняющихся тому общему закону, установление которого является целью настоящего доклада, может быть получено удовлетворительным образом только на основании значительно более обширного числа наблюдений, чем те, которые я до сих пор имел возможность представить.¹

416. Согласно этому закону, соотношение между электропроводностью и теплопроводностью представляется весьма замечательным; оно, повидимому, предполагает наличие естественной связи между этими двумя явлениями. По мере того как твердое вещество становится жидким, оно почти совершенно теряет способность проводить тепло, но в значительной степени приобретает способность проводить электричество, а при возвращении обратно в твердое состояние оно приобретает теплопроводность, но утрачивает электропроводность. Таким образом, если эти свойства и не являются несовместимыми, то они, тем не менее, находятся в весьма резком противоречии друг к другу, поскольку одно из них утрачивается тогда, когда приобретает другое. Может быть, есть надежда в дальнейшем понять физические основания этого весьма необычного соотношения между двумя проводимостями, каждая из которых, повидимому, непосредственно связана с корпускулярным строением рассматриваемых веществ.

417. Приобретение при расплавлении проводимости и способности разлагаться сулит новые возможности и значительное облегчение в отношении гальванического разложения. Так, например, такие вещества, как окиси, хлориды, цианиды, сульфонианиды, фториды, некоторые стеклообразные смеси и т. д. и т. д., могут быть подвергнуты действию гальванической батареи в новых условиях; и действительно, мне уже удалось с помощью десяти пар пластин разложить поваренную соль, хлорид магния, буру и т. д. и т. д. и получить натрий, магний, бор и т. д. и т. д. в свободном состоянии.

¹ См. п. 679 и т. д. Дек. 1838 г.

РАЗДЕЛ 10

Общие соображения об электрической проводимости ¹

418. Я не намерен входить здесь в рассмотрение всех обстоятельств, связанных с явлением проводимости, и приведу лишь, в дополнение к основному запасу сведений, относящихся к этому разделу учения об электричестве, некоторые факты и наблюдения, выявившиеся за время моих недавних исследований.

419. В первую очередь я стремился получить некоторое представление о проводимости льда и твердых солей по отношению к электричеству высокого напряжения (392), для того чтобы можно было произвести сопоставление между самой проводимостью и тем значительным увеличением ее, которое наступает при расплавлении. С этой целью была приведена в хорошее состояние большая электрическая машина (290); кондуктор ее был соединен с чувствительным электрометром (с золотыми листочками), а также и с введенной в лед платиной (383); оловянный же сосуд был соединен с разрядным проводом (292). Когда машина вращалась с умеренной скоростью, золотые листочки едва расходились, при быстром вращении удавалось раздвинуть их почти на два дюйма. В нашем случае оловянный сосуд имел в ширину пять восьмых дюйма; и так как после опыта оказывалось, что платиновая пластина находится очень близко к середине льда, то средняя толщина последнего была равна пяти шестнадцатым дюйма, а площадь соприкосновения его с оловом и платиной — четырнадцать квадратным дюймам (384). Тем не менее, при этих условиях, даже при напряжении, достаточном для того, чтобы раздвинуть листочки на два дюйма, лед с трудом пропускал то небольшое количество электричества, которое была в состоянии давать машина (371). Не удивительно поэтому, что лед оказался не в состоянии пропустить от батареи сколько-нибудь

¹ В качестве примечания к этому разделу см. п. 983 в восьмой серии и связанные с этим выводы. Дек. 1838 г.

заметную долю электричества (384), которое, хотя по количеству и превосходило почти что в бесконечное число раз электричество от машины, но обладало столь низким напряжением, что не было ощутимо для электрометра.

420. В другом опыте оловянный сосуд имел в ширину всего четыре восьмых дюйма, а в дальнейшем было установлено, что помещенная во льду платина находилась на расстоянии менее одной восьмой дюйма от одной из стенок оловянного сосуда. При введении последнего в цепь электрического тока от машины (419), удавалось получить расхождение золотых листочков, но не более как на полдюйма. Незначительная толщина льда благоприятствовала проведению электричества и позволяла одному и тому же количеству электричества проходить за один и тот же промежуток времени, несмотря на значительно более низкое напряжение.

421. В цепь электрического тока от машины был введен расплавленный и потом охлажденный иодид калия. Его имелось два куска, примерно в четверть дюйма толщиной каждый, представлявшие току поверхности примерно по половине квадратного дюйма каждая. Куски эти были помещены на платиновых пластинах, одна из которых была соединена с машиной и электрометром (419), а другая — с разрядным проводом; в то же время тонкая платиновая проволочка соединяла оба куска, опираясь на них своими двумя концами. При вращении машины оказывалось возможным получить расхождение листочков электрометра приблизительно на две трети дюйма.

422. Поскольку платиновая проволочка касалась иодида только в отдельных точках, то факты говорят о том, что данная соль является значительно лучшим проводником, чем лед. Поскольку, однако, листочки электрометра расходились, то очевидно также, с каким трудом это тело в твердом состоянии проводит даже небольшие количества электричества, производимые машиной, если сравнить это с той легкостью, с которой оно, будучи в жидком состоянии, передает огромные количества электричества при очень низких напряжениях.

423. Чтобы подкрепить эти результаты другими, полученными с помощью гальванического прибора, была хорошо заряжена батарея, состоящая из ста пятидесяти [пар] пластин, площадью по четыре квадратных дюйма; батарея действовала прекрасно; она давала сильный удар, разряд между медными электродами мог *длительно существовать* при длине воздушного промежутка в четыре десятых дюйма, и можно было добиться расхождения золотых листочков в электрометре, которым мы пользовались ранее, почти на четверть дюйма.

424. Сосуд, которым мы пользовались для льда (420), имел в ширину полдюйма; так как площадь соприкосновения льда с оловом и платиной равнялась почти четырнадцати квадратным дюймам, то все в целом было эквивалентно пластинке льда с площадью полного контакта в семь квадратных дюймов, а толщиной всего в четверть дюйма. В течение всего опыта сосуд находился в охлаждающей смеси.

425. Порядок расположения в цепи электрического тока был следующий. Положительный полюс батареи был с помощью проволоки соединен с платиновой пластинкой во льду; платина соприкасалась со льдом, лед — с оловянной оболочкой, а оболочка — с проволокой, соединенной с станиолем; на котором лежал один конец согнутой платиновой проволоочки (312); другой, служивший для разложения конец этой проволоки опирался на смоченную раствором иодида калия (316) бумагу; бумага была гладко наложена на платиновую лопаточку, соединенную с отрицательным полюсом батареи. Вся часть установки между сосудом со льдом и служившим для разложения концом проволоочки включительно была изолирована, так что через проволочку могло проходить только то электричество, которое прошло через сосуд.

426. При таких условиях было обнаружено, что под служившим для разложения платиновым острием медленно проступало бледнобурое пятно иода, что указывает на то, что лед в состоянии проводить небольшую часть электричества, выделяемого гальванической батареей, заряженной до той степени напря-

жения, которую показывал электрометр. Совершенно очевидно, однако, что, несмотря на огромное количество электричества, которое в состоянии давать батарея, последняя в данных условиях являлась значительно худшим прибором, чем машина; в самом деле, машина, обладая значительно более высоким напряжением, т. е. будучи способна раздвигать листочки электрометра на полдюйма или более (419, 420), могла двигать через лед столько электричества, сколько он был в состоянии уводить.

427. Проволочка и раствор иодида калия были в дальнейшем заменены весьма чувствительным гальванометром (205); последний был почти полностью астатическим; стрелка его качалась в обе стороны в течение шестидесяти трех биений часов, дающих в минуту сто пятьдесят биений. Попрежнему обнаруживалось, что ток весьма слаб; стрелка гальванометра отклонялась, но приходилось от трех до четырех раз (297) замыкать и размыкать контакт, прежде чем наблюдалось вполне определенное действие.

428. Я удалил гальванометр, а к концам проводников присоединил две платиновые пластинки; между ними я поместил свой язык так, чтобы весь пропущенный льдом заряд батареи имел возможность идти через язык. Пока я стоял на каменном полу, я ощущал удар и т. д., но когда был изолирован, то не испытывал никакого ощущения. Я полагаю, что лягушка вовсе бы не реагировала или реагировала бы лишь очень слабо.

429. В дальнейших опытах лед заменялся другими твердыми веществами, которые помещались для этой цели под концом служившей для разложения проволочки, на место раствора иодида калия (425). Так, например, на соединенную с отрицательным полюсом батареи лопаточку был положен кусок сухого иодида калия, а на него было помещено острие проволочки, соединенной с положительным полюсом батареи. Очень медленно появлялось бурое пятно иода, что указывало на прохождение небольшого количества электричества, так что в этом отношении результаты совпадали с теми, которые получались при опы-

тах с электрической машиной (421). Когда одновременно с иодидом калия в цепь был введен гальванометр, то лишь с трудом удавалось обнаружить действие на него тока.

430. Достаточно было ввести в цепь кусок предварительно расплавленной и затвердевшей поваренной соли, чтобы почти полностью уничтожить действие на гальванометр. Расплавленный и охлажденный хлорид свинца производил такое же действие. Проводимость этих веществ в *жидком состоянии* очень высока (395, 402).

431. Таким образом действия, получаемые при пользовании обычной машиной и гальванической батареей, находятся в согласии с изложенным в настоящем докладе законом (394), а также с высказанным мною в третьей серии настоящих исследований мнением о тождественности электричеств, происходящих от разных источников (360).

432. Известно, что тепло повышает проводимость многих веществ, особенно для электричества высокого напряжения. Недавно я натолкнулся на необычный случай такого рода (в отношении электричества низкого напряжения, т. е. электричества гальванического элемента), который находится в прямом противоречии с влиянием тепла на металлические тела, как оно наблюдалось и описано сэром Г. Дэви.

433. Веществом, дающим это действие, является сернистое серебро. Для изготовления его сплавлялась смесь осажденного серебра и сублимированной серы; с поверхности сплавленной массы с помощью напильника снималась пленка серебра; сернистое серебро превращалось в порошок, смешивалось с новым количеством серы и вторично расплавлялось без доступа воздуха в трубке из зеленого стекла. Если еще раз снять поверхностный слой помощью напильника или ножа, сернистое соединение можно считать совершенно свободным от несвязанного серебра.

434. Кусок такого сернистого соединения в полдюйма толщиной был помещен между платиновыми поверхностями, которыми заканчивались полюсы гальванической батареи, состояв-

шей из двадцати пар пластин, площадью по четыре квадратных дюйма; в цепь был включен также гальванометр; тогда стрелка последнего слегка отклонялась, указывая на наличие слабой проводимости. Когда я пальцами прижимал сернистое соединение к платиновым полюсам, то проводимость возрастала, поскольку вся система согревалась. Когда под сернистым соединением между полюсами ставилась лампа, проводимость быстро возрастала с нагреванием; в конце концов стрелка гальванометра перескакивала в некоторое определенное положение, и сернистое серебро оказывалось проводящим, как какой-нибудь металл. Если удалить лампу и позволить теплу упасть, наблюдаются обратные действия; стрелка сперва начинала слегка колебаться, затем постепенно теряла свое поперечное направление и, наконец, возвращалась в положение, очень близкое к тому, которое она должна занимать при отсутствии тока через гальванометр.

435. Иногда, при хорошем контакте сернистого соединения с платиновыми электродами, при свежезаряженной батарее и не слишком низкой начальной температуре, одного уже тока электричества от батареи оказывалось достаточно для повышения температуры сернистого серебра, и тогда без всякого нагревания извне происходило повышение одновременно температуры и проводимости до тех пор, пока охлаждающее влияние воздуха не ставило этому предела. В подобных случаях для того, чтобы показать обратный ход явлений, приходилось нарочно охлаждать всю систему.

436. Иногда также действие прекращалось само собой, и его не удавалось возобновить до тех пор, пока сернистое серебро не прикладывалось к положительному полюсу свежей поверхностью. Это явление обусловлено особыми последствиями разложения, к которым я буду иметь случай вернуться в отделе, посвященном электрохимическому разложению; его удавалось избежать, вставляя концы двух кусков платиновой проволоки в противоположные концы некоторого количества сернистого серебра, расплавленного в стеклянной трубке, и помещая весь прибор между полюсами батареи.

437. Горячее сернистое серебро проводит достаточно хорошо и может, подобно металлу, давать яркую искру с древесным углем и т. д. и т. д.

438. Природное серое сернистое серебро, равно как и красная серебряная руда, давали такие же явления. Природное роговое серебро обнаруживало такие же явления, как и искусственное сернистое соединение.

439. Я не знаю ни одного вещества, которое, подобно сернистому серебру, может в горячем состоянии сравниться с металлами в отношении проводимости электричества низкого напряжения и у которого, наряду с этим, в отличие от металлов, проводимость при охлаждении уменьшается, тогда как у металлов она, наоборот, увеличивается. Однако, если поискать, то, вероятно, можно будет найти немало таких веществ.¹

440. Первичное сернистое железо, природное сверхсернистое железо, мышьяковисто-сернистое железо, природная желтая сернистая медь и железо, серая искусственная сернистая медь, искусственный сернистый висмут и искусственное серое сернистое олово — все они более или менее проводят ток гальванической батареи в холодном состоянии, причем некоторые из них, подобно металлам, дают искры, а другие неспособны давать такое сильное действие. В нагретом состоянии они, повидимому, проводят не лучше, чем до того, но у меня не было времени подробно исследовать этот вопрос. Почти все эти вещества сильно нагреваются при прохождении через них тока и представляют в этом отношении некоторые весьма интересные явления. Сернистая сурьма заметно не проводит тока одинаково в горячем и в холодном состоянии, но принадлежит к числу тел, приобретающих проводимость при плавлении (402). Сернистое серебро, а может быть и некоторые другие вещества, разлагается, когда находится в твердом состоянии, но явлениям такого разложения будет отведено надлежащее место в последующих сериях настоящих исследований.

¹ По этому вопросу см. теперь пп. 1340, 1341. Дек. 1838г.

441. Несмотря на крайнее несходство между сернистым серебром и газами или парами, я не могу удержаться от подозрения, что тепло на них действует одинаково, так что их следует отнести к одному и тому же классу проводников электричества, хотя и с теми значительными расхождениями в степени проводимости, которые обнаруживаются при обычных условиях. При нагревании газов их проводимость в отношении как обыкновенного, так и гальванического электричества возрастает (271); и если бы мы газы сжимали и одновременно их сгущали, то, по всей вероятности, добились бы еще дальнейшего увеличения их проводимости. Каньяр де ля Тур (Cagnard de la Tour) показал, что некоторые вещества, скажем воду, можно с помощью тепла так расширить, когда они находятся в жидком, и так сжать, когда они находятся в газообразном состоянии, что оба эти состояния будут совпадать в одной точке, и переход из одного состояния в другое будет настолько постепенным, что нельзя будет провести между ними границы раздела;¹ в действительности эти оба состояния сольются как бы в одно; это единое состояние в отношении некоторых свойств и соотношений представляет в различное время количественные различия, и притом столь значительные, что при обычных условиях они эквивалентны двум различным состояниям.

442. В настоящее время я принужден думать, что в той точке, где жидкое и газообразное состояние совпадают, проводящие свойства для обоих состояний оказываются одинаковыми, но они ослабляются, когда вследствие устранения необходимого давления имеет место расширение вещества с переходом в более разреженную форму; при этом, однако, как и следовало ожидать, остающаяся незначительная проводимость сохраняет способность возрастать под влиянием тепла.

443. Я позволю себе привести следующий перечень явлений электропроводности тел, но боюсь, что опустил некоторые существенные положения.²

¹ *Annales de Chimie*, XXI, стр. 127, 178.

² По этому вопросу см. теперь пп. 1320—1342. *Дек. 1838 г.*

444. Все тела, от металлов до лака и газов, проводят электричество одинаковым образом, но в очень различной степени.

445. При нагревании проводимость одних веществ сильно увеличивается, а других уменьшается; при этом, однако, не обнаруживается никаких существенных электрических различий ни в веществах, ни в изменениях, вызываемых прохождением электричества.

446. Обширный класс веществ, являющихся в твердом состоянии изоляторами для электричества низкого напряжения, в жидком состоянии свободно проводят электричество и тогда им разлагаются.

447. Имеется, однако, множество жидких веществ, которые заметно не проводят электричества такого низкого напряжения; имеются вещества, которые его проводят, но не разлагаются; жидкое состояние не является существенным условием для разложения.¹

448. До сих пор открыто всего одно вещество,² которое, изолируя гальванический ток в твердом состоянии и проводя его в жидком состоянии, в последнем случае не разлагается (414).

449. В настоящее время нельзя провести строгого электрического различия в проводимости между веществами, которые считаются элементами, и теми, которые известны, как химические соединения.

Королевский институт.

15 апреля 1833 г.

¹ См. следующие серии настоящих экспериментальных исследований.

² Вполне возможно, что в дальнейшем, при постановке более точных опытов, это исключение отпадет (см. по этому вопросу пп. 1340, 1341. Дек. 1838 г.).

ПЯТАЯ СЕРИЯ

Раздел 11. Об электрохимическом разложении. Глава I. Новые свойства электрохимического разложения. Глава II. Влияние воды на электрохимическое разложение. Глава III. Теория электрохимического разложения.

Поступило 18 июня · доложено 20 июня 1833 г.

РАЗДЕЛ 11

Об электрохимическом разложении ¹

450. В одной из предыдущих серий настоящих исследований (265) я доказывал — и, по крайней мере, с моей точки зрения, удовлетворительно — тождественность электричеств, происходящих из различных источников, и особенно останавливался на доказательствах тождественности электричеств, получаемых с помощью обычной электрической машины и с помощью гальванической батареи.

451. Большое различие между электричествами, полученными от этих двух источников, заключается в весьма высокой напряженности, до которой может быть доведено то небольшое количество электричества, которое получается с помощью машины, и в тех огромных количествах (371, 376), в которых может быть получено электричество сравнительно низкой напряженности от гальванической батареи. Поскольку, однако, действия как магнитного, химического, так и всякого другого рода по суще-

¹ См. примечание к п. 1047, восьмая серия. Дек. 1838 г.

ству одинаковы для обоих электричеств (360), то представлялось очевидным, что мы могли бы судить о способе действия последнего по поведению первого. И я считал себя вправе заключить, что, если пользоваться электричеством такого напряжения, как электричество, доставляемое машиной, для получения и изучения электрохимического разложения, то это указало бы некоторые новые условия данного действия, способствовало бы развитию новых взглядов на внутреннее перераспределение и изменение разлагаемых веществ и, может быть, дало бы нам в руки могущественные средства для работы над веществом, до настоящего времени еще не разложенным.

452. Чтобы более четко выделить значение отдельных частей настоящей серии, я разделяю всю серию на несколько глав.

ГЛАВА I

Новые свойства электрохимического разложения

453. Электричество, получаемое с помощью машины, хотя в весьма малом количестве, способно благодаря своему напряжению проходить любые расстояния в воде, растворах или других веществах, принадлежащих к разряду проводников, и притом с той скоростью, с какой оно производится, а потому в отношении количества — с той же скоростью, с какой оно бы проходило через значительно более короткие участки того же самого проводящего вещества. В случае применения гальванической батареи дело обстоит совсем не так, и проходящий ток электричества, даваемого ею, претерпевает серьезное уменьшение в любом теле, если взять значительную длину его, особенно же в таких веществах, как вышеупомянутые.

454. Я пытался использовать эту способность передачи тока электричества через любую длину проводника для исследования происходящего в разлагающемся веществе переноса элементов в противоположные стороны по направлению к полюсам. Общий вид служившей для этих опытов установки был описан выше (312, 316), равно как и специальный опыт (319), в котором кусок лакмусовой и кусок куркумовой бумаги были сложены

вместе и смочены раствором сульфата натра. Конец провода от машины, являющийся положительным полюсом, был положен на лакмусовую бумажку, а приемный конец от разрядного провода (292, 316), являющийся отрицательным полюсом, — на куркумовую бумажку; очень небольшого числа оборотов машины оказывалось достаточно для того, чтобы показать образование кислоты около первого и щелочи около последнего, точно так же, как это имеет место в случае гальванического тока.

455. Затем лакмусовая и куркумовая бумажки были положены каждая на отдельной стеклянной пластинке и соединены посредством изолированного шнура в четыре фута длиною, смоченного тем же раствором сульфата натра; концы служившего для разложения провода были, как и ранее, положены на эти бумажки. При вращении машины выделение кислоты и щелочи обнаруживалось так же, как в первом случае, и с той же легкостью, несмотря на то, что места их появления находились друг от друга на расстоянии четырех футов. Под конец был взят кусок шнура в семьдесят футов длиною. Он был изолирован в воздухе посредством шелковых подвесов, так что электричество проходило через всю его длину; разложение происходило так же, как и в первых случаях; щелочь и кислота появлялись у двух концов на положенных им местах.

456. Затем для того, чтобы установить, наблюдается ли какое-нибудь ослабление разлагающего действия при таком увеличении размеров смоченного шнура и подвергаемого разложению вещества, какое описано ранее, были произведены опыты как с сульфатом натра, так и с иодидом калия; однако при равном числе оборотов машины щелочное пятно обнаруживало одну и ту же интенсивность окраски, независимо от того, с какой бумажкой находился в контакте присоединенный к разрядному проводу конец проволоки: с той куркумовой бумажкой, которая касалась главного кондуктора, или с другой куркумовой бумажкой, соединенной с ним при посредстве семидесяти футов шнура. Такие же результаты получались и около другого служившего для разложения провода, независимо от того, что

я брал для опыта: соль или иодид; было окончательно доказано, что такое сильное увеличение расстояния между полюсами не оказывало никакого влияния на количество разложившегося вещества, если только в обоих случаях проходило одно и то же количество электричества (377).

457. Затем отрицательный конец, соединенный с разрядным проводом, куркумовая бумажка и шнур были убраны; положительный конец оставался на лакмусовой бумажке; последней я касался смоченным шнуром, который держал в руке. Небольшое число оборотов машины вызывало на положительном конце такое же быстрое выделение кислоты, как и ранее.

458. Вместо того, чтобы держать смоченный шнур рукой, я подвешивал его конец в воздухе с помощью стекла. При вращении машины электричество двигалось от кондуктора через конец проводника в лакмусовую бумажку, а отсюда — через шнур в воздух, так что, как и в последнем опыте, имелся всего лишь один металлический полюс; тем не менее, выделение кислоты шло так же свободно, как и в каждом из первых случаев.

459. При повторении всех этих опытов с электричеством от отрицательно заряженного проводника получались соответствующие действия, независимо от того, сколько проволок я брал для разложения: одну или две. Результаты всегда одинаковы, имея в виду направление тока.

460. Эти опыты были видоизменены таким образом, что могло проявляться действие только от одного металлического полюса, но не того, который был соединен с машиной. Куркумовая бумажка была смочена раствором сульфата натрия, положена на стекло и соединена с разрядным проводом (292) при посредстве служившей для разложения проволоки; с нее свешивался кусок влажного шнура, нижний конец которого находился против острия, соединенного с главным положительным кондуктором машины. После нескольких оборотов машины около того конца разрядного провода, который лежал на куркумовой бумажке, сейчас же появлялась щелочь. Соответствующие явления имели место и у отрицательного кондуктора машины.

461. Этих примеров более чем достаточно для того, чтобы показать, что для электрохимического разложения не требуется одновременного действия двух металлических полюсов, ибо действие всего одного полюса уже влечет за собой разложение, причем к полюсу перемещается тот или другой из освобождающихся элементов в зависимости от того, каков он: положительный или отрицательный. Размышляя над путем, по которому следует другой элемент, и над его окончательным расположением, я почти не сомневался в том, что найду, что он направился к другому концу, и что самый воздух действовал как полюс. Это предположение было полностью подтверждено следующим образом.

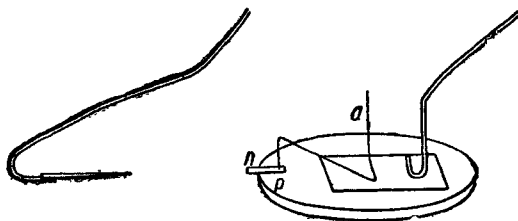


Рис. 48.

462. Кусок куркумовой бумажки, не более 0.4 дюйма длиной и 0.5 дюйма шириной, был смочен сульфатом натра и помещен на край стеклянной пластинки напротив острия (приблизительно на расстоянии двух дюймов от него), соединенного с разрядным проводом (рис. 48); лежащий на той же стеклянной пластине листок станиоля был соединен с машиной, а также посредством служившей для разложения проволоки *a* — с куркумовой бумажкой (312). Затем машина была приведена в действие, причем положительное электричество входило в куркумовую бумажку в точке *p*, а выходило у конца *n*. После сорока или пятидесяти оборотов машины конец *n* был исследован и два кончика, или угла его были найдены сильно окрашенными благодаря присутствию свободной щелочи (рис. 49).

463. Затем был взят подобный же кусок лакмусовой бумаги n (рис. 50); он был смочен в растворе сульфата натра и укреплен на конце a разрядного провода, а конец его был поставлен против острия p , соединенного с кондуктором машины. После кратковременной работы машины на обоих обращенных к острию углах (бумаги), т. е. на обоих углах, получавших электричество из воздуха, образовалась кислота. Были приняты все меры предосторожности, чтобы предотвратить образование этой кислоты проходящими через воздух искровыми и кистевыми разрядами (322); эти предосторожности и сопровождающие их основные факты достаточно убедительно доказывают, что кислота образовалась действительно в результате электрохимического разложения (466).



Рис. 49.

464. Затем был взят длинный кусок куркумовой бумаги, широкий на одном и суживающийся на другом конце; он был смочен раствором соли и соединен непосредственно с кондуктором машины, так что его суживающийся конец приходился против

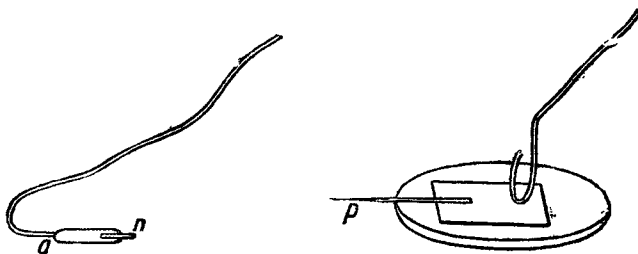


Рис. 50.

острия на разрядном проводе. При вращении машины на этом конце образовалась щелочь; и если даже убрать разрядный провод и предоставить электричеству рассеиваться и уноситься через воздух, щелочь, тем не менее, образуется в тех местах, где электричество выходит из куркумовой бумажки.

465. Далее была взята такая схема, при которой не допускалось металлического соединения с разлагаемым веществом, и

оба полюса (если их можно еще так называть) состояли только из воздуха. Кусок куркумовой бумаги *a* (рис. 51) и кусок лакмусовой бумаги *b* были смочены в растворе сульфата натрия, сложены вместе таким образом, чтобы получился один влажный заостренный проводник, и укреплены воском между двумя остриями игл, одна из которых *p* была соединена с помощью провода с кондуктором машины, а другая *n* — с разрядным проводом. Во всех случаях расстояние между остриями было равно примерно половине дюйма, причем положительное острие *p* находилось против лакмусовой, а отрицательное *n* — против куркумовой бумажки. Затем машину вращали в течение некоторого времени, после чего быстро делалось очевидным разло-

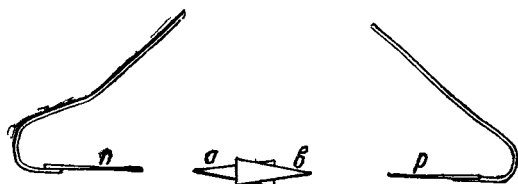


Рис. 51.

жение, так как конец лакмусовой бумажки *b* краснел от выделившейся там кислоты, а конец куркумовой бумажки *a* — от подобного же и одновременного выделения щелочи.

466. Бумажный проводник был перевернут таким образом, чтобы лакмусовый конец отдавал положительное электричество, а куркумовый его получал; тогда при вращении машины в течение короткого времени оба красных пятна исчезали; а так как при продолжении действия машины красное пятно на лакмусовом конце не появлялось вновь, то этим доказывается, что в первом случае (463) явление вызывалось не действием кистевых или просто электрических разрядов, влекущих за собой образование азотной кислоты из воздуха (322).

467. Если сложенные вместе лакмусовую и куркумовую бумажки рассматривать в этом опыте как один проводник,

независимый от машины и разрядного провода, и рассматривать окончательные местоположения образующихся элементов по отношению к этому проводнику, то окажется, что кислота собирается около *отрицательного*, или приемного конца или полюса прибора, а щелочь — около *положительного*, или отдающего конца.

468. На стеклянные пластинки были положены одинаково заостренные концы лакмусовой и куркумовой бумаги; они были соединены шнуром в шесть футов длиною, причем и шнур и бумага были смочены раствором сульфата натрия; острие иглы, соединенной с машиной, было помещено против конца лакмусовой бумажки, а острие другой иглы, соединенной с разрядным проводом, — против куркумовой бумажки. При действии

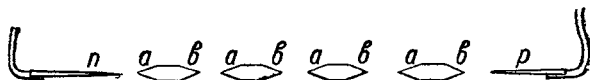


Рис. 52.

машины на лакмусовой бумажке появлялась кислота, а на куркумовой — щелочь; однако последней было не так много, как ранее, так как значительная часть электричества стекала со шнура в воздух, что уменьшало количество электричества, разряжающегося у куркумового конца.

469. В заключение четыре небольших сложных проводника, состоящих из лакмусовой и куркумовой бумажек (рис. 52), смоченных раствором сульфата натрия, были расположены в ряд на стеклянных палочках, на небольшом расстоянии друг от друга между остриями *p* и *n* машины и разрядного провода, так что электричество могло последовательно проходить через них, входя в них через лакмусовые концы *bb* и выходя через куркумовые концы *aa*. Вращая машину осторожно, чтобы избежать искровых и кистевых разрядов (322), я вскоре получил явное наличие разложения в каждом из смоченных проводников, так как все лакмусовые концы показывали

присутствие свободной кислоты, а все куркумовые — свободной щелочи.

470. При опытах с растворами иодида калия, ацетата свинца и т. д. были получены подобные же действия; поскольку, однако, все они находятся в согласии с вышеописанными результатами, я воздерживаюсь от подробного их описания.

471. Эти случаи электрохимического разложения по своей природе совершенно тождественны с явлениями, производимыми при обычных условиях гальванической батареей, несмотря на значительные различия, потому что полюсы в одном случае имеются, а в другом — их нет; и, во всяком случае, те места цепи, которые обычно называются полюсами, имеют совершенно различный характер; то же относится к окончательному расположению элементов, освобождающихся у пограничных наэлектризованных поверхностей (467). В то же время они указывают на внутренние реакции частей, претерпевающих разложение, и, повидимому, показывают, что сила, действующая при разделении элементов, *проявляется* там, а не у полюсов. Однако я отложу на короткое время (493, 518) рассмотрение этого вопроса, чтобы иметь возможность предварительно рассмотреть другое выясняющееся условие электрохимического разложения.¹

¹ Из примечания к статье сэра Гэмфри Дэви в *Philosophical Transactions* за 1807 г., стр. 31, я узнал (уже после того, как настоящие результаты были получены и описаны), что этот ученый при повторении опытов Волластона с разложением воды посредством обыкновенного электричества (327, 330) пользовался установкой, довольно сходной с некоторыми из описанных мною установок. Он погружал защищенное платиновое острие, соединенное с машиной, в дистиллированную воду и рассеивал электричество из воды в воздух посредством смоченных хлопчатобумажных нитей. Он утверждает, что таким путем он получил кислород и водород *отдельно друг от друга*. Если бы я знал об этом опыте, мне следовало бы сослаться на него в одной из прежних серий настоящих исследований (342), однако опыт этот не устраняет ни одного из моих возражений против применения прибора Волластона для различения истинного химического действия (331).

ГЛАВА II

Влияние воды на электрохимическое разложение

472. Многие ученые придерживаются того мнения, что присутствие воды существенно для электрохимического разложения, а также для выделения электричества в самой гальванической батарее. Поскольку тот элемент, в котором происходит разложение, является лишь одним из элементов батареи, именно таким, в который в целях испытания вводятся специальные вещества, то, весьма вероятно, то, что является существенным условием в одном случае, будет в большей или меньшей степени таково же и в другом. Мнение, что для разложения необходима вода, основано, по всей вероятности, на заявлении, сделанном сэром Гемфри Дэви, что «неизвестны жидкости, за исключением таких, которые содержат воду, которыми бы можно было пользоваться в качестве среды, соединяющей металлы или металл гальванического прибора». ¹ И далее: «Когда приведенное посредством нагревания в жидкое состояние вещество, состоящее из воды, кислорода и воспламеняющегося или металлического вещества, подвергается действию этих проводов, то возникают подобные же явления [разложения]». ²

473. Неправильность этого взгляда, я полагаю, была доказана другими учеными, хотя я и не знаю, на что сослаться для его опровержения. Сам сэр Гемфри Дэви говорил в 1801 г.,³ что безводная селитра, едкое кали и едкий натр, когда они сильным нагреванием доведены до жидкого состояния, являются проводниками гальванизма; однако он, повидимому, считал, что эти вещества, по крайней мере селитра, не претерпевают разложения, так как вышеуказанное утверждение он делал также 11 лет спустя. В 1826 г. он указал также, что тела, не содержащие воды, как расплавленный массикот и хлорат кали, способны, в сочетании с платиной и цинком, образовать мощные

¹ Elements of Chemical Philosophy, стр. 169 и т. д.

² Там же, стр. 144, 145.

³ Journal of the Royal Institution, 1802, стр. 53.

электродвижущие цепи; ¹ однако здесь он говорит о выделении электричества в элементе, а не о действии его после выделения; его слова отнюдь не означают, что его первые ясные заявления относительно *разложения*, по его мнению, нуждаются в каких-либо поправках.

474. Как на окончательное решение вопроса я могу указать на предыдущую серию настоящих экспериментальных исследований (380, 402), где показано, что существуют сотни тел, которые в этом отношении оказывают такое же влияние, как и вода; что среди двойных соединений эффективными оказались окислы, хлориды, иодиды и даже сернистые соединения (402), и что среди более сложных соединений в большом количестве встречались соединения той же эффективности (402) — цианиды, соли и др.

475. Таким образом вода в этом отношении является *не единственным и существенным* веществом, а лишь одним из представителей очень многочисленного класса веществ; и из этого класса она является одним из наихудших в смысле своей способности облегчать проводимость и претерпевать разложение. Основания, в силу которых вода получила на некоторое время столь исключительную и столь мало заслуженную ею репутацию, очевидны и заключаются в необходимости жидкого состояния вообще (394); в том, что из этого класса веществ единственно *только* вода находится при обычных температурах в жидком состоянии; в ее широком применении в качестве хорошего естественного растворителя и в постоянном пользовании ею в силу этого свойства при физических исследованиях, так как она в меньшей степени, чем всякое другое вещество, мешает, вредит явлениям при растворении или выделении тел и осложняет их.

476. Аналогия между разлагающим, или опытным элементом и другими элементами гальванической батареи ведет к почти полной уверенности, что всякое вещество, которое может быть разложено в жидком состоянии, как это описано в моем последнем докладе (402), окажется, если его ввести между металли-

¹ Philosophical Transactions, 1826, стр. 406.

чекскими пластинами элемента, столь же, если не более активным, чем вода. Сэр Гемфри Дэви обнаружил, что такими активными являются массикот и хлорат кали. ¹ Я собирал различные гальванические установки и нашел, что вышеуказанные заключения справедливы. Когда одно из нижеследующих веществ в расплавленном состоянии помещалось между медью и платиной, то получалось более или менее сильное гальваническое действие. Селитра, хлорат кали, карбонат кали, сульфат натра, хлориды свинца, натрия, висмута и кальция, иодид свинца, окись висмута, окись свинца — все они давали электрический ток того же направления, как если бы на металлы действовали кислоты. При действии каждого из этих веществ или же фосфата натра на платину и железо получались еще более сильные гальванические элементы такого же рода. Когда в качестве промежуточного жидкого вещества я брал нитрат или же хлорид серебра, то гальваническое действие имелось, но направление электрического тока было противоположное.

ГЛАВА III

Теория электрохимического разложения

477. Благодаря исключительной красоте и ценности электрохимических разложений, способность гальванического элемента производить разложение вызвала к себе особый интерес; такого интереса не возбуждало ни одно другое свойство элемента. В самом деле, это свойство не только тесно связано с длительным существованием, если не с возникновением электрических явлений, но дало нам прекраснейшие показательные опыты о природе многих сложных тел; в руках Беккереля (Besquerel) оно явилось средством для соединения веществ; оно дало нам много новых соединений, и можно надеяться, что даст еще больше, когда будет изучено основательно.

478. Почти все писавшие на эту тему сходятся в отношении того, что можно считать основными фактами электрохимического

¹ Philosophical Transactions, 1826, стр. 406.

разложения. Факты эти заключаются в разделении подвергаемого действию способного разлагаться вещества на его составные, а иногда и на первичные элементы всякий раз, как оба полюса элемента надлежащим образом приводятся в контакт с этим веществом; в выделении этих составных частей в отдаленных друг от друга точках, а именно у полюсов элемента, где они окончательно освобождаются или же входят в соединение с веществом полюсов; и, наконец, в неизменном устремлении выделяющихся элементов или составных частей к тому или иному полюсу, в соответствии с определенными, хорошо установленными законами.

479. Однако в отношении природы самого процесса, посредством которого эти действия производятся, мнения людей науки сильно расходятся; поскольку же несомненно, что мы сможем лучше использовать это действие, когда мы действительно поймем, каким образом оно происходит, то это различие во мнениях является сильным побуждением к дальнейшему исследованию. Я питаю надежду, что излагаемые далее исследования могут рассматриваться не как накопление подлежащего еще сомнению материала, а как реальный вклад в эту отрасль знания.

480. Необходимо вкратце указать существующие взгляды на электрохимическое разложение для того, чтобы выяснить то противоречивое и неудовлетворительное состояние, в котором они находятся в данное время, а уже потом излагать, что мне представляется более точно согласующимся с фактами. И я осмеливаюсь подвергнуть эти взгляды свободному обсуждению, надеясь, что этим не оскорблю великодушных авторов; ибо я убежден, что если я окажусь прав, то они будут удовлетворены тем, что их взгляды послужили опорной ступенью для развития науки; если же я окажусь неправ, то они простят мне за то рвение, которое ввело меня в ошибку, так как оно было отдано на служение тому самому великому делу, процветания и развития которого и они горячо желали.

481. В 1805 г. Гроттус (Grotthus) специально писал о разложении жидкостей с помощью гальванического электриче-

ства.¹ Он рассматривал элемент как электрический магнит, т. е. как некоторый притягивающий и отталкивающий агент, полюсы которого обладают способностью *притягивать и отталкивать*. Полюс, из которого исходит смоляное электричество, притягивает водород и отталкивает кислород; наоборот, тот, из которого исходит стеклянное электричество, притягивает кислород и отталкивает водород, так что каждый, например, из элементов молекулы воды подвергается действию сил притяжения и отталкивания, которые действуют в противоположных направлениях и *центры действия которых находятся с взаимно противоположных сторон*. Действие каждой силы в отношении молекулы воды, расположенной на пути электрического тока, обратно пропорционально квадрату расстояния, на котором она обнаруживается, давая (это он утверждает) для такой молекулы *постоянную силу*.² Появление элементов на расстоянии друг от друга он объясняет тем, что промежуточные частицы³ претерпевают последовательные разложения и воссоединения; он считает вероятным, что те частицы, которые готовы разделиться около полюсов, соединяются там с двумя электричествами и вследствие этого переходят в газообразное состояние.⁴

482. Прославленная лекция сэра Гемфри Дэви памяти Бэкера о некоторых химических действиях электричества была прочитана в 1806 г. и почти целиком посвящена *электрохимическим разложениям*. Даваемые в ней факты являются высокоценными; эти факты общеизвестны, равно как и основные высказанные в лекции положения. Характер процесса, посредством которого происходят эти явления, указан в весьма общих чертах; они, действительно, настолько общи, что, вероятно, можно было бы наметить дюжину подобных схем электрохимического действия, существенно отличающихся друг от друга и, тем не менее, согласующихся с данным в лекции изложением.

¹ Annales de Chimie, 1806, LVIII, стр. 64.

² Там же, стр. 66, 67, а также LXIII, стр. 20.

³ Там же, LVIII, стр. 68; LXIII, стр. 20.

⁴ Там же, LXIII, стр. 34.

483. Когда сэр Гемфри Дэви выражается более определенно, то, повидимому, приписывает разлагающее действие притяжения полюсов. Так обстоит дело в «общем описании фактов», данном на стр. 28 и 29, а также на стр. 30 *Philosophical Transactions* за 1807 г. На стр. 161 *Elements of Chemical Philosophy* он снова говорит о значительных притягивательных способностях поверхностей полюсов. Он упоминает о вероятности последовательных разложений и воссоединений во всей жидкости, сходясь в этом отношении с Гротгусом,¹ и предполагает, что действия притяжения и отталкивания могут передаваться от металлических поверхностей через весь растворитель,² передаваясь от одной частицы к другой частице того же рода³ и ослабевая при переходе от места расположения полюсов к средней точке, которая является по необходимости нейтральной.⁴ Что касается этого уменьшения силы по мере возрастания расстояния от полюсов, то он указывает, что в цепи, содержащей десять дюймов воды, раствор сульфата кали, помещенный на расстоянии четырех дюймов от положительного полюса, не подвергся разложению, тогда как на расстоянии всего двух дюймов от этого полюса он распадался на соответствующие элементы.⁵

484. Когда в 1826 г. сэр Гемфри Дэви снова писал на эту тему, то заявил, что не находит нужным изменять что-либо в основной теории, изложенной в первоначальном сообщении,⁶ и пользуется терминами притяжение и отталкивание в том же, повидимому, смысле, как и ранее.⁷

485. В 1807 г. по этому вопросу производили опыты гг. Риффо (*Riffault*) и Шомпре (*Chompré*). Они пришли к заключению, что гальванический ток вызывает разложения на всем пути

¹ *Philosophical Transactions*, 1807, стр. 29, 30.

² Там же, стр. 39.

³ Там же, стр. 29.

⁴ Там же, стр. 42.

⁵ Там же, стр. 42.

⁶ Там же, 1826, стр. 383.

⁷ Там же, стр. 389, 407, 415.

своего следования через влажный проводник, и что эти разложения вовсе не являются простой подготовкой к тем воссоединениям, о которых говорили Гротгус и Дэви, но производят окончательное разделение элементов *на пути* тока, и не только у полюсов, но и в других местах. Они считают, что *отрицательный* ток собирает и несет кислоты и т. д. к *положительному полюсу*, а *положительный* ток выполняет ту же обязанность по отношению к основаниям и собирает их у *отрицательного* полюса. Они считают также, что токи тем *более сильны*, чем ближе они к соответственным им полюсам, и утверждают, что *положительный* ток по силе превосходит отрицательный.¹

486. Г-н Био (Biot) очень осторожен в высказывании какого-либо мнения относительно причины разделения элементов сложного вещества.² Однако в той мере, в какой эти явления доступны пониманию, он приписывает их противоположным электрическим состояниям разлагаемого вещества по соседству с двумя полюсами. Около *положительного* полюса жидкость является наиболее *положительной*; это состояние постепенно ослабевает к середине, где жидкость оказывается *нейтральной* или *ненаэлектризованной*, а, начиная отсюда и по направлению к *отрицательному* полюсу, она становится все более и более *отрицательной*.³ Принимается, что при разложении частицы соли около *отрицательного* полюса частица кислоты приобретает от полюса *отрицательное* электрическое состояние, более сильное, чем у окружающих *неразложенных* частиц; поэтому она выталкивается из их среды и из этого объема жидкости по направлению к *положительному* полюсу, к которому ее влечет также притяжение самого полюса и частиц *неразложенной* *положительной* жидкости вокруг него.⁴

487. Г-н Био, повидимому, не допускает существования последовательных разложений и воссоединений, о которых гово-

¹ Annales de Chimie, 1807, LXIII, стр. 83 и т. д.

² Précis Élémentaire de Physique, 3-е издание, 1824, I, стр. 641.

³ Там же, стр. 637.

⁴ Там же, стр. 641, 642.

рят Гротгус, Дэви и т. д. и т. д., но, очевидно, считает, что во время своего перехода вещество временно соединено, или, вернее, связано, с электричеством; ¹ хотя вещество и сообщает это электричество окружающей неразложенной материи, с которой соприкасается, оно, тем не менее, во время перехода сохраняет в этом отношении некоторый избыток, полученный вначале от полюса, и благодаря наличию этой разности переносится через жидкость к противоположному полюсу. ²

488. Эта теория предполагает, что разложение имеет место у обоих полюсов в определенных объемах жидкости и совершенно отсутствует в промежуточных участках. Последние служат лишь в качестве несовершенных проводников, которые, воспринимая электрическое состояние, понуждают частицы, более сильно наэлектризованные около полюсов, перемещаться через эти участки в противоположных направлениях в силу ряда обычных электрических притяжений и отталкиваний. ³

489. Г-н А. де ля Рив особо исследовал этот вопрос и в 1825 г. опубликовал статью на эту тему. ⁴ Он полагает, что те, кто приписывает эти явления притягательным свойствам полюсов, скорее формулируют основное явление, чем дают ему какое-либо объяснение. Он считает, что полученные результаты объясняются действительным соединением элементов, вернее половин их с электричествами, переходящими от полюсов, вследствие как бы некоторого сродства между материей и электричеством. ⁵ Ток от положительного полюса, соединяясь с водородом или с основаниями, которые он там находит, оставляет свободными кислород и кислоты, но переносит вещества, с которыми он соединился, к отрицательному полюсу, где вследствие специ-

¹ Précis Élémentaire de Physique, стр. 636.

² Там же, стр. 642.

³ Там же, стр. 638, 642.

⁴ Annales de Chimie, XXVIII, стр. 190.

⁵ Там же, XXVIII, стр. 200, 202.

фических свойств металла как проводника¹ ток отделяется от них, входя внутрь металла и оставляя водород или основания на его поверхности. Точно так же электричество отрицательного полюса оставляет свободными водород и основания, которые оно там находит, но соединяется с кислородом и кислотами, переносит их к положительному полюсу и там их отлагает.² В этом отношении гипотеза г. де ля Рива отчасти согласуется с гипотезой гг. Риффо и Шомпре (485).

490. Г-н де ля Рив считает, что разлагаются те части вещества, которые прилегают к *обоим* полюсам.³ Он не допускает, как это делают другие, существования последовательных разложений и воссоединений на протяжении всего пути следования электричества через влажный проводник,⁴ но полагает, что средние части остаются неизменными или, в крайнем случае, служат лишь для проведения двух противоположных токов электричества и материи, берущих начало у противоположных полюсов.⁵ Поэтому разложение частицы воды или частицы соли может иметь место около каждого из полюсов и, раз оно уже произошло, является на данное время окончательным, т. е. рекомбинаций не происходит, если не считать мгновенного соединения переносимой частицы с электричеством.

491. Последнее по времени известное мне сообщение на эту тему принадлежит г. Гашетту; оно датировано октябрем 1832 г. Оно заключает в себе описание разложения воды с помощью магнито-электрических токов (346). Один из результатов опыта заключается в том, что «вовсе нет необходимости, как это предполагалось, чтобы для химического разложения воды действие двух электричеств, положительного и отрицательного, было одновременным».

¹ *Annales de Chimie*, 1807, XXVIII, стр. 202.

² Там же, стр. 201.

³ Там же, стр. 197, 198.

⁴ Там же, стр. 192, 199.

⁵ Там же, стр. 200.

492. Более чем вероятно, что было опубликовано еще много других взглядов на электрохимическое разложение, и, может быть, среди них имеются такие, которые, отличаясь от вышеупомянутых, могли бы, если бы я был знаком с ними, устранить, даже с моей точки зрения, необходимость опубликования моих взглядов. Если это так, то я сожалею о моем неведении и приношу авторам извинение.

493. Прежде всего, электрохимическое разложение не зависит от непосредственного притяжения или отталкивания, оказываемых полюсами (понимая под ними металлические выводы установок с гальванической батареей или же с обыкновенной электрической машиной (312)) на элементы, соприкасающиеся с ними или находящиеся вблизи них; это с совершенной очевидностью явствует из опытов, произведенных в воздухе (462, 465 и т. д.). Образовавшиеся при этих опытах вещества собирались не вокруг каких-либо полюсов, но, повинаясь направлению тока, выделялись и, я сказал бы, выталкивались на концах разлагаемого вещества. Однако несмотря на крайнее несходство в свойствах воздуха и металлов и почти полное различие, существующее между ними в отношении того, как они проводят электричество и заряжаются им, все же, может быть, оказалось бы возможным предположить, хотя и совершенно гадательно, что пограничные участки воздуха являлись в этом случае поверхностями или местами притяжения, так же, как это ранее предполагалось в отношении металлов. Для выяснения этого и других положений я попытался создать установку, посредством которой я мог бы разложить тело у поверхности воды или воздуха или металла, и мне прекрасно и без исключений удавалось сделать это описанным ниже образом. Так как этот опыт по многим естественным причинам требует для своего успеха многих предосторожностей, и так как я буду ссылаться на него ниже для пояснения тех взглядов, которые я имею смелость предложить, то я должен описать его более подробно.

494. Поперек стеклянного сосуда (рис. 53), в четыре дюйма диаметром и в четыре дюйма высотой, была укреплена слюдяная перегородка *a*, спускавшаяся на полтора дюйма ниже края, по бокам совершенно водонепроницаемая. По одну сторону от перегородки *a* в сосуд была опущена платиновая пластинка *b* в три дюйма шириной; она поддерживалась в сосуде посредством находящегося внизу куска стекла так, чтобы газ, получавшийся при последующих опытах, не мог подняться за слюду и вызвать по ту сторону токи в жидкости. В сосуд осторожно, не плеская, наливался крепкий раствор сульфата магнезии до тех пор, пока уровень его не приходился немного выше нижнего края слюдяной перегородки *a*; при этом были приняты все меры предосторожности для того, чтобы стекло или слюда по ту сторону от перегородки, которая свободна от жидкости (на рисунке обозначена буквой *c*), не были смочены при сотрясениях раствора выше того уровня, до которого он доходил. Затем тонкий кусок чистой пробки хорошо смачивался дистиллированной водой; его осторожно и легко опускали на поверхность раствора со стороны *c*, а на пробку осторожно наливалась дистиллированная вода так, чтобы верх раствора сульфата магнезии образовался слой воды толщиной в одну восьмую дюйма. Затем все это представлялось самому себе на несколько минут, чтобы весь приставший к пробке раствор мог стечь или был удален водой, на которой теперь плавала пробка; после этого таким же путем добавлялось еще немного дистиллированной воды, так что она почти достигала края стекла. Таким образом раствор сульфата магнезии занимал нижнюю часть сосуда, а также верхнюю часть по правую сторону от слюды, по левую же сторону от перегородки поверх раствора, от *c* до *d* находился слой воды толщиной в полтора дюйма; если смотреть сквозь этот слой горизон-

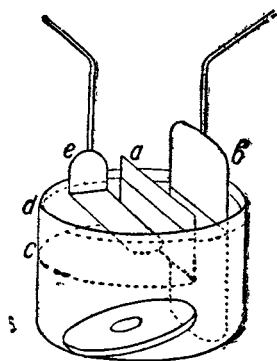


Рис. 53.

тально, то между двумя жидкостями можно было видеть довольно ясную поверхность раздела. Затем был устроен второй платиновый полюс *e*; он приходился как раз под поверхностью воды в почти горизонтальном положении; ему сообщался легкий наклон для того, чтобы дать выход газу, выделяющемуся во время разложения. Погруженная в воду часть имела три с половиной дюйма в длину и один дюйм в ширину, и между нею и раствором сульфата магния находился слой воды толщиной примерно в семь восьмых дюйма.

495. После этого полюс (*e*) был соединен с отрицательным концом гальванической батареи, состоявшей из сорока пар пластин, площадью по четыре квадратных дюйма; в то же время другой полюс был соединен с положительным концом. Наступало действие, и около обоих полюсов выделялся газ, но вследствие наличия промежуточной чистой воды разложение было очень слабо по сравнению с тем, которое батарея произвела бы в однородном растворе. По истечении небольшого промежутка времени (менее минуты) на отрицательной стороне появилась также магnezия; она появилась не около отрицательного металлического полюса, но в воде, у плоскости соприкосновения раствора и воды; при рассматривании в горизонтальном направлении можно было заметить, что она лежит в воде над раствором, выдаваясь не более чем на четверть дюйма над последним; в то же время вода между нею и отрицательным полюсом была совершенно прозрачна. При продолжении действия пузырьки водорода, восходящие кверху от отрицательного полюса, производили в слое воды круговое движение, направленное кверху — в середине и книзу — с боков, вследствие чего облако магnezии мало-помалу приобретало восходящую форму в месте, находящемся как раз под полюсом; создавалось впечатление, что оно как бы притягивается к нему; однако это явление было обусловлено исключительно действием потоков и наступало лишь много спустя уже после того, как рассматриваемые явления были достаточно хорошо установлены.

496. По истечении небольшого промежутка времени гальваническая батарея была отключена, а платиновые полюсы с целью исследования приставшей к ним жидкости были вынуты из воды и раствора с возможно меньшим сотрясением последних. Полюс *e* при касании к нему куркумовой бумажки не давал следов щелочи, и ничего, кроме чистой воды, на нем обнаружить не удавалось. Полюс *b*, хотя и проходил через значительную большую глубину и через большее количество жидкости, оказался настолько кислотным, что сильно действовал на лакмусовую бумажку, язык и другие реагенты. Здесь, следовательно, не было никакого побочного действия щелочных солей, которые должны бы были претерпеть сначала разложение и вызвать затем выделение магнезии вдали от полюса путем чисто химических действий. Опыт этот повторялся многократно и всегда с одинаковым успехом.

497. Таким образом в случаях электрохимического разложения выделяющиеся вещества могут появляться и на границе воздуха (465, 469), который, согласно общепринятой терминологии, не является проводником и не разлагается, и на границе воды (495), которая является проводником и может быть разложена, и на границе металлических полюсов, которые являются прекрасными проводниками, но не разлагаются; при таких обстоятельствах, повидимому, имеется мало оснований думать, что эти явления вообще обусловлены *притяжением* или притягательными силами металлических полюсов, если ими пользоваться, как обычно, так как едва ли можно представить себе существование таких притяжений в первых двух случаях.

498. Можно было бы сказать, что в этих случаях поверхности воздуха или же воды становятся полюсами и обнаруживают притягательные силы; но какие имеются тому доказательства, за исключением того факта, что выделившиеся вещества собираются около полюсов, — факта, который именно и подлежит выяснению, и на который нельзя, конечно, ссылаться для его же собственного истолкования? Конечно, можно было бы сказать, что любое сечение влажного проводника, как, на-

пример, в данном случае то сечение, где сходятся раствор и вода, можно рассматривать как полюсы. Однако, представляется мне, совершенно иного мнения придерживались те, кто писал на эту тему, по крайней мере некоторые из них, и этот взгляд несовместим с теми законами, которым, по их предположению, подчиняется уменьшение силы с возрастанием расстояний от полюсов.

499. Гротгус, например, описывает полюсы как центры сил притяжения и отталкивания (481), изменяющихся обратно пропорционально квадрату расстояний, и считает поэтому, что частица, помещенная где-нибудь между полюсами, подвержена действию постоянной силы. Но возникающая в результате принимаемой им комбинации сложная сила ни в коей мере не будет постоянна; она, очевидно, будет иметь наибольшие значения около полюсов и будет уменьшаться к середине расстояния между ними. Тем не менее, согласно моим опытам (502, 505), Гротгус оказывается прав в отношении того факта, что частицы в любой части цепи подвержены действию одинаковой силы, когда условия опыта по возможности просты; но этот факт противоречит его теории, а также, я полагаю, всякой теории, объясняющей разлагающее действие притягивательной силой полюсов.

500. Сэр Гемфри Дэви, который также говорит об *уменьшении* силы с возрастанием расстояния от полюсов (483),¹ полагает, что когда разложение вещества вызывают оба полюса, сила разложения все же *уменьшается* к середине расстояния. Утверждая это, он впадает в противоречие с Гротгусом и ссылается на опыт, в котором сульфат кали помещался на различных расстояниях от полюсов во влажном проводнике постоянной длины; при этом он разлагался вблизи полюсов и не разлагался вдали от них. Теоретически такое следствие неизбежно, если считать полюсы за центры притяжения и отталкивания; но я не нашел, чтобы это объяснение подтверждалось другими

¹ Philosophical Transactions, 1807, стр. 42.

опытами (505), а в опыте, на который ссылается Дэви, явление, несомненно, объясняется одним из многочисленных источников ошибок, которые стоят на пути таких исследований.

501. Поперек стеклянного сосуда была укреплена отвесно платиновая пластинка так, что делила его на две ячейки; сверху был укреплен колпачок из слюды, чтобы собирать газ, который мог выделяться во время опыта; затем обе ячейки и пространство под слюдой были заполнены разбавленной серной кислотой. Было взято два полюса, состоявшие каждый из платиновой проволоки, оканчивающейся пластинкой из того же металла; каждый полюс был укреплен внутри трубки; он проходил через ее верхний конец при посредстве воздухонепроницаемого соединения и оставался при этом подвижным; тем не менее, около него можно было собирать выделяющийся газ. Трубки были наполнены кислотой, и в каждую ячейку было погружено по одной трубке. Поверхность каждого платинового полюса была равна поверхности одной стороны пластины, делящей сосуд посередине, а всю систему можно рассматривать, как расположенный между полюсами батареи влажный, способный к разложению проводник, разделенный посередине устроенной там платиновой перегородкой. Если то требовалось, легко было поднять выше один из полюсов в трубке, и тогда платиновая перегородка оказывалась уже не в середине жидкого проводника. Но независимо от того, где была расположена перегородка: посередине или ближе к одной из сторон, количество выделившегося кислорода и водорода всегда было равно количеству газов, выделившихся у крайних пластин.¹

502. Приделаем к концам проводов гальванометра пластины, а последние погрузим в разбавленную кислоту, содержащуюся в стеклянном сосуде правильной прямоугольной формы; соединим сосуд на каждом конце с гальванической батареей посред-

¹ В этом и подобных опытах требуются некоторые предосторожности, которые можно учесть и принять только при ближайшем знакомстве с теми явлениями, которые будут описаны в первой части шестой серии настоящих исследований.

ством полюсов, сечение которых равно сечению жидкости; тогда часть электричества будет проходить через прибор и вызывать определенное отклонение. И если пластины всегда сохраняют одно и то же расстояние как *друг от друга*, так и от стенок сосуда, если они всегда параллельны друг другу и одинаково расположены по отношению к жидкости, то, независимо от того, где они погружены в разлагаемый раствор: близко к его середине, или у одного из концов его, — прибор все же будет давать одно и то же отклонение и, следовательно, указывать, что электрическое действие также одинаково.

503. Вполне ясно, что когда ширина разлагаемого проводника меняется, как это всегда имеет место, если полюсами служат просто погруженные в раствор или окруженные им провода или пластины, то нельзя дать постоянного выражения для действия, оказываемого на отдельную помещенную на пути тока частицу, равно как и нельзя вывести какое-либо полезное для дела заключение относительно предполагаемых притягательных и отталкивательных сил полюсов. Сила будет меняться по мере изменения расстояния от полюсов, в зависимости от того, где находится частица: непосредственно между полюсами или же она смещена более или менее в одну сторону, ближе или дальше от стенок сосуда; результат зависит также от изменения формы самого сосуда. И действительно, меняя форму системы, можно действующую на отдельную частицу силу увеличить, уменьшить или сохранить постоянной, и в то же время расстояние между частицей и полюсом останется прежним; можно сделать и так, что сила может увеличиться, уменьшиться или останется постоянной в то время, как расстояние увеличится или уменьшится.

504. На основании многочисленных опытов я пришел к заключению, что является правильным приводимое ниже общее положение; однако же я намерен рассмотреть его гораздо подробнее и поэтому не желал бы в данный момент принимать на себя ответственность за его достоверность. *Сумма химического разложения постоянна* для каждого поперечного сечения разлагаемого проводника, однородного по своей природе, незави-

симо от того, на каком расстоянии друг от друга и от этого сечения находятся полюсы; эта сумма не зависит также от того, каким образом это сечение пересекает токи: прямо поперек их или же настолько косо, что оно простирается почти от одного полюса до другого; от той формы, какую имеет сечение: плоскую, кривую или вообще совершенно неправильную; необходимо только, чтобы ток электричества поддерживался постоянным в отношении количества (377), и чтобы это сечение проходило сквозь разлагаемый проводник через весь ток.

505. У меня есть основания думать, что это положение может быть высказано в еще более общем виде и выражено следующим образом: *что бы собой ни представляло разлагаемое вещество: воду, растворы солей, кислоты, расплавленные тела и т. д., — для одного и того же количества электричества сумма электрохимических действий есть также величина постоянная, т. е. она всегда эквивалентна стандартному химическому действию, основанному на обычном химическом сродстве.* В данное время я занят этим и еще несколькими исследованиями, которые буду в состоянии представить в следующей серии настоящих же исследований.

506. Можно было бы привести множество других аргументов против гипотезы, которая причину электрохимического разложения усматривает в притяжении полюсов, но я предпочитаю перейти к той точке зрения, которую я считаю более согласной с фактами, и сделаю лишь одно замечание. Если бы разложение при помощи гальванической батареи зависело от притяжения полюсов или окружающих эти последние частей [вещества], и притом было сильнее взаимного притяжения разделенных частиц, то отсюда бы следовало, что самое слабое *электрическое* притяжение сильнее весьма сильного, если и не самого сильного *химического* притяжения, — такого, например, какое существует между кислородом и водородом, калием и кислородом, хлором и натрием, кислотой и щелочью и т. д. Такое заключение, может быть, вполне возможно, но при настоящем состоянии вопроса представляется весьма неправдоподобным.

507. Принятая г. де ля Ривом (489), а также гг. Риффо и Шомпре (485) точка зрения относительно способа, которым осуществляется электрохимическое разложение, сильно отличается от описанного выше взгляда, и выставленные против этого последнего аргументы или факты ее не затрагивают. В том виде, как ее изложил первый исследователь, эта точка зрения, как мне кажется, не в состоянии объяснить описанные мною опыты разложения у поверхностей воздуха (462, 469) и воды (495). В самом деле, если на момент допустить существование тех физических различий между металлами и жидкими проводниками, которыми, по мнению г. де ля Рива, объясняется передача соединения материи с электричеством в этих последних и передача одного лишь электричества без материи в первых, то все же аналогия между воздухом и металлом в электрическом отношении настолько мала, что вместо замещения последнего первым (462) можно было бы ожидать скорее обратного действия. И если даже допустить это, то опыт с водой (495) сразу решает вопрос, так как разлагающий полюс представляет собой теперь вещество, за которым признается способность передавать предполагаемое соединение материи и электричества.

508. Что касается взглядов гг. Риффо и Шомпре (485), то существование процесса разложения только *на пути* тока настолько противоречит общеизвестным действиям, полученным из всевозможных опытов, какие производились до настоящего времени, что прежде, чем рассматривать вытекающую отсюда гипотезу, должен быть еще доказан самый этот факт.

509. Рассмотрение существующих разнообразных теорий электрохимического разложения вызвало во мне недоверие к ним и внушило смелость прибавить к их числу еще одну. Я только потому и осмеливаюсь на этот шаг, что теория, которую я собираюсь предложить, при самом тщательном ее рассмотрении, повидимому, оказывается согласной с огромным запасом относящихся к этой отрасли знания фактов, способна дать им объяснение, ни одному из них не противоречит и ни одним из них не опровергается.

510. Как известно, электрохимическое разложение существенно зависит от *тока* электричества. Я показал, что в некоторых случаях (375) разложение пропорционально количеству проходящего электричества, каковы бы ни были его напряжение и его источник, и что это, вероятно, справедливо во всех случаях (377), даже если требовать максимальной общности, с одной стороны, и большой точности выражений — с другой (505).

511. Говоря о токе, я считаю себя обязанным быть еще более точным, чем в одном из прежних случаев (283), ввиду разнообразия взглядов, принятых различными учеными, которые, однако же, все согласны в отношении явления самого тока. Некоторые исследователи вместе с Франклином принимают существование только одной электрической жидкости; все они должны сходиться во мнении относительно общей однородности и характера тока электричества. Другие принимают существование двух электрических жидкостей, и здесь возникли особые разногласия.

512. Гг. Риффо и Шомпре, например, считают, что разложение вызывается как положительным, так и отрицательным токами, и утверждают, что положительный ток *сильнее*, чем отрицательный; ¹ так что, например, при прочих равных условиях нитрат натра разлагается первым из них, но не разлагается вторым.

513. Г-н Гашетт утверждает, ² что «для разложения воды нет необходимости в том, чтобы действия положительного и отрицательного электричеств были, как это предполагалось, одновременны». Эти слова, если я правильно усвоил их смысл, означают, что каждое из электричеств может быть получено и применено для осуществления разложения, независимо от другого.

514. Взгляд г. де ля Рива в некоторой степени совпадает с взглядом г. Гашетта, так как он считает, что два электричества разлагают отдельные части воды (490). ³ В одном месте он говорит

¹ Annales de Chimie, 1807, LXIII, стр. 84.

² Там же, 1832, LI, стр. 73.

³ Там же, 1825, XXVIII, стр. 197, 201.

об этих двух электричествах как о двух влияниях, не желая, может быть, высказать определенного мнения относительно независимого существования электрических жидкостей. Поскольку, однако, он высказывает мнение, что эти влияния благодаря некоторого рода химическому сродству связываются с выделившимися в свободном состоянии элементами и на это время полностью маскируют свои свойства, то в это представление вносится большая неопределенность, так как подобного рода соединение можно вообразить только между предметами, имеющими независимое существование. Два элементарных электрических тока, которые движутся в противоположных направлениях от полюса к полюсу, составляют обычный *гальванический ток*.

515. Г. Гротгус склонен думать, что элементы воды, перед тем как разделиться около полюсов, соединяются с электричествами и таким образом переходят в газообразное состояние. Точка зрения г. де ля Рива как раз обратна этой; по его представлениям, элементы воды при прохождении через жидкость находятся в соединении с электричествами; выделившись у полюсов, они утрачивают заряд.

516. Среди разнообразных опытов, которые приводятся в подтверждение этих взглядов или тех, которые вообще имеют отношение к электрохимическим разложениям или электрическим токам, я искал каких-либо таких, которые бы говорили скорее в пользу теории двух, а не одного электричества; однако мне не удалось найти ни одного факта, который можно было бы выдвинуть для этой цели; равным образом, если принять гипотезу о двух электричествах, опыты давали еще меньше оснований утверждать, что одно электричество в электрическом токе может быть сильнее другого, или что оно может существовать без другого, или что это одно электричество можно изменить или хоть в малой степени на него подействовать, не изменяя соответственно и другого. ¹ Если бы, предполагая существование двух электричеств, можно было получить ток одного электричества без дру-

¹ В настоящее время по этому вопросу см. pp. 1627—1645. Дек. 1838 г.

гого или же усилить или ослабить ток одного по сравнению с другим, то можно было бы, несомненно, ожидать некоторых изменений либо химических, либо магнитных действий, либо и тех и других; однако никаких подобных изменений не наблюдалось. Если ток идет по такому пути, что может действовать химически на одном его участке и проявлять магнитные действия на другом, то оказывается, что оба эти действия всегда происходят одновременно. Насколько мне известно, еще не удавалось получить такой ток, который бы мог действовать химически, не действуя магнитно, или такой, который бы мог действовать на магниты и не действовал бы в *то же самое время* химически.¹

517. Если судить только на основании фактов, то до сих пор нет ни малейшего основания рассматривать силу, имеющуюся налицо в том явлении, которое мы называем электрическим током, — все равно в металлах, в расплавленных телах или в жидких проводниках, или даже в воздухе, пламени, разреженных упругих средах, — как составную или сложную силу. Ее никогда не удавалось разложить на более простые элементарные силы, и лучше всего ее можно, пожалуй, представить себе в виде *оси сил, в которой силы, в точности равные по величине, направлены в противоположные стороны.*

518. Переходим к рассмотрению электрического разложения; мне представляется, что это явление производится *внутренним корпускулярным действием*, происходящим в соответствии с направлением электрического тока, и что оно обусловлено силой, которая либо *прибавляется к обычному химическому средству* данных веществ, либо *его направляет*. Подвергаемое разложению вещество можно рассматривать как совокупность действующих частиц, причем все те из них, которые расположены на пути тока, вносят свою долю в конечный эффект; обычное химическое средство под влиянием электрического тока делается менее выраженным, ослабляется или частично нейтрализуется в одном

¹ Термо-электрические токи, конечно, не являются исключениями, так как, когда они перестают химически действовать, они перестают быть и токами вообще.

направлении, параллельном току, и усиливается или пополняется в противоположном направлении, и именно потому входящие в соединение частицы имеют стремление перемещаться в противоположных направлениях.

519. С этой точки зрения нужно думать, что явление *существенно зависит от взаимного химического сродства* частиц противоположного рода. Частицы a , a (рис. 54) не могли бы переноситься или двигаться от одного полюса N по направлению к другому P , если бы они не нашли частиц противоположного рода — b , готовых перемещаться в противоположном направлении; в самом деле, они понуждаются к движению вперед именно в силу увеличения сродства по отношению к этим частицам, а также уменьшения сродства по отношению к тем частицам, которые оставлены



Рис. 54.

Рис. 55.

ими позади; и когда какая-либо частица a (рис. 55) достигает полюса, то она исключается или обретает свободу, потому что противоположная частица b , с которой она только что находилась в соединении, испытывает под добавочным влиянием тока более сильное притяжение к частице a' , лежащей на ее пути впереди, чем к частице a , по отношению к которой ее сродство стало слабее.

520. В отношении отдельной сложной частицы случай этот можно считать аналогичным случаю обычного разложения; действительно, можно считать, что частица a на рис. 54 выталкивается из сложной частицы ab благодаря имеющему перевес притяжению между a' и b , а перевес этот определяется положением a' , b и a относительно оси электрической силы (517), усиливаемой током. Однако, поскольку все сложные частицы на пути следования тока, за исключением тех, которые действительно соприкасаются с полюсами, действуют совместно и состоят из

элементарных частиц, которые в одном направлении выталкиваются, а в другом сами выталкиваются, то случай усложняется, хотя и не становится более трудным для понимания.

521. Не нужно думать, чтобы действующие частицы были расположены по прямой линии между полюсами. Линии действия, при помощи которых можно изображать электрические токи, проходящие через разлагаемую жидкость, во многих опытах имеют очень неправильную форму, и даже в простейшем случае двух проводов или острий, погруженных в качестве полюсов в каплю или более значительную отдельную порцию жидкости, эти линии должны быстро расходиться от полюсов, а направление, в котором химическое сродство между частицами наиболее сильно меняется (519, 520), будет меняться вместе с направлением этих линий, постоянно с ними совпадая. Однако, даже в отношении этих линий или токов вовсе не нужно думать, чтобы взаимно влияющие друг на друга частицы должны были непременно быть им параллельны; нужно только предположить, что они в общем должны согласоваться с их направлением. Не следует думать, что между двумя частицами, расположенными на линии, перпендикулярной электрическому току, который проходит в данном месте, должна меняться их обычная взаимная химическая связь; но, если соединяющая их прямая наклонена к току в определенную сторону, то их взаимное сродство возрастает, а при наклонении ее в другом направлении оно уменьшается; максимальный же эффект получается тогда, когда эта линия параллельна току.¹

522. Что, независимо от их природы, эти действия часто происходят в косвенных направлениях, явствует из того факта, что они распространяются также на такие частицы, которые часто даже и не лежат на прямой, соединяющей полюсы. Так, если в качестве полюсов в стеклянном сосуде, содержащем раствор, взять проволочки, разложения и воссоединения возникают вправо или влево от направления прямой, соединяющей полюсы, и,

¹ По этому вопросу см. ниже об электролитическом разряде, серия двенадцатая, глава VIII, пп. 1343—1351 и т. д. Дек. 1838 г.

как это подтверждают многочисленные опыты, собственно возникают повсюду, куда только достигают токи; они, следовательно, должны часто иметь место между частицами, которые расположены по отношению к самому току в сторону; а если один полюс образован содержащим раствор металлическим сосудом, а в качестве другого взяты острие или проволока, то разложения и обратные соединения часто должны быть расположены по отношению к путям токов еще более вкось.

523. Теория, которую я имел смелость предложить, (почти) требует допущения, что между элементарными частицами способного претерпевать электрохимическое разложение сложного вещества существуют взаимоотношения и влияния, выходящие за пределы тех частиц, с которыми они находятся в непосредственном соединении. Так, нужно думать, что, в случае воды, соединенная с кислородом частица водорода не совсем безразлична к остальным частицам кислорода, хотя последние и находятся в соединении с другими частицами водорода; что она обладает по отношению к ним сродством или притяжением, хотя при обычных условиях, не достигающим по своей силе того сродства, которым она соединена со своей собственной частицей, но могущим даже превзойти его под действием электрического влияния, оказываемого в определенном направлении. Это общее взаимодействие между частицами, уже соединенными с другими частицами, и такими, с которыми они не находятся в соединении, выступают достаточно отчетливо в многочисленных явлениях чисто химического характера, особенно там, где имеет место лишь частичное разложение, а также в опытах Бертолле по влиянию массы на сродство; по всей вероятности, оно имеет прямое отношение и связь с притяжением сцепления как в твердых, так и жидких телах. Замечательно, что в газах и парах, где сцепление исчезает, повидимому, исчезают также разлагающие свойства электричества и перестает проявляться химическое действие массы. Возможно, что неспособность к разложению в этих случаях обусловлена отсутствием того взаимного притяжения частиц, которое является причиной сцепления.

524. Я надеюсь, что я достаточно ясно, хотя и в весьма общих выражениях, изложил свой взгляд на причину электрохимического разложения *в той мере, в какой в настоящее время* можно эту причину проследить и понять. Я представляю себе, что эти явления возникают благодаря силам, которые по отношению к разлагаемому веществу являются *внутренними*, а не *внешними*, какими их можно было бы считать, если бы они зависели непосредственно от полюсов. Я полагаю, что эти явления происходят вследствие того, что электрический ток вызывает изменения химического сродства частиц, через которые или при посредстве которых он проходит, и сообщает им способность действовать в одном направлении сильнее, чем в другом; в результате ток заставляет их двигаться в противоположных направлениях, испытывая при этом ряд последовательных разложений и новых соединений, и, наконец, вызывает их выталкивание или выделение у пограничных поверхностей разлагаемого тела, и притом в больших или меньших количествах, в соответствии с тем, насколько сильнее или слабее этот ток (377). Поэтому я полагаю, что было бы более научно и ближе к фактам говорить, в связи с проходящим через тело током, именно об его веществе, а не о так называемых полюсах, которые с ним соприкасаются, и просто констатировать, что в процессе разложения на его отрицательном конце выделяются кислород, хлор, иод, кислоты и т. д., а на положительном конце — вещества горючие, металлы, щелочи, основания и т. д. (467). Я не думаю, чтобы электрический ток мог переносить вещество в такое место, где оно больше не находит частиц, с которыми может соединиться. В качестве фактов, иллюстрирующих эти взгляды, я прежде всего могу привести уже упомянутые опыты, произведенные в воздухе (465) и в воде (495); сейчас я к ним добавлю еще и другие.

525. Чтобы показать зависимость разложения и переноса элементов от химического сродства присутствующих веществ, были произведены следующие опыты с серной кислотой. Была приготовлена разбавленная серная кислота; ее удельный вес был равен 1021.2. Далее был приготовлен раствор сульфата

натра такой крепости, что единица объема его содержала ровно столько же серной кислоты, сколько имелось в таком же объеме только что упомянутой разбавленной кислоты. Подобным же образом были приготовлены растворы: один — чистого натра и другой — чистого аммиака такой крепости, что определенный объем каждого из них в точности нейтрализовался равным ему объемом приготовленной серной кислоты.

526. Четыре стеклянных чашечки были затем расположены, как указано на рис. 56; в каждый из сосудов *a* и *b* было налито по семнадцать объемов свободной серной кислоты (525), а в каждый из сосудов *a* и *b* — по семнадцать объемов раствора сульфата натра. Для соединения *a* с *b* и *A* с *B* был взят асбест, пред-

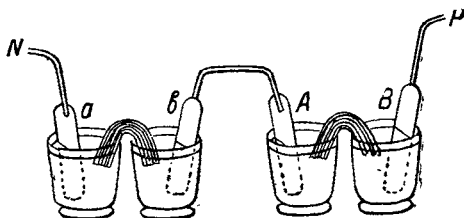


Рис. 56.

варительно хорошо промытый кислотой, подвергнутый действию гальванического элемента, хорошо промытый водой и высушенный под давлением; брались куски асбеста по возможности равные по весу; они обрезались настолько коротко, насколько это было допустимо, чтобы они все же давали хорошее соединение. *b* и *A* были соединены посредством двух платиновых пластинок или полюсов, припаянных к концам одного провода, а чашечки *a* и *B* посредством таких же платиновых пластинок были соединены с гальванической батареей, состоявшей из сорока пар пластин, площадью по четыре квадратных дюйма, причем пластинка в чашечке *a* была соединена с отрицательным, а пластинка в *B* — с положительным полюсом. Соединение с не очень сильно заряженной батареей поддерживалось свыше получаса. Таким образом можно было быть уверенным, что через чашечки *ab*

и *AB* прошел один и тот же электрический ток, и что и в том и другом случае действию его подвергалось одно и то же количество кислоты одинаковой крепости, с той разницей, что в одном случае она была просто растворена в воде, а в другом — находилась в растворе, и к тому же была в соединении со щелочью.

527. Когда батарея была отключена, куски асбеста были подняты и свешивавшиеся по концам капли стряхнуты в соответствующий сосуд. Затем прежде всего было произведено сравнение между кислотой в чашечках *a* и *b*, для чего были уравновешены две выпарительные чашки, и в одну из них была налита кислота из *a*, а в другую — из *b*; поскольку, однако, одна была немного тяжелее другой, то из более тяжелой в более легкую была перенесена небольшая капля, и, таким образом, обе порции были уравнены по весу. Затем кислота из *a*, т. е. отрицательного сосуда, была нейтрализована добавлением раствора натра (525), для чего потребовалось 15 частей этого последнего, а для нейтрализации кислоты из *b*, т. е. положительного сосуда, потребовалось 16,3 части. Что сумма их не равна 34, обусловлено главным образом тем, что часть кислоты ушла с асбестом; но, если взять среднее 15,65 частей, то выйдет, что одна двадцать четвертая часть кислоты, находившейся первоначально в сосуде *a*, под влиянием электрического тока перешла из *a* в *b*.

528. При сравнении различия кислотности в *A* и *B* необходимое равенство в весе считалось несущественным, потому что раствор вначале был нейтрален и поэтому не должен был действовать на реактивы; вся выделившаяся кислота должна была оказаться в *B*, а свободная щелочь — в *A*. Раствор в чашечке *A* потребовал для своей нейтрализации 3,2 объема приготовленной кислоты (525), а раствор в *B* для своей нейтрализации потребовал также 3,2 объема раствора натра (525). Так как асбест должен был впитать в себя немного кислоты и щелочи из этих сосудов, то эти количества являются на столько же преуменьшенными; казалось бы поэтому, что приблизительно одна десятая часть кислоты, находившейся первоначально в сосуде *A*, была за время электрического действия перенесена в *B*.

529. В другом подобном же опыте, когда в сосуде со свободной кислотой из *a* в *b* переходила одна тридцать пятая часть кислоты, в сосудах со связанной кислотой из *A* в *B* переходило от десятой до одиннадцатой части кислоты. Другие опыты такого же рода дали подобные же результаты.

530. Изменение электрического разложения, перенос элементов и накопление их у полюсов в соответствии с тем, из каких частиц состоит подвергаемое действию вещество: из более или из менее противоположных по своему химическому средству, а равно вытекающее отсюда влияние последних обстоятельств, являются достаточно очевидными в тех случаях, где одно и то же количество серной кислоты подвергается действию одного и того же электрического тока, но где в одном случае ему противодействует сравнительно слабое по отношению к ней средство воды, а в другом — более сильное средство натра. Количество перенесенной в последнем случае кислоты оказывается в два с половиной — в три раза больше, чем в первом; отсюда ясно что этот перенос сильно зависит от взаимодействия частиц разлагаемых тел.¹

531. В некоторых опытах кислота из сосудов *a* и *b* нейтрализовалась аммиаком, затем выпаривалась досуха, нагревалась до красного каления, и остаток исследовался на сульфаты. В этих случаях из *a* получалось всегда большее количество сульфата, чем из *b*, что указывает на невозможность избежать солеобразующих оснований (появляющихся из асбеста, стекла или же, может быть, из загрязнений исходной кислоты) и на то, что они способствовали переносу кислоты в *b*. Но это [избыточное] количество было незначительно, и кислота переносилась преимущественно благодаря средству к присутствующей воде.

532. Я пытался поставить некоторые опыты по разложению растворов солей на границе с водой; сначала я действовал электрической машиной на смоченный в растворе кусок фильтровальной бумаги или же асбеста, соприкасавшийся на своих

¹ См. примечание к п. 675. Дек. 1838 г.

концах с заостренными кусками бумаги, смоченными чистой водой; последние служили для того, чтобы подводить и отводить электрический ток от раствора в среднем куске. Однако я натолкнулся на многочисленные трудности. Так, нельзя было предотвратить смешивания воды и растворов в кусках бумаги в тех точках, где они соприкасались. Далее из соединенной с разрядным проводом бумаги, даже из самого воздуха, под влиянием электрического действия могла выделяться кислота в количестве, достаточном для нейтрализации щелочи, образовавшейся у положительного конца разлагаемого раствора, и это могло не только препятствовать появлению щелочи, но и переносить ее к металлическому концу. И, действительно, в некоторых опытах заостренные концы бумаги в этом месте не соприкасались, а машина работала до тех пор, пока на отдающем или положительном конце куркумовой бумажки, содержащей раствор сульфата натра, не образовалась щелочь; тогда достаточно было положить противоположный приемный конец бумаги, соединенной с разрядным проводом, предварительно смоченной дистиллированной водой, на бурый куркумовый конец и прижать их друг к другу, чтобы щелочное действие немедленно исчезло.

533. Описанный ранее опыт с сульфатом магнезии (495) представляет собой как раз нужный пример и весьма ясно доказывает, что серная кислота и магнезия взаимно способствовали переносу и окончательному выделению, точь-в-точь как эта же кислота и натр влияли друг на друга в только что приведенных опытах (527 и т. д.); как только магнезия попадала за пределы достижения кислоты и не встречала другого вещества, с которым бы могла соединяться, она появлялась в своем собственном виде и не могла продолжать свое продвижение к отрицательному полюсу.

534. Мне представляется, что теория, которую я имел смелость предложить, удовлетворительно объясняет все существенные особенности электрохимического разложения.

535. Прежде всего она объясняет, почему во всех обычных случаях выделившиеся вещества *появляются только около по-*

люсов; в самом деле, полюсы являются пограничными поверхностями разлагаемого вещества, и повсюду, за исключением этих поверхностей, каждая частица может найти другие частицы, обладающие противоположным стремлением, с которыми она может вступить в соединение.

536. Затем она объясняет, почему во многих случаях элементы или выделившиеся вещества *не удерживаются* полюсами; а это представляет немалую трудность для тех теорий, которые разлагающее действие приписывают непосредственно притягательной силе полюсов. Если предположить, согласно обычной теории, что кусок платины обладает достаточной притягательной силой для того, чтобы вырвать частицу водорода от той частицы кислорода, с которой она только что была соединена, то нет, повидимому, достаточных оснований, а равно никаких фактов, за исключением нуждающихся еще в объяснениях, которые бы показали, почему бы платина, по аналогии со всеми обычными силами притяжения, как сила тяготения, магнетизм, сцепление, химическое сродство и т. д., не могла *удержать* ту частицу, которую она только что перед этим притянула на расстоянии и вырвала из ранее существовавшего соединения. Однако платина этого не делает, а предоставляет частице водорода свободно удаляться. Это не вызывается также тем, что водород перешел в газообразное состояние, так как кислоты и щелочи и т. д., которым в равной мере предоставлена возможность проникать через окружающую полюсы жидкость, не выказывают особого стремления соединиться с последними или прилипнуть к ним. И хотя известно много случаев, в которых соединение с полюсами имеет место, но они вовсе не объясняют тех явлений, в которых соединения не происходит, и этот частный случай не вскрывает сущности основного принципа разложения.

537. По теории же, только что данной мною, указанное явление представляется естественным следствием действия: выделяющиеся вещества *выталкиваются* из разлагаемой массы (518, 519), а не *извлекаются из нее притяжением*, которое якобы без

видимых к тому оснований перестает действовать на определенную частицу и в то же время продолжает действовать на другие частицы того же рода; и, независимо от того, из чего состоит полюсы: из металла, воды или воздуха, вещество тем не менее выделяется и иногда остается свободным, в других же случаях, наоборот, вступает в соединение с веществом полюсов, в соответствии с химической природой последних, т. е. с их химическим сродством по отношению к тем частицам, которые выделяются из разлагаемого вещества.

538. Предлагаемая теория дает полное представление о переносе элементов; это представление, как мне кажется, всему дает свое объяснение; и в самом деле, к ней меня привели как раз явления переноса в многочисленных случаях разложения тел, приведенных нагреванием в жидкое состояние (380, 402), а также опыты, произведенные в воздухе. Случаи, подобные первым, где действию подвергаются легко разлагаемые двойные соединения, пожалуй, лучше всего иллюстрируют эту теорию.

539. Так, например, расплавленный в изогнутой трубке (400) и разлагаемый с помощью платиновых проволок хлорид свинца выделяет свинец, проходящий к так называемому отрицательному полюсу, и хлор, который, выделяясь около положительного полюса, частью освобождается, а частью соединяется с платиной. Образующийся хлорид платины, который растворим в хлориде свинца, подвержен разложению, постепенно через разлагаемое вещество переносится и сама платина, обнаруживаясь вместе со свинцом у отрицательного полюса.

540. Иодид свинца в избытке выделяет свинец у отрицательного полюса, и иод — у положительного.

541. Прекрасный пример представляет собой хлорид серебра, особенно когда он разлагается с помощью серебряных проволочных полюсов. Если расплавить некоторое количество хлорида серебра на куске стекла и соединить его с полюсами, у отрицательного полюса в избытке выделяется серебро; в таком же избытке оно поглощается у положительного полюса, ибо хлор не выделяется в свободном виде; при некоторой осторожности,

отрицательную проволоку удастся извлекать из расплавленного шарика по мере того, как на ней отлагается серебро; последнее служит продолжением полюса, пока не образуется проволока или нить из выделившегося серебра, длиною в пять или шесть дюймов; в то же время у положительного полюса серебро быстро растворяется выседающим на нем хлором, так что провод приходится непрерывно пододвигать по мере того, как он растворяется. Опыт этот, в котором участвует всего лишь два элемента — серебро и хлор, — прекрасно иллюстрирует перемещение этих элементов в противоположных направлениях, параллельно электрическому току, который в это время сообщает их сродствам однородное и общее направление (524).

542. Согласно моей теории, элемент или неразложимое в условиях данного опыта вещество (как, например, разбавленная кислота или щелочь) не переносилось бы и не переходило бы от полюса к полюсу, если бы оно не обладало родством к другому элементу или веществу, стремящемуся проходить в противоположном направлении, ибо получаемый эффект, по этой теории, по существу зависит от взаимного сродства между такими частицами. Теории же, в которых судьба элементов определяется притяжениями и отталкиваниями полюсов, не требуют такого условия; другими словами, нет никаких оснований к тому, чтобы притяжение положительного полюса и отталкивание отрицательного, действующие на находящуюся между ними в воде частицу свободной кислоты, не было (при равных токах электричества) столь же сильно, как и в том случае, когда эта частица предварительно находится в соединении со щелочью; наоборот, поскольку, в первом случае, полюсам не приходится преодолевать сильного химического сродства, существуют все основания полагать, что они окажутся сильнее и быстрее приведут кислоту к положительному полюсу.¹ Однако дело обстоит не так, как это и было показано опытами со свободной и связанной кислотами (626, 528).

¹ Даже сэр Гемфри Дэви считал, что притяжение полюса передается от одной частицы к другой частице *такого же рода* (483).

543. Теория г. де ля Рива, насколько я ее понимаю, такою *не требует*, чтобы частицы находились в соединении; она даже не допускает, что когда имеются двоякого рода частицы, способные соединяться между собой и проходящие одни мимо других, то эти частицы соединяются, а предполагает, что они перемещаются как отдельные соединения материи и электричества. В действительности, однако же, свободное вещество перемещаться *не может*, а находящееся в соединении — *может*.

544. Среди растворов или жидкостей очень трудно отыскать примеры, которые бы могли пояснить это положение, потому что трудно найти такие две жидкости, чтобы они были проводящими, чтобы не смешивались друг с другом, и чтобы выделившийся из одной жидкости элемент не находил в другой элемента, с которым он мог бы соединиться. *Растворы* кислот или щелочей не удовлетворяют этому условию, потому что их существование обусловлено некоторым притяжением, и если увеличивать растворимость тела в одном направлении и уменьшать ее в другом, это будет столь же веской причиной для переноса, как если бы мы изменили химическое сродство между самими кислотами и щелочами.¹ Тем не менее, случай сульфата магнезии сюда как раз подходит (494, 495) и доказывает, что отдельно взятые ни один *элемент или составная часть сложного вещества* не обладают способностью к переносу или переходу по направлению к одному из полюсов.

545. Однако многие из металлов, находясь в твердом состоянии, представляют собой очень хорошие примеры требуемого типа. Так, если в качестве положительного полюса взять платиновую пластину в растворе серной кислоты, то кислород будет перемещаться по направлению к ней, а равным образом и кислота; однако эти вещества не обладают таким химическим сродством к платине, чтобы могли соединиться с ней даже при тех благоприятных условиях, которые приносятся током (518, 524); поэтому платина остается там, где находилась первоначально,

¹ См. примечание к п. 675. Дек. 1838 г.

и не тяготеет к отрицательному полюсу. Если же платину заменить пластинкой из железа, цинка или меди, то кислород и кислота могут соединиться с ними, и металл начинает немедленно перемещаться (в виде окиси) к противоположному полюсу и, в конце концов, на нем отлагается. Далее, если, сохранив платиновый полюс, заменить серную кислоту расплавленным хлоридом свинца, цинка, серебра и т. д., то когда платина находит элемент, с которым она может соединиться, она входит в соединение, ведет себя так же, как другие элементы при гальваническом разложении, быстро переносится через расплавленное вещество и выталкивается у отрицательного полюса.

546. В теории г. де ля Рива я не вижу никаких оснований, а в теориях, приписывающих электрохимическое разложение производимым полюсом притяжениям и отталкиваниям, усматриваю лишь очень мало оснований для того, чтобы металл положительного полюса не мог переноситься через промежуточный проводник и отлагаться у отрицательного полюса даже в том случае, когда он не может химически действовать на элементы окружающей его жидкости. Это обстоятельство нельзя приписать тому, чтобы действие предотвращалось силами сцепления, ибо то же наблюдается, когда полюсы изготовлены из легчайшей губчатой платины. Равным образом, если распустить в жидкости осажденное сульфатом железа золото, накопления последнего у отрицательного полюса не происходит; между тем, силы сцепления здесь почти полностью преодолены, частицы его настолько малы, что могут часами оставаться взвешенными и прекрасно могли бы под действием легчайшего импульса перемещаться по направлению к любому полюсу; когда же они связаны с которым-либо из присутствующих веществ химическим средством, то сильно стремятся к отрицательному полюсу.¹

¹ При производстве этого опыта надо принять все меры предосторожности, чтобы не присутствовало какое-либо вещество, которое могло бы химически действовать на золото. Хотя я брал очень тщательно вымытый и разведенный в разбавленной серной кислоте металл, тем не менее, я сначала получал золото у отрицательного полюса, и эффект повторялся при

547. В подкрепление этих доводов можно заметить, что до сих пор (насколько мне известно) в случаях простых смесей не наблюдалось тяготения вещества к полюсу или стремления подчиняться электрическому току; иначе говоря, на разведенное в жидкости вещество, не обладающее заметным химическим сродством по отношению к ней или к веществам, которые могли бы выделиться во время действия, электрический ток, повидимому, не оказывает никакого действия. Я распускал в разбавленной серной кислоте растолченный в порошок древесный уголь и вместе с этим раствором подвергал его действию гальванической батареи, которая оканчивалась платиновыми полюсами; однако ни малейшего стремления угля к отрицательному полюсу обнаружить не удалось. Полученная возгонкой сера была размешана в такой же кислоте и подвергнута аналогичному действию, причем в качестве отрицательного полюса была взята пластинка из серебра; однако сера не обнаруживала стремления перемещаться к этому полюсу; серебро не тускнело, не появлялось и сероводорода. Сюда же относятся случай магнезии и воды (495, 533), равно как и случай сильно измельченных металлов в некоторых растворах (546); в самом деле, вещества, как, например, магнезия из раствора сульфата магнезии, которые только что сильно тяготели к полюсу, становятся по отношению к нему совершенно безразличными, как только они получают независимое существование, и удаляются, рассеиваясь в окружающей жидкости.

548. Правда, можно привести множество примеров нерастворимых тел, как то: стекло, сульфат бариты, мрамор, сланец, базальт и т. д., на которые электрический ток действует, но

замене платиновых полюсов. Однако при исследовании прозрачной жидкости гальванического элемента, после осаждения металлического золота, я нашел в растворе небольшое количество этого металла, причем хлор также присутствовал в незначительных количествах. Поэтому я хорошо промыл подвергавшееся гальваническому воздействию золото, развел его в новой порции чистой разбавленной серной кислоты и тогда нашел, что оно под действием гальванического элемента не обнаруживало ни малейшего стремления к отрицательному полюсу.

они не представляют собой исключения; дело в том, что вещества, которые они выделяют, в смысле химического сродства непосредственно и тесно родственны тем веществам, которые они находят в окружающем растворе, так что эти случаи разложения относятся по типу к обычным реакциям.

549. Отсюда может быть сделан общий вывод, что вещества, наиболее противоположные друг другу по химическому сродству, наиболее *легко* отделяются друг от друга в случаях электрохимического разложения, при условии, конечно, что этому не препятствуют другие обстоятельства, например, отсутствие растворимости, недостаточная проводимость, несоответствие количественных отношений и т. д. Известно, что так обстоит дело с водой и растворами солей, а я нашел, что это столь же справедливо для безводных иодидов и хлоридов, солей и т. п., когда их подвергают электрохимическому разложению в расплавленном состоянии (402). Поэтому, когда мы применяем гальваническую батарею для разложения таких тел, которые до сих пор еще не были разложены на более простые, чем они сами, вещества, надо помнить, что успех может зависеть не от слабости, а неудача — не от силы химического сродства, которым исследуемые элементы удерживаются в соединении, а как раз наоборот; и тогда можно было бы придумать новые методы, посредством которых *в сочетании* с обычными химическими силами и при помощи расплавления (394, 417) мы могли бы значительно глубже, чем в настоящее время, проникнуть в строение наших химических элементов.

550. Наиболее изящными и изумительными опытами электрохимического разложения и *переноса*, описанными сэром Гемфри Дэви в его знаменитом докладе,¹ являлись те, в которых кислоты проходили через щелочи, а щелочи или [щелочные] земли — через кислоты;² вызывало величайшее удивление то, каким образом предупреждалось соединение веществ, обладающих

¹ Philosophical Transactions, 1807, стр. 1.

² Там же, стр. 24 и т. д.

наисильнейшим притяжением друг к другу, т. е. каким образом, как говорится, было уничтожено или временно прекращено действие их естественного химического сродства на протяжении всей цепи. Однако, если правилен тот взгляд на эти действия, которого придерживаюсь я, то становится ясным следующее: что казалось необычным, в действительности является *существенным условием* переноса и разложения, и чем больше щелочи имеется на пути кислоты, тем более будет облегчен перенос этой кислоты от полюса к полюсу. И, быть может, нельзя придумать лучшего пояснения для различия между существовавшими ранее и предложенной мною сейчас теориями, чем то, как они соответственно разъясняют подобные факты.

551. Случаи, в которых вследствие осаждения сульфата бариты, серная кислота не могла быть проведена через окись бария или же окись бария через серную кислоту,¹ относятся к области действия рассмотренного выше закона (380, 412), согласно которому жидкое состояние является необходимым условием для существования проводимости и разложения. Когда эти вещества образуют твердый сульфат бариты, они лишаются способности проводить электричество столь низкого напряжения, как электричество гальванической батареи, и действие на них последней уменьшается почти до бесконечности.

552. Выдвинутая мною теория находится в очень удовлетворительном согласии с тем фактом, что элемент или вещество осаждается или, вернее, выделяется то у одного, то у другого полюса. Это явление очень хорошо видно на примере серы.² При разложении серной кислоты элементом сера выделяется у отрицательного полюса, но когда подобным же образом разлагается сернистое серебро (436), то сера появляется у положительного полю-

¹ Там же, стр. 25 и т. д.

² В пп. 681 и 757 седьмой серии будут приведены поправки к положению, высказанному здесь относительно серы и серной кислоты. В настоящее время не имеется хорошо проверенного факта, который бы подтверждал, что одно и то же тело может непосредственно направляться к *любому* из двух полюсов по произволу. Дек. 1838 г.

са; если пользоваться горячим платиновым полюсом для того, чтобы выделившаяся в последнем случае сера испарялась, то отношение этого полюса к сере оказывается точно таким же, как отношение того же полюса, если погрузить его в воду, к кислороду. В обоих случаях выделяющийся элемент освобождается у полюса, но им не удерживается, а в силу своего упругого, не допускающего соединения или смешивания состояния проходит в окружающую среду. Тяготение серы в двух противоположных направлениях, повидимому, обусловлено различным сродством ее к кислороду и серебру, и именно такому сродству я в основном приписывал все электрохимические явления. Там, где сродства нет, электрохимическое действие не может иметь места. Там, где оно сильнее, сильнее и электрохимическое действие; там, где оно меняется на обратное, одновременно меняется направление переноса вещества.

553. Воду можно рассматривать, как одно из тех веществ, которые можно переносить к *любому* полюсу. Когда полюсы погружены в разбавленную серную кислоту (527), кислота проходит к положительному, а вода — к отрицательному полюсу; тогда как при погружении их в разбавленную щелочь последняя проходит к отрицательному, а вода — к положительному полюсу.

554. Еще одним веществом, которое, как полагают, может идти к любому полюсу, является азот, однако вследствие многочисленности образуемых им соединений, из которых одни проходят к одному, а другие — к другому полюсу, я иногда затруднялся определить истинные условия его появления. Чистый крепкий раствор аммиака является таким плохим проводником электричества, что его лишь немного легче разложить, чем чистую воду; однако, если в нем растворить сульфат аммония, то разложение протекает легко; у положительного полюса выделяется почти чистый, а в некоторых случаях и вполне чистый азот, а у отрицательного полюса — водород.

555. С другой стороны, если разлагать крепкий раствор нитрата аммония, то у положительного полюса появляется кислород, а у отрицательного полюса — водород, иногда вместе с азотом.

При электролизе расплавленного нитрата аммония у отрицательного полюса появляется водород, в смеси с небольшим количеством азота. Крепкая азотная кислота дает большое количество кислорода у положительного полюса, но не дает никакого газа (только азотистую кислоту) — у отрицательного. Слабая азотная кислота выделяет содержащиеся в воде кислород и водород, причем кислота, повидимому, остается неизменной. Крепкая азотная кислота с растворенным в ней нитратом аммония дает у отрицательного полюса газ, состоящий главным образом из водорода, но, повидимому, в нем имеется также немного азота. Я полагаю, что в некоторых из этих случаев у отрицательного полюса появлялось немного азота. Я подозреваю, однако, что во всех этих и во всех предыдущих случаях появление азота у положительного или отрицательного полюса всецело представляет собой вторичное действие, а не прямой результат разлагающей способности электрического тока.¹

556. Теперь следовало бы сделать несколько замечаний относительно того, что называется *полюсами* гальванической батареи. Полюсы — это не что иное, как поверхности, или ворота, через которые электричество входит в разлагаемое вещество или же выходит из него. Они ограничивают протяжение этого вещества на пути электрического тока, являясь его *концами* в этом направлении; поэтому выделяющиеся элементы доходят до этого места, но не дальше.

557. Металлы представляют собой превосходные полюсы благодаря их высокой проводимости, несмешиваемости с подвергаемыми действию веществами, твердому состоянию и полной возможности выбирать именно такие металлы, которые не подвержены химическому действию обычных веществ.

558. Вода представляет собой полюс, применение которого, за исключением немногих случаев (494), затруднено ее низкой проводимостью, способностью смешиваться с большинством под-

¹ Подтверждение справедливости этого предположения см. в пп. 748, 752 и т. д. Дек. 1838 г.

вергаемых действию веществ и общности с ними в смысле химического сродства. Она состоит из элементов, которые по своим электрическим и химическим свойствам являются прямо и резко противоположными, хотя, соединяясь, они образуют вещество, по своим свойствам более нейтральное, чем всякое другое. Поэтому существует только немного веществ, которые не входят в силу химического сродства во взаимодействие с водой или одним из ее элементов; а потому либо вода, либо ее элементы переносятся (электрическим током) или способствуют переносу бесконечного количества разнообразных тел, которые в соединении с ней могут быть помещены на пути электрического тока. В этом и заключается причина, почему выделяющиеся вещества так редко остаются у первоначальной поверхности воды, и почему она, таким образом, не ведет себя как обычный полюс.

559. Однако к воздуху и некоторым газам последнее возражение не относится, и во многих случаях (461 и т. д.) ими можно пользоваться как полюсами; однако вследствие присущей им чрезвычайно низкой проводимости ими нельзя пользоваться в сочетании с гальванической батареей. Это ограничивает область их применения, так как гальваническая батарея является единственным до сего времени известным источником, который дает количество электричества, достаточное (371, 376) для того, чтобы с легкостью производить электрохимическое разложение.

560. Когда полюсы подвержены химическому действию выделяющихся веществ либо вследствие их естественного сродства с ними, либо вследствие усиления этого сродства под влиянием тока (518), то они претерпевают коррозию, и растворенные частицы переносятся таким же образом, как и частицы вещества, подвергавшегося разложению ранее. Можно привести огромный ряд явлений этого рода в подкрепление того взгляда, которого я придерживаюсь в отношении причины как электрохимического разложения, так и переноса и выделения элементов. Так, например, платина, если ее взять в качестве положительного и отрицательного полюсов в растворе сульфата натрия, не обладает сродством или притяжением к выделяющимся кислороду,

водороду, кислоте или щелочи, отказывается вступать с ними в соединение и удерживать их. Цинк может соединяться с кислородом и кислотой; у положительного полюса он вступает в соединение и немедленно в виде окиси начинает перемещаться к отрицательному полюсу. Древесный уголь, который неспособен соединяться с металлами, если взять его в качестве отрицательного полюса в растворе соли металла, отказывается вступать в соединение с веществами, выделяемыми из раствора на его поверхности; но когда он является положительным полюсом в разбавленном растворе серной кислоты, то он получает способность соединяться и в силу этого вступает в соединение с выделяющимся там кислородом, давая в избытке как углекислоту, так и окись углерода.

561. Металлы часто представляют значительные преимущества в смысле возможности выбора для полюса вещества, которое бы подвергалось или не подвергалось действию выделяющихся элементов. Заслуживает внимания вытекающее отсюда применение платины. При разложении сернистого серебра и других сернистых соединений положительный серебряный полюс имеет преимущество перед платиновым потому, что в первом случае выделяющаяся сера вступает на полюсе в соединение с серебром, и разложение первоначального сернистого серебра делается очевидным, тогда как в последнем случае сера рассеивается, и не легко удостовериться в ее отделении у полюса.

562. Предложенная мною теория весьма просто объясняет те явления, которые имеют место в случаях, когда в цепь электрического тока последовательно помещены проводящие разложимые и неразложимые вещества, как, например, провода и растворы или воздух и растворы (465, 469). Вследствие реакции составных частей каждой порции разлагаемого вещества, находящегося под дополнительным влиянием электрического тока (524), порции более близких или более удаленных элементов следуют в направлении электрического тока до тех пор, пока они не встречают вещество противоположного рода, способное производить их перенос, и в равной мере претерпевающее и их

влияние; когда же им больше не попадает на пути такое вещество, они выделяются в свободном состоянии, т. е. на поверхностях металла или воздуха, ограничивающих объем разлагаемого вещества в направлении тока.

563. Представив таким образом свою теорию относительно того, каким образом осуществляется электрохимическое разложение, я в настоящий момент воздержусь от многочисленных вытекающих отсюда общих рассуждений, желая сначала подвергнуть ее испытанию путем ее обнародования и обсуждения.

Королевский институт.

Июль 1833 г.

ШЕШТАЯ СЕРИЯ

Раздел 12. О способности металлов и других твердых тел вызывать соединение газообразных тел.

Поступило 30 ноября 1833 г. Доложено 11 января 1834 г.

РАЗДЕЛ 12

О способности металлов и других твердых тел вызывать соединение газообразных тел

564. По тем заключениям, к которым я прихожу в настоящем сообщении, могло бы казаться, что последнее никак нельзя включать как часть в исследования по электричеству; ибо, как бы ни были замечательны эти явления, ту силу, которая их производит, можно считать электрической по происхождению разве только в том смысле, что этот тончайший агент является общей причиной для всякого притяжения частиц. Поскольку, однако, полученные явления были обнаружены при электрических исследованиях, поскольку они непосредственно связаны с другими явлениями электрической природы, и поскольку с ними по необходимости приходится считаться и их избегать в очень обширном ряде электрохимических разложений (707), — я считаю себя вправе привести их описание здесь.

565. Я думаю, что с помощью опытов, которые будут описаны далее (705), я доказал постоянство и определенность химического действия известного количества электричества, независимо от того, каково его напряжение и каковы условия, в кото-

рых происходит его передача через разлагаемое тело или более совершенные проводники, и я имел в виду, основываясь на этом результате, построить новый измерительный прибор, который по характеру его применения можно, по крайней мере предварительно, назвать *вольта-электрометром* (739).¹

566. Во время опытов, предпринятых с целью сделать этот прибор пригодным, я иногда, к своему удивлению, наблюдал, что газы, полученные при разложении воды, выделялись в недостаточном количестве, и что даже газы, которые уже были выделены, собраны и измерены, отчасти исчезали.

Обстоятельства, при которых имело место исчезновение, были следующие. Два платиновых полюса были укреплены в верхнем, наглухо запаянном конце стеклянной трубки, длиной примерно в двенадцать дюймов и в $3/4$ дюйма диаметром; там, где полюсы проходили через стекло, они состояли из проволоки, но ниже они заканчивались пластинками, которые были припаяны к проволокам золотом (рис. 57). Трубка была наполнена разбавленной серной кислотой и опрокинута над чашкой с той же жидкостью. К этим двум проволокам присоединялась гальваническая батарея; выделившиеся кислород и водород заполняли четыре пятых трубки, или

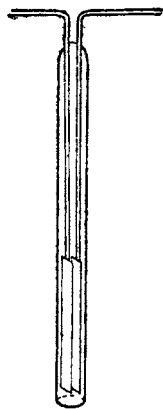


Рис. 57.

116 имевшихся на ней делений. Когда трубка отключалась от гальванической батареи, объем газа немедленно начинал уменьшаться; по истечении примерно пяти часов газ занимал всего $13\frac{1}{2}$ делений и, в конце концов, исчезал совершенно.

567. С помощью различных опытов было найдено, что это явление обусловлено не утечкой или растворением газа и не обратным соединением кислорода и водорода, которое, как можно было предположить, происходило в силу какого-либо особого состояния, свойственного этим газам при указанных условиях,

¹ Или вольтаметром. Дек. 1838 г.

но что оно вызывалось действием одного или обоих находящихся в трубке полюсов на окружающий их газ. Если отсоединить полюсы от элемента после того, как они подействовали на разбавленную серную кислоту, и ввести их в отдельные трубки, содержащие смесь кислорода и водорода, то оказывается, что положительный полюс вызывает, отрицательный же, повидимому, не вызывает соединения газов (588). Было также найдено, что между положительным полюсом и одним только кислородом или одним только водородом заметного взаимодействия не происходило.

568. На основании этих опытов указанные явления надо считать следствием присущей платине способности вызывать соединение кислорода и водорода при обычных и даже при низких температурах после того, как она служила положительным

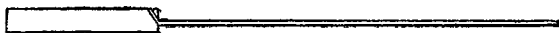


Рис. 58.

полюсом гальванического элемента. Это действие является, насколько мне известно, совершенно новым, и немедленно было произведено исследование, чтобы установить, действительно ли оно является по своей природе электрическим и в какой мере оно мешает количественному определению выделяющихся при электрохимическом разложении веществ, что составляет предмет четырнадцатой серии настоящих исследований.

569. Было изготовлено несколько платиновых пластинок (рис. 58). Они имели около половины дюйма в ширину и два с половиной дюйма в длину; некоторые из них были толщиной в $\frac{1}{200}$ дюйма, другие — не более $\frac{1}{500}$ дюйма, тогда как у некоторых толщина доходила до $\frac{1}{70}$ дюйма. К каждой из этих пластинок с помощью чистого золота был припаян кусок платиновой проволоки, примерно в семь дюймов длиною. Затем было из-

готовлено большое число стеклянных трубок; они имели примерно девять или десять дюймов в длину, внутренний диаметр их был равен $5/8$ дюйма; они были наглухо запаяны на одном конце и градуированы. В эти трубки, помещенные над пневматической ванной, вводилась смесь двух объемов водорода с одним объемом кислорода; продержав одну из описанных пластин в соединении с положительным или отрицательным полюсом гальванической батареи в течение заданного промежутка времени или обработав другим способом, ее вводили через воду в находящийся в трубке газ. Все вместе оставлялось в особом стакане (рис. 59) на более или менее длительный промежуток времени, чтобы можно было наблюдать за явлением.

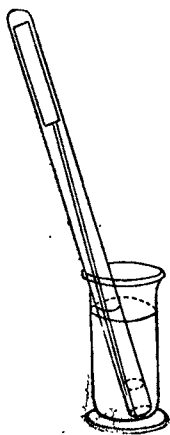


Рис. 59.

570. В качестве иллюстрации подлежащего изучению явления можно привести следующий опыт. Разбавленная серная кислота с удельным весом 1,336 была налита в стеклянный сосуд, в котором находилась также большая платиновая пластинка, соединенная с отрицательным концом умеренно заряженной гальванической батареи, состоявшей из сорока пар четырехдюймовых пластин, где медные пластины были двойные. Затем одна из описанных выше пластинок (569) была соединена с положительным концом и на пять минут погружена в тот же самый сосуд с кислотой, после чего она была отключена от батареи, промыта дистиллированной водой и через воду пневматической ванны введена внутрь трубки, содержащей смесь кислорода и водорода (569). Объем газов немедленно начинал падать, и уменьшение это происходило все более и более быстро, пока не исчезло около $3/4$ смеси. Верхний конец трубки стал совсем теплым, а сама пластинка настолько горячей, что подымавшаяся выше ее вода закипела; по истечении менее чем минуты исчезло полтора кубических дюйма газов, которые под влиянием платины вступили в соединение и превратились в воду.

571. Это необыкновенное свойство, приобретаемое платиной у положительного полюса элемента, при выделении кислорода и водорода проявляется со значительно большей легкостью и эффективностью, чем при всякой другой из исследованных мною газовых смесей. Один объем закиси азота был смешан с одним объемом водорода и введен в трубку, где имелась пластинка, которая предварительно в течение четырех минут служила положительным полюсом в разбавленной серной кислоте (570). На протяжении часа не было никакого заметного действия; через тридцать шесть часов стояния объем уменьшился примерно на одну восьмую. Действие происходило, но было очень слабо.

572. Смесь одного объема закиси азота с одним объемом водорода была помещена в трубку с обработанной подобным же образом пластинкой (569, 570). Здесь также не обнаруживалось немедленного действия, но через тридцать шесть часов оказалось, что исчезло около четверти всей смеси, т. е. около половины кубического дюйма. Из сравнения с другой трубкой, содержащей такой же газ, но не содержащей пластинки, явствовало, что уменьшение количества газа было обусловлено отчасти растворением, а отчасти влиянием платины; однако действие было очень медленно и слабо.

573. На смесь одного объема масляного газа с тремя объемами кислорода такая платиновая пластинка не действовала, даже когда оставалась в ней в течение нескольких дней (640, 641).

574. Смесь двух объемов окиси углерода с одним объемом кислорода в течение нескольких дней также не поддавалась действию обработанной указанным образом платиновой пластинки (645 и т. д.).

575. В нескольких опытах бралась смесь равных объемов хлора и водорода при обработанных таким же образом пластинках (570). Вскоре начиналось уменьшение объема, но когда, по истечении тридцати шести часов, газы были подвергнуты исследованию, то оказывалось, что хлор почти целиком исчез благодаря поглощению его, главным образом, водой, а первоначаль-

ный объем водорода остался неизменным. Таким образом здесь соединения газов не происходило.

576. Возвращаясь к действию подвергавшихся предварительной обработке пластинок на смеси кислорода и водорода (570), я нашел, что хотя во всех случаях указанное свойство постепенно ослабевает, но его, тем не менее, можно сохранить на некоторый промежуток времени, продолжительность которого меняется в зависимости от обстоятельств. Когда в содержащие пластинки трубки (569), по мере конденсации начальных объемов, вводились свежие порции смеси кислорода и водорода, то оказывалось, что действие продолжалось в течение свыше тридцати часов, а в некоторых случаях можно было наблюдать медленное соединение газов даже по истечении восьмидесяти часов; однако продолжительность действия в сильной степени зависела от чистоты взятых газов (638).

577. Несколько пластинок (569) в течение четырех минут получали положительный заряд, находясь в разбавленной серной кислоте с удельным весом 1,336, затем были хорошо промыты дистиллированной водой; после этого две из них были закупорены в небольшую бутылку, а другие оставлены на открытом воздухе. Было найдено, что пластинки, которые хранились в ограниченном количестве воздуха, сохраняли свои свойства в течение восьми дней, а те, которые держались на открытом воздухе, почти полностью теряли свою силу за двенадцать часов, а при некоторых условиях, когда имели место потоки воздуха, — в течение гораздо более короткого срока.

578. Пластинки в течение пяти минут делались положительными, находясь в серной кислоте с удельным весом 1,336. Одна из них, по отключении от батареи, была на восемь минут оставлена в той же кислоте; после этого она действовала на смесь кислорода и водорода, повидимому, с неослабленной силой. Другие после электризации оставались в такой же кислоте в течение сорока часов, а некоторые — даже восьми дней; после этого они вызывали соединение кислорода с водородом столь же успешно, как и пластинки, пущенные в работу немедленно после электризации.

579. Подобным же образом было исследовано действие раствора едкого кали в отношении сохранения свойств платиновых пластинок. Будучи оставлены в таком растворе в течение сорока часов, пластинки эти действовали на кислород и водород чрезвычайно сильно, а одна из них вызвала столь быструю конденсацию газов, что сама сильно нагрелась, и я ожидал, что температура возрастет до каления.

580. Когда обработанные таким же образом пластинки (569) были на сорок часов помещены в дистиллированную воду, а затем введены в смесь кислорода и водорода, то было обнаружено, что они производят лишь очень медленное и слабое действие по сравнению с теми пластинками, которые хранились в кислотах или в щелочах. Однако, когда количество воды было очень незначительно, то свойство пластинок по истечении трех или четырех дней ослабевало очень незначительно. Так как вода хранилась в деревянном сосуде, то часть ее была подвергнута повторной перегонке в стеклянном сосуде; такая вода оказалась способной сохранять обработанные пластинки в течение значительного промежутка времени. Обработанные пластинки были помещены в трубки с такой водой и закупорены в них. Некоторые из них, вынутые через двадцать четыре дня, действовали на смесь кислорода и водорода очень сильно; другие, после пребывания в воде в течение пятидесяти трех дней, все еще оказывались способными вызывать соединение газов. Трубки были закупорены только пробками.

581. Самый процесс соединения газов всегда, казалось, ослаблял или как бы истощал это свойство платиновой пластинки. Правда, в большинстве случаев, если не всегда, соединение газов, сначала незаметное, постепенно ускорялось и иногда кончалось взрывом. Однако, когда взрыва не наступало, то скорость соединения падала, и, несмотря на то, что в трубки вводились свежие порции газа, соединение все больше и больше замедлялось и, наконец, совсем прекращалось. Первое явление — увеличение скорости соединения газов — обусловлено отчасти тем, что, вследствие стекания воды с платиновой пластины, контакт

газов с этой последней улучшается, а отчасти тем теплом, которое развивается по мере того, как соединение идет вперед (630). Однако, несмотря на влияние этих причин, всегда имело место ослабление, а в конце концов и исчезновение этой способности. Нельзя, однако, не отметить, что чем чище были газы, подвергаемые действию пластинки, тем дольше сохранялась ее способность производить соединение. Когда газы, из которых состояла смесь, выделялись около полюсов гальванического элемента в чистой разбавленной серной кислоте, эта способность сохранялась дольше всего, а в смеси совершенно чистых кислорода и водорода, она, по всей вероятности, не будет ослабевать вовсе.

582. Весьма любопытным образом влияли на указанное свойство платиновой пластинки различные способы обработки, которой она подвергалась после того, как переставала быть положительным полюсом элемента. Пластика, служившая в течение четырех или пяти минут положительным полюсом в разбавленной серной кислоте с удельным весом 1,336, промытая водой и помещенная в смесь кислорода и водорода, всегда действует очень сильно и конденсирует, пожалуй, полтора кубических дюйма газа в течение шести или семи минут. Но если та же самая пластина была не просто промыта, а оставлена на двенадцать, пятнадцать или более минут в дистиллированной воде, то при внесении ее в смесь кислорода и водорода она почти всегда раскалялась в течение одной-двух минут и обычно вызывала взрыв газов. Иногда проходило восемь, девять, а иногда даже сорок минут, прежде чем наступало действие, и все же получались накал и взрыв. Данное явление объясняется тем, что при этом удаляется часть той кислоты, которая при других условиях плотно прилипает к пластинке.¹

583. Иногда платиновые пластинки (569), служившие перед тем положительным полюсом батареи, промывались, вытирались фильтровальной бумагой или тряпкой, а затем вновь промывались

¹ Доказательство справедливости этого взгляда см. в п. 1038. Дек. 1838 г.

и вытирались. При последующем введении в смесь кислорода и водорода они действовали так, как если бы вышеуказанная обработка на них не повлияла. Иногда содержащиеся газ трубки на один момент открывались на воздухе, и пластинки в них вводились сухими; однако заметной разницы в действии обнаружено не было, за исключением того, что оно начиналось раньше.

584. Была также исследована (595) способность тепла влиять на действие обработанных платиновых пластинок. Пластинки, делавшиеся положительными в течение четырех минут в разбавленной серной кислоте, хорошо промывались водой и нагревались до красного каления в пламени спиртовой лампочки; после этого они действовали на смесь кислорода и водорода весьма сильно. Другие, которые были подогреты сильнее с помощью паяльной лампы, также действовали после этого на газы, хотя и не так сильно, как первые. Следовательно, ясно, что тепло не лишает платину способности, приобретаемой ею у положительного полюса элемента; случайное ослабление этой способности всегда можно было отнести за счет действия не тепла, а других причин. Если, например, пластинка не была тщательно отмыта от кислоты, если взятое для опыта пламя коптело, если спирт в той лампочке, от которой получалось пламя, содержал в небольших количествах кислоты или если на фитиле находилось немного соли или другого вещества, то указанная способность пластинки падала быстро и сильно (634, 636).

585. Это замечательное свойство сообщалось пластинке, когда она служила положительным полюсом, одинаково, если серная кислота, в которую она погружалась, имела удельный вес 1,336 или была значительно более разбавлена, или более крепка, вплоть до крепости купоросного масла. С тем же успехом действовали крепкая и разбавленная азотная кислота, разбавленная уксусная кислота и растворы виннокислотной, лимонной и щавелевой кислот. При употреблении соляной кислоты пластинки также приобретали способность конденсировать кислород и водород, но в значительно более слабой степени.

586. Пластинки, которые делались положительными в растворе едкого кали, не обнаруживали заметного действия на смесь кислорода и водорода. Другие пластинки, которые делались положительными в растворах карбонатов кали и натра, проявляли это действие, но лишь в слабой степени.

587. При опытах с нейтральными растворами сульфата натра, селитры, хлората, фосфата или ацетата кали, или же сульфата меди, пластинки, делавшиеся в них положительными в течение четырех минут и затем промытые водой, действовали на смесь кислорода и водорода быстро и сильно.

588. Если говорить о причине этого свойства платины, то весьма важно было установить, *один ли положительный* полюс может сообщать его (567), или же, несмотря на многочисленные противоречащие этому данные, обладает этим свойством и *отрицательный* полюс, если устранить все те обстоятельства, которые могли бы помешать этому действию или не допустить его вовсе. С этой целью три пластинки в течение четырех минут делались отрицательными, будучи погружены в разбавленную серную кислоту с удельным весом 1,336, промывались дистиллированной водой и помещались в смесь кислорода и водорода. *Все они действовали* на смесь, хотя и не так сильно, как это было бы, если бы делать их положительными. Каждая в течение двадцати пяти минут конденсировала примерно один с четвертью кубический дюйм газов. При всех повторениях опыта получался одинаковый результат, а когда пластинки перед внесением их в газ (582) оставлялись на десять или двадцать минут в воде, действие значительно ускорялось.

589. Но если в кислоте присутствовал какой-либо металл или другое вещество, которое могло осаждаться на отрицательной пластинке, тогда эта пластинка переставала действовать на смесь кислорода и водорода.

590. Эти опыты заставляют думать, что способность вызывать соединение кислорода и водорода, которую можно было сообщить куску платины, сделав его положительным полюсом гальванического элемента, не зависит существенным образом

ни от действия этого элемента, ни от того или иного строения или расположения частиц, которые платина могла приобрести при соединении с ним, но что эта способность присуща платине всегда и *действует всякий раз*, как поверхность последней совершенно чиста. И хотя можно было бы считать, что при пользовании пластинкой в кислотах в качестве *положительного* полюса элемента получают наиболее благоприятные условия для очищения ее поверхности, все же представлялось вполне возможным, что и обычные операции могли бы привести к такому же результату, хотя и менее резко выраженному.

591. В соответствии с этим воззрением платиновая пластинка (569) была почищена, для чего ее терли пробкой, небольшим количеством воды и золой на стеклянной пластинке; затем она была промыта и помещена в смесь кислорода и водорода; оказалось, что она действовала на газы сначала медленно, а затем более быстро. В течение часа исчезло полтора кубических дюйма смеси.

592. Другие пластинки чистились обыкновенной шкуркой и водой; третьи — мелом и водой, четвертые — наждаком и водой; пятые — черной окисью марганца и водой и, наконец, шестые — куском древесного угля и водой. Все пластинки в трубках с кислородом и водородом обнаруживали действие, вызывая соединение газов. Это действие отнюдь не было столь же сильным, как действие, производимое пластинками, бывшими в соединении с батареей, но за время от двадцати пяти до восьмидесяти или девяноста минут исчезало от одного до двух кубических дюймов газов.

593. Если чистить пластинки с помощью пробки, наждачного порошка и разбавленной серной кислоты, они, как оказывалось, действовали еще лучше. Для простоты пробка была оставлена и заменена куском листовой платины; явление все же наблюдалось. Затем вместо кислоты был взят раствор едкого кали, но явление наблюдалось, как и ранее.

594. Эти результаты вполне доказывают, что одной механической очистки поверхности платины достаточно, чтобы прояс-

вилась ее способность производить соединение кислорода и водорода при обычных температурах.

595. Затем я испробовал, в какой мере сообщает платине указанное выше свойство теплота (584). Пластинки, которые не действовали на смесь кислорода и водорода, были подогреты на пламени свежезаправленной спиртовой лампы, усиленной паяльной трубкой, и по охлаждению были введены в трубки со смешанными газами; они действовали сначала медленно, но по истечении двух-трех часов конденсировали почти целиком весь газ.

596. Платиновая пластинка, примерно в один дюйм шириной и в два и три четверти дюйма длиной, которая еще не была в работе в предыдущих опытах, была слегка согнута так, чтобы пройти в трубку, и оставлена на тринадцать часов в смеси кислорода и водорода; ни малейшего действия или соединения газов не возникало. Пластинка была вынута из газа через воду пневматической ванны, нагрета с помощью спиртовой лампы и паяльной трубки до красного каления и затем, по охлаждению, возвращена в ту же порцию газа. По истечении нескольких минут можно было наблюдать уменьшение объема газов, а через сорок пять минут их исчезло около одного с четвертью кубического дюйма. Платиновые пластинки при нагревании приобретали способность вызывать соединение кислорода и водорода во многих других опытах.

597. Нередко, однако, случалось, что пластинки после нагревания не обнаруживали способности соединять кислород с водородом, хотя их и оставляли в газах спокойно в течение двух часов. Иногда случалось также, что пластинка, которая, будучи нагрета до темнокрасного каления, действовала слабо, совсем переставала действовать, когда ее нагревали до белого каления; в других случаях пластинка, не действовавшая при легком нагревании, при более сильном нагревании становилась активной.

598. Хотя, таким образом, теплота и ненадежна по своему действию, и она часто ослабляет способность, сообщенную пластинам у положительного полюса элемента (584), тем не менее,

очевидно, что она может активировать платину, бывшую ранее инертной (595). Причина случающейся иногда неудачи, по видимому, лежит в том, что поверхность металла загрязняется либо чем-то приставшим к ней ранее и под действием тепла прилипающим к ней еще более плотно, либо веществом, получающимся из пламени лампы или даже из воздуха. Часто случается, что поверхность отполированной платиновой пластинки после нагревания спиртовой лампой и паяльной трубкой темнеет и тускнеет от чего-то, образовавшегося или отложившегося на ней; уже этой, и даже гораздо меньшей, причины достаточно для того, чтобы предотвратить проявление той ее любопытной способности, которая нами сейчас рассматривается (634, 636). Существует также указание, что платина может соединяться с углеродом, и очень возможно, что при процессе нагревания, когда присутствует углерод или его соединения, может образоваться пленка из такого углеродистого соединения, которая не допускает проявления свойств, присущих чистой платине.¹

599. Затем было экспериментально изучено действие щелочей и кислот в смысле сообщения платине этого свойства. Не действующие на смесь кислорода и водорода пластинки (569), будучи прокипячены в растворе едкого кали, промыты и затем помещены в газы, действовали иногда довольно сильно, но иногда не действовали вовсе. Я считал, что в последнем случае загрязнение поверхности платины было таково, что его нельзя было устранить одним только растворяющим действием щелочи; в самом деле, когда пластины были протерты небольшим количеством наждака и тем же щелочным раствором (592), они становились активными.

600. Действие кислот было более постоянно и удовлетворительно. Платиновая пластинка была прокипячена в разбавленной азотной кислоте; будучи промыта и помещена в смесь кислорода

¹ Теплота сообщает платине это свойство единственно путем разрушения или рассеивания органического или другого вещества, до этого загрязнявшего пластинку (632, 633, 634). Дек. 1838 г.

и водорода, она действовала сильно. Другие пластины кипятились в крепкой азотной кислоте от полминуты до четырех минут и после промывания дистиллированной водой оказывались действующими очень сильно, конденсируя в течение восьми — девяти минут полтора кубических дюйма газа и вызывая нагревание трубки (570).

601. Весьма успешно активировала платину крепкая серная кислота. Пластика подогревалась в кислоте в течение одной минуты, затем была промыта и помещена в смесь кислорода и водорода; она действовала на нее также сильно, как если бы предварительно служила положительным полюсом гальванического элемента (570).

602. Те пластинки, которые после нагревания или электризации в щелочи или после какой-нибудь другой обработки, оказывались инертными, будучи погружены на одну-две минуты, или хотя бы на один момент, в горячее купоросное масло и затем в воду, немедленно приобретали изучаемое нами свойство.

603. Когда пластинка была погружена в купоросное масло, вынута из него и затем нагрета для удаления кислоты, то она не действовала вследствие загрязнения, оставленного кислотой на ее поверхности.

604. Растительные кислоты, как уксусная и виннокаменная, иногда активировали инертную платину, а иногда нет. Я полагаю, что это зависело от природы того вещества, которое перед тем загрязняло пластинки и которое, как естественно предположить, в одних случаях удаляется этими кислотами, а в других нет. Слабая серная кислота обнаруживала такое же различие действий, тогда как с крепкой серной кислотой (601) неудач никогда не было.

605. Наиболее действительным способом обработки, если не считать того, когда платину делают положительным полюсом в крепкой кислоте, являлся следующий. Пластинку держали над пламенем спиртовой лампы и в горячем виде протирали куском едкого кали; последний, расплавляясь, покрывал металл слоем очень крепкой щелочи; этот слой в течение одной или двух се-

кунд¹ оставляли расплавленным на поверхности; затем пластинку на четыре-пять минут опускали в воду, чтобы смыть щелочь, встряхивали и примерно на минуту погружали в горячее купоросное масло; отсюда ее переносили в дистиллированную воду, где ее оставляли от десяти до пятнадцати минут для удаления последних следов кислоты (582). При последующем введении пластины в смесь кислорода и водорода соединение начиналось немедленно и протекало быстро; трубка нагревалась, платина доходила до красного каления, и остаток газов воспламенялся. Это действие можно было по желанию повторять несколько раз; таким образом явление можно было получить в максимальном его виде без помощи гальванической батареи.

606. Когда при этом способе обработки серная кислота была заменена виннокаменной или уксусной, то пластинка все же, как оказывалось, приобретала те же свойства и часто вызывала взрыв смеси газов; однако крепкая серная кислота действовала наиболее надежно и наиболее сильно.

607. Если на поверхности платиновой пластинки расплавить буру или смесь карбонатов кали и натра и хорошо промыть эту пластинку водой, то она обнаруживает способность вызывать соединение кислорода с водородом, однако лишь в умеренной степени; если же после расплавления и промывания пластинку погрузить в горячую серную кислоту (601), то она становится весьма активной.

608. Далее были произведены опыты с другими металлами, помимо платины. Золото и палладий проявляли указанную способность и в том случае, когда предварительно служили положительным полюсом гальванической батареи (570), и при действии на них горячего купоросного масла (601). В случае палладия действие батареи или кислоты должно быть ослаблено, так как этот металл при указанных условиях легко подвер-

¹ Не следует повышать температуру настолько, чтобы щелочь вызвала потемнение платины, хотя и это не препятствует последующему действию.

гается химическому действию. С серебром и медью при обычных температурах *никакого действия получить* не удалось.

609. Не остается никаких сомнений в том, что свойство вызывать соединение газов, сообщаемое массе платины и других металлов присоединением их к полюсам батареи или механической или химической очисткой их, является тем же самым свойством, которое, как открыл в 1823 г. г. Доберейнер (Dobereiner),¹ в столь сильной степени присуще губчатой платине, и которое потом так хорошо было экспериментально изучено и разъяснено гг. Дюлонгом (Dulong) и Тенаром (Thénard)² в 1823 г. Эти ученые приводят даже опыты, в которых очень тонкая платиновая, проволока, свернутая и предварительно проваренная в азотной, серной или соляной кислотах, при внесении ее в струю водорода³ раскалялась. В настоящее время я могу, с помощью описанных

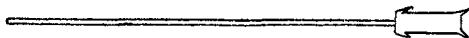


Рис. 60.

процессов (570, 601, 605), вызывать это действие по произволу как с проволоками, так и с пластинками; и если брать пластинку поменьше, вырезанную таким образом, чтобы она могла лежать на стекле лишь несколькими точками, позволяя, тем не менее, воде стекать (рис. 60), потеря тепла оказывается меньшей, металл до некоторой степени уподобляется своему пористому видоизменению, и вероятность неудачи почти совершенно исключается.

610. Г-н Доберейнер приписывает это явление целиком электрическому действию. Он считает, что платина и водород образуют гальванический элемент обычного типа, в котором водород, будучи в высокой степени положительным, играет ту же роль,

¹ Annales de Chimie, XXIV, стр. 93.

² Там же, XXIII, стр. 440; XXIV, стр. 380.

³ Там же, XXIV, стр. 383.

как цинк в обыкновенном аппарате, и поэтому, подобно ему, притягивает кислород и с ним соединяется.¹

611. В двух прекрасных экспериментальных работах² гг. Дюлонг и Тенар показывают, что повышение температуры благоприятствует этому действию, но не изменяет его характера; накаленная добела платиновая проволока сэра Гемфри Дэви представляет собой то же самое явление, что и губчатая платина Доберейнера. Эти ученые доказывают, что в большей или меньшей степени этими свойствами обладают *все* металлы; что при повышении температуры оно присуще даже таким телам, как древесный уголь, пемза, фарфор, стекло, горный хрусталь и т. п., и что одно из наблюдавшихся Дэви явлений, в котором кислород и водород медленно соединялись при температуре ниже красного каления, в действительности было обусловлено соответствующим свойством нагретого стекла, — свойством, которое присуще этому последнему наравне с вышеупомянутыми телами. Они утверждают, что жидкости этого явления не обнаруживают, что, по крайней мере, ртуть при температуре кипения и ниже не обладает этим свойством, что оно обусловлено не пористостью, что одно и то же тело очень сильно меняется в отношении своего действия, в соответствии с состоянием тела, и что при повышении температуры проявляется влияние и на многие другие газовые смеси, помимо кислорода и водорода, и вызывается их химическое взаимодействие. Они считают возможным, что губчатая платина приобретает эту свою способность вследствие соприкосновения с выделяющейся при ее восстановлении кислотой или же вследствие нагревания, которому она при этом подвергается.

612. Относительно теории этого действия гг. Дюлонг и Тенар высказываются с большой осторожностью, но все же, упоминая о способности металлов разлагать аммиак, нагретый до таких температур, которые сами по себе еще недостаточны для того,

¹ Annales de Chimie, XXIV, стр. 94, 95; Bibliothèque Universelle, XXIV, стр. 54.

² Там же, XXIII, стр. 440; XXIV, стр. 380.

чтобы действовать на щелочь, они отмечают, что те металлы, которые в данном случае действуют наиболее сильно, наоборот, особенно слабо вызывают соединение кислорода и водорода; в то же время платина, золото и т. п., которые слабее других способны разлагать аммиак, обладают максимальной способностью вызывать соединение элементов воды. Это обстоятельство приводит вышеупомянутых ученых к предположению, что под влиянием металлов одни газы стремятся к соединению, тогда как другие стремятся к разложению, и что это свойство у различных металлов меняется в противоположных направлениях. В конце второй статьи они указывают, что действие это таково, что не может быть приведено в связь ни с какой из известных теорий; и хотя весьма замечательно, что, подобно большинству электрических действий, эти явления являются преходящими, тем не менее, вышеуказанные ученые утверждают, что большинство наблюдавшихся ими результатов нельзя объяснить предположением об их чисто электрическом происхождении.

613. Д-р Фузиньери (Fusiniери) также писал на эту тему и предложил теорию, с его точки зрения удовлетворительно объясняющую эти явления.¹ Непосредственную причину последних он определяет таким образом: «На поверхности платины происходит непрерывное возобновление плотных пленок горючего газообразного или парообразного вещества, которое, протекая над ней, сгорает, удаляется и опять возобновляется; это сгорание у поверхности повышает и поддерживает температуру металла». Предполагается, что это горючее вещество, сведенное таким образом до неуловимых пленок, уплотненные частицы которых соприкасаются с кислородом, находится в таком состоянии, в котором оно может соединиться с кислородом при значительно более низких температурах, чем находясь в газообразном состоянии, и которое больше напоминает условия, имеющие место (в момент выделения). Фактами, из которых некоторые приведены в *Giornale di Fisica* за 1824 г.,² он считает доказан-

¹ *Giornale di Fisica* и т. д., 1825, VIII, стр. 259.

² Стр. 138, 371.

ным, что горючие газы теряют свое упругое состояние и затвердевают, принимая форму тончайших и в то же время твердых пластов; и хотя, согласно теории, это состояние должно наступить при высоких температурах и хотя подобные же пленки водные или другого вещества под действием тепла рассеиваются, автор, тем не менее, принимает, что факты подтверждают это заключение вопреки всяким доводам.

614. Способность, или сила, вследствие которой горючий газ или пар при соприкосновении с твердым телом теряет свое упругое состояние, чтобы покрыть это тело тонким слоем своего же собственного вещества, не рассматривается ни как притяжение, ни как химическое средство. Благодаря этой способности жидкие и твердые тела могут распространяться в виде твердых пленок на поверхности действующего твердого тела; эта особенность заключается в *отталкивании*, которое исходит из частей твердого тела в силу одного уже факта утончения и является максимальным тогда, когда утончение доходит до конца. Эта сила развивается постепенно и действует наиболее энергично раньше всего в том направлении, в котором уменьшаются размеры утончающейся массы, а затем в направлении углов или выступов, которые по той или другой причине могут оказаться на поверхности. Эта сила не только производит спонтанное рассеивание газов и других веществ на поверхности; автор считает ее весьма элементарной по природе и пригодной для объяснения всех явлений капиллярности, химического средства, сцепления, разрежения, кипения, испарения, улетучивания, взрыва и других термометрических явлений, а равно и воспламенения, детонации и т. п. Она рассматривается, как форма тепла, которой дается название *природженного теплорода*; далее высказывается мысль, что она есть первопричина двух электричеств и двух магнетизмов.

615. Я тем сильнее старался правильно изложить существо взглядов д-ра Фузиньери, что, с одной стороны, не могу ясно представить себе ту силу, которой он приписывает данные явления, с другой — вследствие несовершенного знания языка, на котором

написана его статья. Поэтому всех, кто занимается этим вопросом, я отсылаю к самой статье.

616. Не имея, однако, ощущения, чтобы задача уже была разрешена, я позволяю себе высказать взгляд, который представляется мне достаточным для объяснения данного явления на основе уже известных положений.

617. Следует указать, что действие это, поскольку оно касается платины, нельзя объяснить каким-либо особым временным состоянием, все равно какого рода: электрического или какого-либо другого; факт активности пластинок, сделанных с помощью полюса положительными или отрицательными, или очищенных с помощью таких различных веществ, как кислоты, щелочи или вода, древесный уголь, наждак, зола или стекло, или же просто подогретых, в достаточной мере опровергает подобное мнение. Далее, это действие зависит не от того, что металл оказывается губчатым и пористым или, наоборот, плотным и полированным, массивным или тонким, так как в каждом из этих состояний металл можно сделать действующим, и можно у него отнять способность к действию. Единственным существенным условием является, повидимому, *совершенная чистота и металлическая поверхность*, так как всякий раз, как это условие выполнено, платина действует независимо в остальном от формы и состояния ее. И хотя всякие изменения в этом отношении очень сильно влияют на скорость рассматриваемого действия, а потому и на видимые проявления и вторичные действия его, т. е. на раскаливание металла и воспламенение газов, но, тем не менее, даже при наиболее благоприятном состоянии, они не могут вызвать никакого действия, если не выполнено также условие, чтобы поверхность была совершенно чистой и металлической.

618. Действие это, очевидно, производится большинством, а может быть и всеми твердыми телами; вероятно, многими из них лишь в слабой степени; но оно сильно возрастает для платины. Дюлонг и Тенар вполне научно расширили наши познания об этом свойстве, показав, что им обладают все металлы, а также щелочные земли, стекло, минералы и т. д. (611); таким

образом устраняется всякая мысль о том, что действие это является одним из уже известных и признанных электрических действий.

619. Все относящиеся сюда явления приводят меня к убеждению, что рассматриваемые действия являются совершенно случайными и имеют характер вторичных, что они обусловлены *естественными свойствами* упругости газов, связанными с проявлением той силы притяжения, которой в высокой степени обладают многие тела, особенно твердые, — силы, которая присуща, вероятно, всем телам и которая заставляет их вступать в более или менее тесную связь. При этом они не образуют химического соединения, хотя нередко сила принимает характер прилипания; иногда она, при особо благоприятных условиях, как в настоящем случае, приводит к химическому соединению тел, одновременно подвергнутых действию этого притяжения. В отношении как сил внутреннего сцепления, так и сил химического сродства я готов признать — и, вероятно, многие другие придерживаются того же мнения, — что сфера действия частиц простирается за пределы тех частиц, с которыми они непосредственно и явно связаны (523), и что во многих случаях это действие производит значительные эффекты. Я полагаю, что этот вид притяжения является основной причиной явления Доберейнера и многих других явлений того же рода.

620. Простые и общеизвестные примеры этого вида притяжения представляются телами, смачиваемыми жидкостями, с которыми они не вступают в химическое соединение, и в которых они не растворяются.

621. Более яркими примерами той же способности, стоящими несколько ближе к исследуемым случаям, являются все те тела, которые, будучи нерастворимы в воде и не соединяясь с ней химически, оказываются гигроскопичными и конденсируют пары воды на своей поверхности или вокруг нее. Если порошкообразную глину, протоксид или пероксид железа, окись марганца, древесный уголь или даже металлы, как губчатую платину или осажденное серебро, поместить в атмосферу, содержа-

щую водяные пары, то они быстро становятся влажными благодаря некоторому притяжению, которое способно сгущать пары на этих веществах, не вызывая, однако, химического соединения с ними. Если же, как общеизвестно, эти увлажненные таким образом вещества поместить в сухую атмосферу, например, в замкнутый объем над серной кислотой, или подогреть их, то они снова почти полностью отдают эту воду, так как она не находится в настоящем или постоянном соединении с ними.¹

622. Еще лучшим (так как он представляет больше аналогии с подлежащими объяснению случаями) примером указываемой мною способности является столь известное мастерам, изготовляющим барометры и термометры, притяжение, существующее между стеклом и воздухом. В самом деле, здесь прилипание, или притяжение, проявляется между твердым телом и газами, т. е. между телами в весьма различных физических состояниях, не обладающими способностью вступать в соединение друг с другом и сохраняющими во время этого действия свое физическое состояние неизменным.² Когда в барометрическую трубку наливают ртуть, то образовавшийся между металлом и стеклом слой воздуха сохраняется в течение месяцев, а может быть, насколько это известно, и в течение годов; и его возможно удалить не иначе, как действием специально применяемых для этой цели способов. Последние заключаются в кипячении ртути, или, другими словами, в образовании большого количества паров, которые, входя в соприкосновение со всеми участками стекла и поверхности ртути, постепенно перемешиваются с воздухом, притянутым и прилипшим к этим поверхностям, растворяют и уносят его,

¹ В Эдинбурге я ознакомился с примером гигроскопичности, замечательным по размерам, но, может быть, слегка усиленным незначительной растворяющей способностью. Кусок торфа был хорошо высушен длительным действием воздуха в защищенном месте; однако, подвергнутый затем действию гидростатического пресса, *он под влиянием одного только давления* отдал 54 процента воды.

² Фузиньери и Беллани считают, что в этих случаях воздух образует Твердые сгустившиеся пленки. *Giornale de Fisica*, 1825, VIII, стр. 262.

замещая воздух другими парами, подверженными такому же или может быть еще более сильному притяжению; эти же последние, по охлаждении, сгущаются в виде той же самой жидкости, которой наполнена трубка.

623. Влияние инородных тел, которые, действуя в качестве центров при кристаллизации или осаждении растворов, вызывают на себе осаждение вещества, тогда как в других частях жидкости осаждения не происходит, повидимому, объясняется способностью такого же рода, т. е. силой притяжения, распространяющейся на соседние частицы и заставляющей их удерживаться вокруг этих центров, хотя она оказывается и недостаточной для того, чтобы заставить их вступить в химическое соединение с веществом центров.

624. Из рассмотрения многих случаев центров в растворах и действия тел, помещенных в атмосферу, содержащую пары воды, камфары, иода и т. п., можно вывести, что это притяжение является отчасти как бы избирательным, напоминая по своим свойствам как силы внутреннего сцепления, так и силы химического сродства; это не только не противоречит, а напротив, даже подтверждает поддерживаемое здесь представление, согласно которому это притяжение представляет собой свойство частиц, действующих не на другие частицы, с которыми они могут вступить в непосредственное и тесное соединение, а на такие частицы, которые либо более удалены от них, либо в силу создавшихся условий, физического строения или слабого сродства неспособны образовать с ними настоящее соединение.

625. Конечно, из всех тел, именно от газов можно скорее всего ожидать, что они будут обнаруживать *взаимодействие*, когда они *совместно* находятся под действием силы притяжения платины или другого активного твердого тела. Жидкости, как вода, алкоголь и т. п., находятся в столь плотном и сравнительно несжимаемом состоянии, что трудно ожидать, чтобы их частицы приблизились друг к другу вследствие притяжения тела, к которому они прилипают еще больше; а между тем, это притяжение должно (судя по его действиям) расположить их частицы столь

же близко к частицам твердого смоченного тела, насколько они близки друг к другу; и во многих случаях вполне очевидно, что первое притяжение является более сильным. Наоборот, газы и пары представляют собой тела, способные под влиянием внешних агентов претерпевать весьма сильные изменения относительного расстояния между частицами; и там, где эти частицы находятся в непосредственном соприкосновении с платиной, приближение их к частицам металла может быть очень значительным. В случае упомянутых выше (621) гигроскопичных веществ этого оказывается достаточным для того, чтобы пары превратить в жидкость, часто из столь разреженного пространства, что при отсутствии этого влияния потребовалось бы сжать их с помощью механической силы до объема, составляющего не более $\frac{1}{10}$ или даже $\frac{1}{20}$ первоначального, чтобы они перешли в жидкое состояние.

626. Другое весьма важное соображение, касающееся этого действия тел и, насколько мне известно, до сих пор не отмеченное, относится к тому упругому состоянию, в котором газы находятся на активной поверхности. Мы обладаем лишь весьма несовершенными познаниями о действительных внутренних соотношениях частиц тел, находящихся в твердом, жидком и газообразном состоянии. Однако, когда мы говорим о газообразном состоянии, как о состоянии, обусловленном отталкиванием частиц или их «атмосфер», то, хотя мы можем и заблуждаться, представляя себе каждую частицу в виде малого ядра для атмосферы из тепла, электричества или другого агента, мы, тем не менее вряд ли впадем в ошибку, если будем считать, что упругость обуславливается *взаимностью* действия. Но эта взаимная связь совершенно отсутствует со стороны газовых частиц, находящихся по соседству с платиной, и мы можем а priori ожидать уменьшения упругой силы в этом месте по крайней мере до половины. В самом деле, если, как показал Дальтон (Dalton), упругие силы частиц одного газа не могут противодействовать упругим силам частиц другого, так как оба газа представляют друг для друга как бы пустоту, то еще менее правдоподобно, чтобы какое-

либо влияние могли оказать на рядом с ними расположенные частицы газа частицы платины, — влияние, подобное тому, которое проявили бы на них частицы того же газа.

627. Но уменьшение силы до половины на обращенной к металлу стороне газообразного тела является лишь несущественным следствием того, что, как мне кажется, неизбежно вытекает из принятого нами представления о строении газов. Атмосфера одного газа или пара, как бы он ни был плотен или сжат, является по своему действию для другого газа как бы пустотой; если поместить немного воды в сосуд, содержащий сухой газ, например воздух, при давлении в сто атмосфер, то паров из воды подымается столько же, как в совершенную пустоту. В данном случае частицы водяных паров, испытывая влияние исключительно со стороны подобных им частиц, повидимому, легко могут приблизиться на любое расстояние к частицам воздуха; и если так обстоит дело по отношению к телу, обладающему такими же упругими силами, как и сами пары, то насколько же более несомненно, что так будет обстоять дело в случае частиц, вроде частиц платины или другого граничащего с газом тела, которое не обладает этими упругими силами и при этом и по своей природе не похоже на пары. Итак, казалось бы, что частицы водорода и всякого другого газа или пара, которые оказываются по соседству с платиной и т. п., должны соприкасаться с ней так, как если бы они были в жидком состоянии; следовательно, они должны быть почти в бесконечное число раз ближе к платине, чем друг к другу, если даже предположить, что металл не проявляет по отношению к ним никаких сил притяжения.

628. Третье и очень существенное соображение в пользу взаимодействия газов при таких условиях заключается в их полной смесимости. Если жидкие тела, способные соединяться друг с другом, способны также смешиваться, то при смешивании *они соединяются*, даже в отсутствии каких-либо других благоприятствующих обстоятельств; но если взять вместе два таких газа, как кислород и водород, то хотя сродство этих элементов достаточно сильно, чтобы они соединялись друг с другом естественным

путем при тысяче различных обстоятельств, они все же не соединяются при простом смешивании. А ведь очевидно, что благодаря полному перемешиванию частицы находятся в состоянии, которое наиболее благоприятно для соединения их, если только появится какая-либо содействующая этому причина, как то: отрицательное действие платины, выражающееся как бы в ослаблении или уничтожении упругости газов у прилегающей к ней стороны, или же положительное действие металла в виде конденсации газов на поверхности металла при помощи некоторой силы притяжения или же совместное влияние обоих факторов.

629. Несмотря на то, что существует лишь небольшое число явных случаев соединения под влиянием сил, которые являются внешними по отношению к соединяющимся частицам, их, тем не менее, достаточно для того, чтобы устранить всякие могущие возникнуть с этой стороны затруднения. Сэр Джемс Голл (Hall) нашел, что углекислота и известь под давлением могут оставаться в соединении при таких температурах, при которых это соединение не сохранялось бы при устранении давления; сам я имел случай наблюдать пример непосредственного соединения хлора,¹ который, будучи сжат при обычной температуре, соединяется с водой и образует определенный кристаллический гидрат; последний не мог бы образоваться или существовать при устранении этого давления.

630. В соответствии с вышеизложенным, когда платина действует на кислород и водород и вызывает их соединение, последовательный ход явлений можно представить себе в следующем виде. Под влиянием упомянутых обстоятельств (619 и т. д.), т. е. ослабления упругих сил и притяжения газов металлом, газы, когда они прилегают к металлу, конденсируются настолько, что при существующей температуре начинает проявляться действие сил их взаимного химического сродства; ослабление упругих сил не только подвергает газы более значительному притягивающему влиянию металла, но и приводит их в состоя-

¹ Philosophical Transactions, 1823, стр. 161.

ние, более благоприятное и для соединения, отнимая у них часть той силы (от которой зависит их упругость), которая в остальной массе газов препятствует их соединению. Следствием их соединения является образование паров воды и повышение температуры. Поскольку, однако, притяжение платины по отношению к образовавшейся воде не больше, чем по отношению к газам, и разве что достигает этой величины, так как металл весьма мало гигроскопичен, то пары быстро диффундируют в оставшиеся газы; поэтому в соприкосновение с металлом приходят свежие порции газа, последние вступают в соединение, а вновь образовавшиеся пары также претерпевают диффузию, позволяя новым порциям газа подвергаться действию металла. Таким путем процесс идет вперед, но ускоряется еще выделением тепла, которое, как известно из опыта, облегчает соединение в соответствии со своей интенсивностью; температура, таким образом, постепенно возрастает, пока не наступает воспламенение.

631. Такое объяснение рассеяния создаваемых у поверхности платины паров и соприкосновение с металлом свежих порций кислорода и водорода не вызывает затруднений. Самая платина, по этому представлению, не вступает ни с какими частицами в соединение, а лишь собирает их вокруг себя; сжатые частицы могут так же свободно удаляться от платины и замещаться другими частицами, как и некоторый объем более плотного воздуха на поверхности земли или на дне глубокой шахты может, под действием ничтожнейшего импульса, перемещаться в верхние, более разреженные слои атмосферы.

632. Едва ли необходимо указывать какие-либо причины того, что платина не обнаруживает этого действия при обычных условиях. В этом случае платина недостаточно чиста (617), и газы не могут приходить с ней в соприкосновение и подвергаться ее действию в той степени, которая нужна для того, чтобы их соединение наступило при обычных температурах; такое действие они могут испытывать лишь у ее поверхности. Действительно, та самая сила, которая вызывает соединение

кислорода с водородом, способна, при обычном случайном действии на платину, конденсировать на поверхности последней посторонние вещества, которые загрязняют платину и временно лишают ее способности вызывать соединение кислорода и водорода, не допуская их до соприкосновения с нею (598).

633. Чистая платина (я разумею такую, которая служила положительным полюсом элемента (570) или была обработана кислотой (605), а затем на двенадцать-пятнадцать минут опущена в дистиллированную воду) проявляет особое трение, когда два куска ее трут один о другой. Она легко смачивается чистой водой, если даже ее отряхнуть и высушить над пламенем спиртовой лампы; если взять ее в качестве полюса гальванического элемента в разбавленной кислоте, то она выделяет маленькие пузырьки со всей своей поверхности. В обычном же своем состоянии платина не проявляет этого особого трения; она не смачивается водой так легко, как смачивается чистая платина, и если брать ее в качестве положительного полюса элемента, она в течение некоторого промежутка времени выделяет большие пузырьки, которые, на взгляд, пристают или прилипают к металлу и образуются в отдельных и определенных точках поверхности. Эти внешние признаки и действия, равно как и отсутствие способности соединять кислород и водород, являются следствиями и признаками загрязнения поверхности.

634. Я нашел также, что тщательно очищенные платиновые пластинки быстро загрязняются при одном выставлении их на воздух, ибо по истечении двадцати четырех часов они уже не смачивались так легко водой; жидкость скоплялась местами, оставляя часть поверхности несмоченной; наоборот, другие пластинки, которые были на то же время оставлены в воде, после высушивания (580) смачивались и обнаруживали и остальные признаки чистой поверхности.

635. Так обстояло дело не только с платиной и металлами, но и с горными породами. Горный хрусталь и обсидиан не смачивались на своей поверхности, но, будучи обработаны крепкой кислотой или купоросным маслом, затем промыты и оставлены

в дистиллированной воде для удаления кислоты, легко смачивались, независимо от того, были ли они предварительно высушены или оставлены влажными; но если их высушить и оставить на двадцать четыре часа на воздухе, их поверхность загрязнялась настолько, что вода ее не смачивала, а собиралась отдельными порциями. Вытирание тряпкой (даже самой чистой) действовало еще хуже, чем оставление на воздухе: поверхность как минералов, так и металлов становилась как бы слегка жирной. Способность небольших частиц металла плавать на воде при обычных условиях является следствием такого загрязнения поверхности. Исключительные трудности при очищении однажды загрязненной или засаленной поверхности ртути обусловлены той же причиной.

636. Теми же причинами объясняется, почему эта способность платиновых пластинок быстро исчезает при некоторых условиях, особенно в результате употребления. В случае губчатого металла гг. Дюлонг и Тенар наблюдали тот же самый эффект, как, впрочем, и все те, кто пользовался огнивом Доберейнера. При оставлении пластинок на воздухе, при опускании их в обыкновенную дистиллированную воду, во время действия их на обыкновенный кислород и водород, — во всех случаях они могут обнаружить, что те небольшие загрязнения, которые раз коснулись поверхности платины, ею удерживаются и оказываются достаточными для того, чтобы помешать полному действию платины на кислород и водород при обычных температурах; в свою очередь, небольшого повышения температуры достаточно для того, чтобы компенсировать это действие и вызвать соединение.

637. Нельзя представить себе у твердого тела состояния, более благоприятного для этого действия, чем то, в котором находится платина, полученная путем нагревания из хлороплатината аммония. Она обладает весьма обширной и чистой поверхностью, доступной в то же время для приведенных с ней в соприкосновение газов. Если поместить ее во что-нибудь загрязняющее ее, внутренние части ее, по наблюдениям Тенара и Дюлонга, сохраняются чистыми благодаря защитному дей-

ствию внешних частей; что же касается температуры, то благодаря своему отдельному строению платина является таким плохим проводником тепла, что почти вся теплота, выделяющаяся при соединении первых порций газа, остается внутри ее массы, усиливая стремление к соединению последующих порций.

638. Я должен теперь отметить некоторые весьма необычные обстоятельства, препятствующие этому явлению; они определяются не природой или состоянием металла или другого действующего твердого тела, а присутствием некоторых веществ, примешанных к подвергающимся действию газам; поскольку я часто буду иметь случай говорить о смеси кислорода и водорода, то я хотел бы, чтобы под этим всегда разумелась смесь, составленная из одного объема кислорода и двух объемов водорода, что представляет собой пропорцию, необходимую для образования воды. Во всех случаях, где не делается других оговорок, водород получался действием разбавленной серной кислоты на чистый цинк, а кислород — нагреванием из хлората калия.

639. Смеси кислорода и водорода с *воздухом*, содержащие четверть, половину и даже три четверти последнего, при введении в трубки совместно с обработанными (570, 605) платиновыми пластинками, подвергались действию последних почти так же хорошо, как и в отсутствии воздуха; задержка была значительно меньше того, чего можно было ожидать, учитывая одно лишь разбавление газа и вытекающие отсюда затруднения для соприкосновения газов с пластинками. В течение двух с половиной часов почти весь кислород и водород, введенные в виде смеси, исчезали.

640. Однако, когда подобные же опыты были проделаны с *маслородным газом* (платиновые пластинки служили положительными полюсами гальванического элемента (570) в кислоте), получались совершенно иные результаты. Была составлена смесь из 29,2 объема водорода и 14,6 объема кислорода, что представляет собой пропорцию, требующуюся для образования воды, и к этой смеси была добавлена другая смесь — из трех объемов кислорода и одного объема маслородного газа, так что последний

составлял всего $\frac{1}{48}$ всего объема; тем не менее, в этой смеси платиновая пластина не проявляла действия в течение сорока пяти часов. Неудача была обусловлена не отсутствием какой-либо силы у пластинки, так как, когда по истечении этого времени я вынимал пластинку из данной смеси и помещал ее в смесь кислорода и водорода, она немедленно начинала действовать и, по истечении семи минут, вызвала взрыв газа. Такой результат получался неоднократно, а когда я брал более высокие пропорции маслородного газа, то действие представлялось еще более безнадежным.

641. В смесь, состоящую из сорока девяти объемов кислорода и водорода (638) и одного объема маслородного газа, была введена тщательно обработанная платиновая пластинка. К концу тех двух часов, в течение которых я наблюдал за газами, уменьшение объема его было едва заметно; однако через двадцать четыре часа трубка оказалась разорванной на куски. Таким образом действие, хотя и было сильно задержано, в конце концов все же произошло и достигло максимума.

642. В смеси, состоявшей из девяноста девяти объемов кислорода и водорода (638) и одного объема маслородного газа, слабое действие обнаруживалось по истечении пятидесяти минут; действие шло дальше, ускоряясь (630) до восьмидесяти пятой минуты, и тут становилось настолько сильным, что происходил взрыв газа. Здесь также прекрасно обнаруживается задерживающее действие маслородного газа.

643. Пластинки, обработанные щелочью и кислотой (605), производили действия, аналогичные с только что описанными.

644. Из этих опытов совершенно ясно, что маслородный газ даже в небольших количествах оказывает весьма замечательное влияние, предотвращая при этих условиях соединение кислорода и водорода и, тем не менее, не портя способности платины и не изменяя ее.

645. Другим поразительным примером подобного противодействия может служить окись углерода, особенно по сравнению с угольной кислотой. На смесь одного объема кислорода и водо-

рода (638) с четырьмя объемами угольной кислоты платиновая пластинка, обработанная кислотой и т. п. (605), немедленно оказывала действие, а через час с четвертью почти весь кислород и водород исчезали. Смеси, содержащие меньшее количество угольной кислоты, поддавались этому действию еще легче.

646. Но если угольная кислота заменялась окисью углерода, то не получалось ни малейшего следа соединения газов; когда окись углерода составляла всего одну восьмую часть всего объема, не обнаруживалось никакого действия в течение сорока или пятидесяти часов. Тем не менее пластинки не утрачивали своей способности, так как, вынутые из смеси и опущенные в чистые кислород и водород, они начинали действовать сейчас же и весьма хорошо.

647. Два объема окиси углерода и один объем кислорода были смешаны с девятью объемами кислорода и водорода (638). На эту смесь пластинка, которая была сделана положительной в кислоте, не оказывала действия, хотя и оставалась в смеси пятнадцать часов. Но когда к таким же объемам кислорода и окиси углерода добавлялось тридцать три объема кислорода с водородом, так что окись углерода теперь составляла лишь $\frac{1}{18}$ часть всего объема, пластинка начинала действовать, сначала медленно, по истечении же сорока двух минут наступал взрыв газов.

648. Эти опыты были распространены на различные газы и пары; результаты этих опытов можно формулировать следующим образом: если брать для разбавления смеси кислорода с водородом кислород, водород, азот и закись азота, они не предотвращают действия пластинок даже тогда, когда составляют четыре пятых полного объема подвергаемых действию газов. Ни в одном случае запаздывание не достигало того значения, которого можно было ожидать при учете одного только разбавления смеси кислорода с водородом и вытекающего отсюда механического затруднения для соприкосновения последних с платиной. Угольная кислота и остальные упомянутые вещества, повидимому, располагались в следующем порядке, где менее мешающее вещество стоит впереди: закись азота, водород, уголь-

ная кислота, азот, кислород; возможно однако, что во всех этих случаях предварительная обработка пластинок была произведена с неодинаковой тщательностью, и что прочие условия также не были одинаковы; поэтому для точного установления этого порядка необходимы были бы дальнейшие опыты.

649. Что касается случаев задерживающего действия, то действие в этом отношении маслородного газа и окиси углерода уже были описаны. Смеси кислорода и водорода, содержащие от $\frac{1}{16}$ до $\frac{1}{20}$ сероводорода или же фосфористого водорода, сначала как будто обнаруживали некоторое слабое действие, но в дальнейшем обработанные пластинки не оказывали никакого влияния, хотя и находились в соприкосновении с газами в течение семидесяти часов. По удалении из смеси пластинки оказывались совершенно утратившими способность действовать на чистую смесь кислорода с водородом; следовательно, противодействие указанных газов по природе своей отлично от действия первых двух, так как вызывает в пластинках остающиеся изменения.

650. Небольшой кусок пробки был погружен в сероуглерод и пронесен через воду в трубку, содержащую смесь кислорода и водорода (638), так что часть паров сероуглерода должна была рассеяться среди этих газов. Внесенная в газовую смесь пластинка сначала как будто обнаруживала некоторое действие, однако по истечении шестидесяти одного часа уменьшение объема газов было весьма незначительно. Помещенная в чистую смесь кислорода и водорода та же самая пластинка действовала сразу и сильно, так что, повидимому, она не претерпела никакого уменьшения своей силы.

651. Небольшое количество паров эфира, примешанных к кислороду и водороду, задерживало действие пластины, но полностью его не предотвращало. Небольшое количество паров нефтяного газа,¹ сгущенного в жидкость, задерживало это действие еще сильнее, но все же далеко не так сильно, как такой

¹ Philosophical Transactions, 1825, стр. 440.

же объем маслородного газа. В обоих этих случаях в соединение друг с другом входили исходные кислород и водород, а эфир и нефтяной газ оставались нетронутыми; в обоих случаях пластинки сохраняли способность действовать на свежую смесь кислорода и водорода.

652. Затем вместо пластинок была взята губчатая платина, и на нее в воздухе пускалась струя водорода, к которому примешивались различные газы. Результаты оказались точно такие же, хотя и принимали иногда более внушительный характер. Так, когда опыты начинались при обычных температурах, смесь одного объема маслородного газа или же окиси углерода с тремя объемами водорода не была в состоянии нагреть губчатую платину, а смесь равных объемов азота и водорода действовала очень хорошо, вызывая раскаливание. С угольной кислотой результаты были еще более поразительными. Смесь трех объемов этого газа с одним объемом водорода вызывала раскаливание платины; но при попытке поджечь смесь свечкой у основания струи, она не продолжала гореть. Даже составленная из семи объемов угольной кислоты и одного объема водорода смесь вызывает раскаливание холодной губчатой платины, и как бы для контраста, резче которого нельзя себе представить, она не может загораться от свечи и, напротив, вызывает потухание последней. С другой стороны, смеси окиси углерода или же маслородного газа, которые никак не действуют на платину, воспламеняются от горящей свечи и горят сильно.

653. Водород, смешанный с парами эфира или нефтяного газа, вызывает раскаливание губчатой платины. Смесь с нефтяным газом горит пламенем значительно более ярким, чем пламя смеси водорода с уже упомянутым маслородным газом, так что, повидимому, задерживающее действие углеводородов зависит совсем не от одного только количества присутствующего углерода.

654. В связи с этими вредными действиями я должен отметить, что сам по себе водород, полученный из проходящего над раскаленным железом водяного пара, в смеси с кислородом не поддавался действию платины. Газ оставался над водой в тече-

ние семи дней и утратил всякий неприятный запах, но струя его не вызывала раскаливания губчатой платины при обычных температурах, и он не вступал в соединение с кислородом в трубке ни под влиянием обработанной пластинки, ни под влиянием губчатой платины. Смесь одного объема этого газа с тремя объемами чистого водорода и с надлежащим количеством кислорода не поддавалась действию пластинок по истечении пятидесяти часов. Я склонен приписать это явление присутствию в газе окиси углерода, но не имел времени проверить своего предположения. Способность пластинок [вызывать раскаливание] не разрушалась (640, 646).

655. Таковы основные факты, касающиеся этих замечательных вредных действий. Обусловлены ли эти явления, производимые столь малыми количествами определенных газов, непосредственным действием газа на частицы кислорода и водорода, вследствие которого последние делаются менее склонными к соединению, или же тем, что они вызывают временное (ибо существенного и настоящего изменения в ней не производят) изменение в действии пластинок, обволакивая их благодаря более сильному, чем у водорода, притяжению, или как-либо иначе, — это остается решить более обширными опытами.

656. Мне представляется, что предложенная мною для первичных явлений теория действия вполне удовлетворительно объясняет все действия на основании известных свойств материи и позволяет обойтись без предположения о каком-либо новом свойстве. Я несколько подробнее остановился на этом вопросе, ввиду его большой важности, так как убежден, что поверхностные действия материи — все равно: между двумя телами или одного куска того же тела, а равно действия частиц, не находящихся в непосредственном или устойчивом соединении, с каждым днем приобретают все большее значение для наших теорий в области химии и механики.¹ Очевидно, что во всех обычных случаях горения

¹ Как любопытный пример влияния механических сил на химическое сродство я приведу тот факт, что некоторые тела не выветриваются при наличии совершенно гладкой поверхности, хотя немедленно покрываются

действие рассматриваемого рода, возникающее на поверхности горящего угля, а также в яркой части пламени, должно иметь большое влияние на образование там соединений.

657. Упомянутая выше (626, 627) упругость во внешней части массы газов или паров находится, вероятно, в непосредственной связи с действием на пары твердых тел как центров сгущения, вызывающих конденсацию предпочтительно на этих телах, а не в самой массе паров; в общеизвестном влиянии центров на растворы мы, может быть, имеем дело с подобными же условиями (623), так как между содвиганием частиц тела в растворе и частиц тела в газообразном или парообразном состоянии существует некоторое сходство. Это соображение приводит нас к рассмотрению того, каковы соответствующие условия на поверхностях соприкосновения двух объемов одного и того же тела при одной и той же температуре, находящихся: один — в твердом или жидком, а другой — в парообразном состоянии, как, например, водяные пары и вода. Казалось бы, что частицы пара по соседству с частицами воды относятся к последней не так, как к любой другой жидкости или твердому телу, как, например, к ртути или платине, при замене ими воды, если только правильна принятая мною точка зрения независимого действия (626, 627), являющаяся следствием принципов Дальтона. Казалось бы так же, что взаимная связь между сходными частицами и существующее между несходными частицами безразличие, которые фактически установлены Дальтоном для газов и паров, до некоторой степени распространяется на твердые тела и жидкости, т. е. на те случаи,

налетом, как только нарушена целость поверхностного слоя. Если кристаллы карбоната, фосфата или сульфата натра с ненарушенной поверхностью предохранять от влияния внешних сил, то они не покрываются налетом. Я таким образом сохранял совершенно прозрачными и неизменными кристаллы карбоната натра с сентября 1827 г. по январь 1833 г., а кристаллы сульфата натра — с мая 1832 г. по настоящее время, т. е. до ноября 1833 г. Если в каком-либо месте поверхности появлялась царапина или разлом, то в этом месте появлялся налет, покрывавший всю поверхность. Кристаллы были помещены в выпаривательную чашку и покрыты бумагой.

когда они находятся в соприкосновении с собственными парами или парами других тел. Однако, хотя я и считаю весьма важными эти вопросы о связи, существующей между различными веществами и их физическим строением в твердом, жидком и газообразном состояниях, но я продумал их недостаточно для того, чтобы осмелиться высказать здесь какое-либо определенное мнение или утверждение. ¹

658. Известно много случаев, когда такие вещества, как кислород и водород, в момент *выделения* действуют легко и вызывают химические изменения, которых они после перехода в газообразное состояние вызывать уже не могут. Такие примеры весьма обычны у полюсов гальванического элемента и, я полагаю, легко поддаются объяснению, если принять во внимание, что в момент отделения каждой такой частицы последняя целиком окружена другими частицами *отличного* от нее типа, с которыми она тесно соприкасается, и что она еще не вступила в те связи и условия, которые она обнаруживает при полном своем развитии и которые она приобретает только тогда, когда объединяется с такими же, как она, частицами. В самом деле, в этот момент упругость частицы отсутствует, и она находится в таком же отношении к частицам, с которыми соприкасается и к которым имеет сродство, в каком находятся между собой частицы кислорода и водорода на поверхности чистой платины (626, 627).

659. Мы видели замечательные явления торможения, вызываемые ничтожными количествами некоторых газов, тогда как большие количества других газов их произвести не могут (640, 645, 652); если эти явления обусловлены каким-либо средством добавляемых газов с поверхностью твердого тела, то они, вероятно, окажутся тесно связанными с любопытными явлениями, представляемыми различными газами при прохождении через узкие трубки при низком давлении; я наблюдал их много лет

¹ В связи с этим и п. 626, см. поправку, сделанную д-ром Генри в его ценной статье по этому любопытному вопросу. *Philosophical Magazine*, 1835, VI, стр. 365. *Дек. 1838 г.*

тому назад.¹ Я полагаю, что это действие поверхностей оказывает влияние на чрезвычайно интересное явление диффузии газов, по крайней мере в том виде, в котором оно изучалось г. Грэмом (Graham) в 1829 и 1831 гг.,² а также д-ром Митчелем (Mitchel) в Филадельфии в 1830 г.³ Представляется весьма вероятным, что при опытах с таким веществом, как губчатая платина, получился бы закон диффузии газов, отличный от того, который получается при опытах с гипсом.

660. Я намеревался вслед за этой главой поместить главу, посвященную вторичным элементам Риттера и особым свойствам полюсов элемента или металлов, через которые проходило электричество, — свойствам, которые наблюдались гг. Риттером, (Ritter), Ван Марумом (van Marum), Иелином (Jelin), де ля Ривом, Марианини, Берцелиусом и другими. Мне представляется, что все эти явления допускают удовлетворительное объяснение на основании известных принципов, связанное с только что законченными исследованиями, и не требуют предположения о каком-либо новом состоянии или новом свойстве. Поскольку, однако, указанные опыты, а особенно опыты Марианини нуждаются в весьма тщательном повторении и изучении, то, в связи с необходимостью дальнейшего изучения вопросов электрохимического разложения, я вынужден временно отложить только что упомянутые мною исследования.

Королевский институт.

30 ноября 1833 г.

¹ Quarterly Journal of Science, 1819, VII, стр. 106.

² Quarterly Journal of Science, XXVIII, стр. 74: Edinb. Transactions, 1831.

³ Journal of the Royal Institution, 1831, стр. 101.