

Ф 24  
№ 2



АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР

~ КЛАССИКИ НАУКИ ~



МИХАИЛ ФАРАДЕЙ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ

ТОМ II

ПЕРЕВОД С АНГЛИЙСКОГО  
А. В. ЯКОВЛЕВОЙ

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



ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

1954

Под общей редакцией Комиссии Академии Наук СССР  
по изданию научно-популярной литературы  
и серии «Итоги и проблемы современной науки»

Председатель Комиссии Академии Наук СССР

академик **С. И. ВАВИЛОВ**

Зам. председателя член-корреспондент Академии Наук СССР

*П. Ф. ЮДИН*



---

---

# ПРЕДИСЛОВИЕ



По соображениям, указанным в предыдущем томе «Экспериментальных исследований по электричеству», я пришел к решению собрать оставшиеся серии и прибавить к ним кое-какие другие статьи, посвященные исследованиям по электричеству.

К тем замечаниям в предисловии, которые содержат указанные соображения, я отсылаю всех, которые почтут настоящие исследования своим вниманием. В этом томе я, как и ранее, напечатал свои статьи или с малыми изменениями, или совсем без изменений. Единственное сделанное мною исключение состоит в том, что вверху каждой страницы я поместил точную и правильную дату каждой статьи.

К сожалению, я включил в том и такие статьи, которые имеют полемический характер, но ничего не мог сделать. Некоторые из них содержат много нового, важного и разъяснительного материала. Введение материала, принадлежащего не мне, а другой стороне (например, Нобили и Антинори, Гейру), было существенно для понимания дальнейших рассуждений, содержащихся в ответных статьях.

Я много обязан Королевскому обществу, г-ну Мэррью и г-ну Тэйлору за большую любезность, которую они проявили по отношению ко мне предоставлением мне клише и т. п., а также другими действиями, облегчившими печатание настоящего тома.

Указатель относится и к «Экспериментальным исследованиям» и к статьям смешанного содержания. Поэтому ссылки по необходимости сделаны двояким образом: те, которые относятся к «Исследованиям», дают номера параграфов; их можно узнать по тому, что соответственные числа сравнительно велики; остальные дают страницы; этим числам всегда предшествует слово «стр.».

*Михаил Фарадей.*

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ**





---

---

# ПЯТНАДЦАТАЯ СЕРИЯ

---

---

*Раздел 23. Заключение о характере направления электрической силы у электрического угря.*

Поступило 15 ноября. Доложено 6 декабря 1838 г.

## РАЗДЕЛ 23

### **Заключение о характере направления электрической силы у электрического угря**

1749. Как ни удивительны законы и явления электричества, когда они открываются нам в неорганической, или мертвой, материи, интерес их едва ли может идти в сравнение с тем, который присущ той же силе, когда она связана с нервной системой и с жизнью; и хотя мрак, который в настоящее время окружает вопрос, может пока что затмить и его значение, всякое продвижение в нашем знании об этой могущественной силе в ее отношении к инертным предметам помогает нам рассеять этот мрак и выявить более ощутимо чрезвычайный интерес этой важнейшей отрасли физической науки. В самом деле, мы находимся только на пороге того, что человеку дозволено знать об этом предмете; и те многие выдающиеся ученые, которые помогли выяснению этого вопроса, до самого последнего момента чувствовали, как это весьма очевидно по их высказываниям, что дело обстоит именно так.

1750. После того, как стало известно, благодаря трудам Рише, с'Гравезанда, Фирмина, Уолша, Гумбольдта и др.,

существование животных, способных давать такие же сотрясения живой системе, как электрическая машина, гальваническая батарея и гроза, стало настоятельно необходимо установить тождество жизненной [living] силы, которую они обладают, с той, которую человек может возбудить у инертной материи и которая получила название электричества (265, 351). С электрическим скатом это было выполнено в совершенстве; определено и направление тока силы общими трудами ученых: Уолша,<sup>1</sup> Кэвендиша,<sup>2</sup> Гальвани,<sup>3</sup> Гардини,<sup>4</sup> Гумбольдта и Гей-Люссака,<sup>5</sup> Тодда,<sup>6</sup> сэра Гэмфри Дэви,<sup>7</sup> д-ра Дэви,<sup>8</sup> Беккереля<sup>9</sup> и Маттеуччи<sup>10</sup>.

1751. С этой же целью производились опыты над угрем, и исследования Уильямсона,<sup>11</sup> Гардена,<sup>12</sup> Гумбольдта,<sup>13</sup> Фальберга<sup>14</sup> и Гизана<sup>15</sup> пошли весьма далеко в доказательстве тождественности электрической силы у этого животного с электричеством, возбуждаемым обычными способами; два последних ученых получили даже искру.

1752. В качестве животного, подходящего для дальнейших исследований в этой тонченной отрасли знания, угорь, кажется, в некоторых отношениях удобнее, чем скат, особенно (как это заметил Гумбольдт) по своей способности

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1773, стр. 461.

<sup>2</sup> Там же, стр. 196.

<sup>3</sup> Aldini's Essai sur le Galvanisme, II, стр. 61.

<sup>4</sup> De Electrici Ignis Natura. Мантуя, 1792, § 71.

<sup>5</sup> Annales de Chimie, XIV, стр. 15.

<sup>6</sup> Philosophical Transactions, 1816, стр. 120.

<sup>7</sup> Там же, 1829, стр. 15.

<sup>8</sup> Там же, 1832, стр. 259; 1834, стр. 531.

<sup>9</sup> Traité de l'Electricité, IV, стр. 2641.

<sup>10</sup> Bibliothèque Universelle, 1837, XII, стр. 163.

<sup>11</sup> Philosophical Transactions, 1775, стр. 94.

<sup>12</sup> Там же, стр. 102.

<sup>13</sup> Personal Narrative, гл. XVII.

<sup>14</sup> Swedish Transactions, 1801, стр. 122, 156.

<sup>15</sup> De Cymnoto Electrico. Тюбинген, 1819.

переносить заключение и сохраняться живым и здоровым в течение долгого срока. Одного угря удалось продержать активным несколько месяцев, в то время как ската д-р Дэви не смог сохранять свыше двенадцати или пятнадцати дней, а Маттеуччи из ста шестнадцати таких рыб не был в состоянии сохранить живой хотя бы одну свыше трех дней, несмотря на то, что он соблюдал все условия, благоприятствующие их сохранению<sup>1</sup>. Поэтому получение угрей было делом большой важности; побуждаемый любезными сообщениями барона Гумбольдта, я в 1835 г. обратился в ведомство колоний, где мне была обещана всяческая помощь в добывании нескольких таких рыб, и теперь я все время ожидаю получения или самих животных, или сообщений о них.

1753. За это время сэр Эверард Хом также поручил одному из своих друзей переслать ему нескольких угрей, которые предназначаются для его королевского высочества, нашего нового президента, и другие господа тоже заняты этим делом. Это обстоятельство заставляет меня включить в настоящее сообщение часть письма барона Гумбольдта, которое я получил в ответ на мой запрос; он говорит в нем о том, как их лучше переправлять через Атлантику. Он пишет:

«Угорь, который распространен в Каракасских льяносах (вблизи Калабозо) во всех малых речках, впадающих в Ориноко в английской, французской и голландской Гвианах, выдерживает перевозку без труда. Мы потеряли их так быстро в Париже, потому что их слишком утомляли [опытами] сразу по их приезде. Г-да Нордерлинг и Фальберг сохранили их в Париже живыми свыше четырех месяцев. Я бы посоветовал перевозить их из Суринама (из Эссеквибо, Дсмерары, Кайенны) летом, так как угорь у себя на родине живет в воде при 25° С (77° Ф). Некоторые имеют пять футов в длину, но я бы посоветовал выбирать таких, которые

---

<sup>1</sup> Bibliothèque Universelle, 1837, XII, стр. 174.

имеют в длину двадцать семь, двадцать восемь дюймов. Их сила меняется с пищей и с их общим состоянием. Они обладают небольшим желудком и едят мало и часто; пища их состоит из вареного мяса (*не соленого*), небольших рыб и даже хлеба. Перед погрузкой на корабль следует провести опыты над их силой и над родом пищи для них и выбрать только тех рыб, которые уже освоились с неволей. Я содержал их в ящике или корыте около четырех футов длины и шестнадцати дюймов ширины и глубины. Вода должна быть *пресная* и меняться каждые три-четыре дня; рыбам не следует мешать выходить на поверхность, потому что они любят глотать воздух. Над корытом и вокруг надо растянуть сетку, так как угри часто выскакивают из воды. Это—все указания, которые я могу вам дать. Впрочем, *важно* еще не мучить и не переутомлять животных, потому что они истощаются от частых электрических разрядов. В одном корыте можно держать несколько угрей».

1754. Один угорь был недавно привезен в нашу страну г. Портером и куплен владельцами Галлерей на Аделаида-стрит; они тотчас же чрезвычайно любезно дали мне разрешение экспериментировать с рыбой для научных целей, предоставив ее временно исключительно в мое распоряжение, чтобы однако (в согласии с указанием Гумбольдта) (1753) ее силы не были ослаблены; они выразили только желание, чтобы я сохранил ее жизнь и здоровье. Я не замедлил воспользоваться их готовностью пойти навстречу интересам науки и с большой благодарностью принял их предложение. С этим угрем при любезной помощи г. Брэдли из указанной Галлерей, г. Гассио, а иногда и других господ, как-то профессоров Даниеля, Оуена и Уитстона, я получил полное доказательство тождественности его силы с обычным электричеством (265, 351 и т. д.). Все это было уже получено ранее с электрическим скатом (1750), а кое-что, например, удар, цепь и искра (1751)—и с угрем, но все же

я думаю, что краткое сообщение о результатах будет интересно для Королевского общества, и я даю их как необходимые предварительные опыты к тем исследованиям, которые мы надеемся провести, как прибудет ожидаемое пополнение животных (1752).

1755. Рыба имеет в длину сорок дюймов. Она была поймана около марта 1838 г.; в Галлерею была доставлена 15 августа, но не ела со дня своей поимки до 19 октября. Начиная с ночи 24 августа г. Брэдли подбавлял в воду немного крови; вода на следующее утро заменялась свежей, и таким путем животное, возможно, получало некоторое питание. 19 октября оно убило и съело четыре маленьких рыбки; с этого дня крови больше ему не давали, а животное стало поправляться, поглощая в среднем по одной рыбе в день.<sup>1</sup>

1756. Я экспериментировал с угрем 3 сентября, когда он казался вялым, но давал сильные удары, если руки были удачно расположены на его теле (1760, 1773 и сл.). Опыты были проведены в течение четырех различных дней с перерывами для отдыха от месяца до недели. Здоровье рыбы, повидимому, непрерывно улучшалось, и именно в течение этого периода, между третьим и четвертым днями опытов, она начала есть.

1757. Кроме рук, для опытов служили два рода коллекторов. Одни состояли из медного стержня длиной в пятнадцать дюймов, с медным диском диаметром в полтора дюйма, припаянным с одного конца, и с медным цилиндром, прикрепленным с другого; цилиндр служил ручкой с широким контактом для руки. Начиная от диска кверху, стержень был покрыт толстой каучуковой трубкой, чтобы изолировать эту часть от воды. С их помощью можно было определять состояние отдельных частей рыбы, когда она находилась в воде.

---

<sup>1</sup> Пищей для угря послужили пескарн, карп и окунь.

1758. Другой род коллекторов должен был устранить затруднение, представляемое полным погружением рыбы в воду, потому что даже для получения искры я не считал себя вправе просить, чтобы животное вынималось на воздух. Медная пластинка восьми дюймов длины и в два с половиною дюйма ширины была изогнута в виде седла так, чтобы, надеваясь на рыбу, она могла охватывать некоторую часть ее спины и боков; к ней была припаяна толстая медная проволока, чтобы отводить электрическую силу к испытательному прибору. На седло надевалась рубашка из листового каучука с краями, выступающими вниз и на концах. Концы были сделаны сходящимися так, чтобы они до некоторой степени приходились по телу рыбы, а нижние края были устроены так, чтобы они упирались во всякую горизонтальную поверхность, на которую ставилось седло. Часть проволоки, которая могла оказаться в воде, была покрыта каучуком.

1759. Когда эти проводники прикладывались к рыбе, они собирали силу в достаточном количестве, чтобы производить многие электрические действия, но когда надо было воспользоваться всеми возможностями до конца, как, например, при получении искры, на дно воды помещались стеклянные пластины, и на рыбу, находившуюся над ними, надевались проводники так, чтобы нижние края резины упирались в стекло; тогда часть животного внутри каучука была почти так же хорошо изолирована, как если бы угорь находился в воздухе.

1760. Удар. От этого животного получался очень мощный удар, если руки были помещены в выгодном положении, т. е. одна на теле близ головы, а другая — близ хвоста. Чем ближе руки были друг к другу, в известных пределах, тем слабее был удар. Дисковые проводники (1757) очень хорошо проводили удар, если руки были влажны и плотно прикладывались к цилиндрическим ручкам, но почти совсем не проводили, когда ручки держались сухими руками, как обычно.

1761. Гальванометр. Пользуясь седловидными проводниками (1758), приложенными к передней и задней частям угря, легко получить отклонение гальванометра. Последний был не особенно чувствителен, потому что цинковая и платиновая пластинки на нижней и верхней поверхности языка вызывали постоянное отклонение [стрелки] не больше чем на  $25^{\circ}$ . Однако, когда рыба давала мощный разряд, отклонение доходило до  $30^{\circ}$ , а в одном случае даже до  $40^{\circ}$ . Отклонение происходило постоянно в одном направлении, и ток всегда шел от передних частей животного через проволоку гальванометра к задним частям. Первые были поэтому в это время снаружи положительными, а последние — отрицательными.

1762. Намагничение. Когда небольшая катушка, содержащая двадцать два фута покрытой шелком проволоки, намотанной на ствол пера, помещалась в цепь, а внутрь катушки вставлялась стрелка из отожженной стали, то стрелка становилась магнитом, а направление ее полярностей во всех случаях показывало ток от передних частей к задним частям угря через приложенные проводники.

1763. Химическое разложение. Легко получалось полярное разложение раствора иодида калия. Три или четыре листа бумаги, намоченной в растворе (322), помещались между платиновой пластинкой и концом проволоки, тоже из платины, которые связывались соответственно с двумя седлообразными проводниками (1758). Каждый раз, когда проволока соединялась с проводником у передней части угря, на ее конце появлялся иод; но если она соединялась с другим проводником, на том месте бумаги, где раньше появлялся иод, ничего не выделялось, так что здесь опять направление тока оказалось одинаковым с тем, которое дали предшествующие испытания.

1764. Этим способом я сравнивал среднюю часть рыбы с другими частями, лежащими спереди и сзади, и нашел что проводник А, будучи приложен к середине, отрицате-

лен по отношению к проводнику *B*, приложенному к передней части, и, наоборот, положителен по отношению к нему тогда, когда он приложен к частям близ хвоста. Так что в известных пределах внешнее состояние рыбы во время удара представляется в таком виде, что любая часть отрицательна по отношению к тем, которые находятся впереди, и положительна по отношению к тем, которые находятся сзади.

1765. Выделение тепла. Пользуясь термоэлектрометром Гарриса, принадлежавшим г. Гассио, мы, как нам казалось, могли в одном случае, именно когда отклонение гальванометра было  $40^\circ$  (1761), наблюдать слабое повышение температуры. Я не наблюдал прибора сам, а один из тех, которые вначале думали, что они видели действие, теперь сомневается в результате.<sup>1</sup>

1766. Искра. Электрическая искра была получена следующим образом. Один конец хорошей магнито-электрической катушки, с сердечником из мягкой железной проволоки, был прикреплен к концу одного из седлообразных коллекторов (1758), а другой присоединен к новому стальному напильнику; второй напильник был прикреплен к концу другого коллектора. Затем один наблюдатель начинал тереть концом одного из напильников о поверхность другого, а другой наблюдатель ставил коллекторы на рыбу, стремясь вызвать ее активность. Трением напильников контакт многократно создавался и обрывался, и надо было поймать момент тока через проволоку и катушку; прерывая контакт *во время тока*, надо было сделать электричество заметным посредством искры.

1767. Искра была получена четыре раза, и почти все присутствовавшие видели ее. Что она не была вызвана простым трением друг о друга двух напильников, было

---

<sup>1</sup> В более поздних опытах такого же рода мы не могли получить подобного действия.



видно из того, что она не появлялась, если тереть напильники друг о друга, не включая животного. Впоследствии я заменил нижний напильник вращающейся стальной пластинкой, нарезанной с поверхности как напильник, а верхний напильник — проволоками из железа, меди и серебра; со всеми ими искра получилась.<sup>1</sup>

1768. Таковы были общие электрические явления, полученные от этого угря, пока он жил и действовал в своей родной стихии. В некоторых случаях многие из них получались одновременно; так получался магнит, отклонялся гальванометр и, возможно, нагревалась проволока при одном и том же разряде электрической силы животного.

1769. Я полагаю, что в этом кратком отчете о свойствах угря будут не лишними некоторые дальнейшие подробности относительно количества и расположения электричества внутри и вокруг этого удивительного животного.

1770. Когда удар силен, он похож на удар от большой лейденской батареи, заряженной слабо, или на удар от хорошей гальванической батареи в сто или более пар пластин, цепь которой замкнута только на одно мгновение. Я попробовал составить себе некоторое представление о *количестве* электричества и для этого соединил большую лейденскую батарею (291) с двумя латунными шарами диаметром около трех дюймов, расположенными в семи дюймах друг от друга в лохани с водой; таким образом они могли изображать собой части угря, к которым приложены коллекторы. Но, чтобы понизить интенсивность разряда, в цепь вставлялась куда-нибудь мокрая, сложенная вшестеро бичевка длиной в восемь дюймов; это оказалось необходимым для того, чтобы помешать легкому возникновению

---

<sup>1</sup> Во время одного позднейшего сеанса, во время которого были сделаны попытки вызвать притяжение золотых листков, искра была получена прямо между неподвижными поверхностями без индукционной катушки (1766), с одними только короткими (сравнительно) проводами.

искры на концах коллекторов (1758), когда они прикладывались в воде близко от шаров, как ранее от рыбы. Когда батарея при таком расположении сильно заряжалась и разряжалась, а руки были опущены в воду близко от шаров; чувствовался удар, очень похожий на удар от рыбы, и хотя опыты не претендуют на точность, все же напряжение могло быть до некоторой степени подогнано с помощью искры, которая получалась более или менее легко; после этого, пользуясь ударом, можно было получить указание, является ли приблизительно одинаковым и количество, и мы можем, я думаю, заключить, что один средний разряд рыбы равен, по крайней мере, электричеству лейденской батареи из пятнадцати банок, содержащих три тысячи пятьсот квадратных дюймов стекла, с обкладками по обеим сторонам, заряженной до самого предела (291). Это заключение относительно большого количества электричества в одном ударе угря находится в прекрасном согласии с величиной отклонения, которое он может дать стрелке гальванометра (367, 860, 1761), а также с количеством химического разложения, производимого им (374, 860, 1763) при электролитических опытах.

1771. Как ни велика сила одного разряда, угорь, как описывает Гумбольдт и как часто наблюдал и я, может давать двукратный и даже троекратный удар; и эта способность немедленно повторять действия с едва заметным промежутком между ними очень важна для соображений, которые должны последовать по вопросу о происхождении силы в животном. Уолш, Гумбольдт, Гей-Люссак и Маттеуччи заметили то же у ската, но в значительно более поразительной степени.

1772. Поскольку в момент, когда рыба замышляет удар, передние части положительны, а задние — отрицательны, можно заключить, что имеется ток от первых к последним через каждую точку воды, которая окружает животное, до значительных расстояний от ее тела; поэтому удар, кото-

рый ощущается, когда руки находятся в наиболее благоприятном положении, является действием только очень малой доли электричества, которое животное разряжает в этот момент, а значительно большая часть электричества проходит через окружающую воду. Этот огромный внешний ток должен сопровождаться некоторым действием внутри рыбы, *эквивалентным* току, направление которого будет от хвоста к голове, и равным сумме всех *этих внешних сил*. Мы не можем пока сказать, сопровождается ли процесс возбуждения или развития электричества внутри рыбы также образованием этих внутренних токов (которые не должны быть обязательно такими же быстрыми и моментальными, как внешний ток), но во время удара животное, видимо, не ощущает того электрического действия, которое оно вызывает у окружающих.

1773. С помощью прилагаемой диаграммы (рис. 150) я хочу изобразить кое-какие экспериментальные результаты, которые иллюстрируют ток вокруг рыбы и показывают причину различия в характере удара в зависимости от тех разнообразных путей, которыми человек связывается с животным, или от изменения его положения по отношению к угрю. Большой круг представляет собой лохань, в которой заключено животное, ее диаметр имеет сорок шесть дюймов, а глубина воды в ней составляет три с половиной дюйма; она стоит на сухих деревянных ножках. Цифры указывают места, где были приложены руки или дисковые проводники (1757), а в тех случаях, когда цифры находятся вблизи от изображения животного, предполагается, что руки были в контакте с рыбой. Я буду обозначать различных участников через *A*, *B*, *C* и т. д. *A* — лицо, которое возбуждало рыбу к действию.

1774. Когда одна рука была в воде, удар ощущался только этой одной рукой, к какой бы точке рыбы она ни прикладывалась; он был не очень силен и чувствовался лишь той частью руки, которая была погружена в воду.

Когда в воде находились кисть и часть руки, удар ощущался всеми погруженными частями.

1775. Когда в воде были обе руки у одной и той же точки рыбы, удар все еще был сравнительно слаб и ощу-

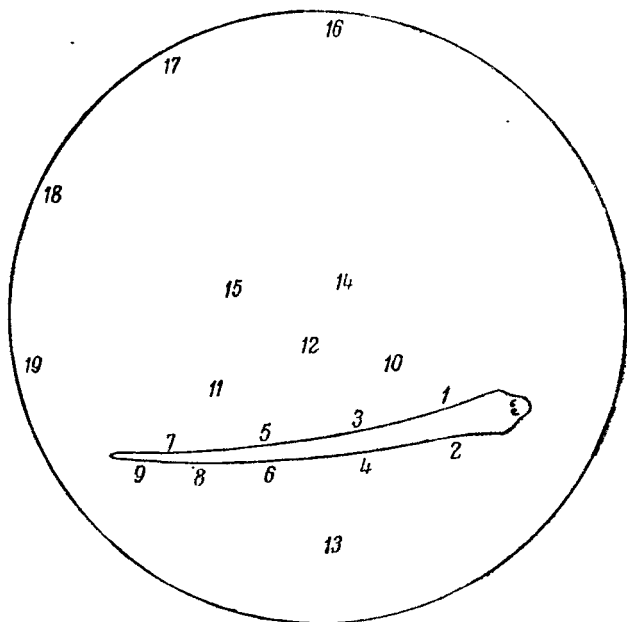


Рис. 150.

щался только погруженными частями. Если руки были на противоположных сторонах, как 1, 2 или 3, 4, или 5, 6, или когда одна была сверху, а другая снизу одного и того же участка, действие было таково же. При пользовании дисковыми коллекторами в этих же положениях державшим их лицом никакого действия не ощущалось (и это соответствует наблюдениям Гей-Люссака над электрическим скатом<sup>1</sup>), тогда как другие лица, у которых обе руки были

<sup>1</sup> Annales de Chimie, XIV, стр. 18.

погружены на некотором расстоянии от рыбы, ощущали значительные удары.

1776. Когда обе руки или дисковые коллекторы прикладывались к различным точкам на некотором расстоянии вдоль тела животного как *1, 3* или *4, 6*, или *3, 6*, то получались сильные удары, распространявшиеся кверху по рукам и доходившие даже до груди экспериментатора, хотя другое лицо, у которого в одной из этих точек в воде находилась только одна рука, ощущало удар сравнительно слабо. Удар можно было получить и от точек вблизи хвоста, как *8, 9*. Повидимому, он был сильнее всего около *1, 8*. При сближении рук действие ослабевало, а когда руки находились в одном поперечном сечении, оно, как описано ранее, ощущалось только в погруженной части руки (1775).

1777. *B* поместил свои руки у *10* и *11*, не меньше чем в четырех дюймах от рыбы; в то же время *A* дотронулся до животного стеклянной палочкой, чтобы возбудить его активность; *B* сейчас же получил мощный удар. В другом опыте подобного рода, показывающем, что нет необходимости касаться рыбы, несколько лиц получили удар независимо друг от друга; так, *A* был у *4, 6*; *B* у *10, 11*; *C* у *16, 17* и *D* у *18* и *19*; все получили удар одновременно, *A* и *B* — очень сильный, *C* и *D* — слабый. При экспериментировании с гальванометром или другими инструментальными установками очень полезно, чтобы одно лицо держало свои руки в воде на небольшом расстоянии от животного, чтобы знать и сообщить, когда произошел разряд.

1778. Когда обе руки *B* были у *10, 11* или у *14, 15* и только одна рука *A* была у *1* или *3* или *6*, первый получал сильный удар, в то время как второй получал только слабый, несмотря на контакт с рыбой. То же получалось, когда обе руки *A* были у *1, 2* или *3, 4* или *5, 6*.

1779. Если руки *A* были у *3, 5*; *B* у *14, 15* и *C* у *16, 17*: *A* получал наиболее сильный удар, *B* — следующий по силе и *C* — самый слабый.

1780. Когда *A* возбуждал угря своими руками у 8, 9, а *B* был у 10, 11, последний получал гораздо более сильный удар, чем первый, хотя первый трогал и возбуждал животное.

1781. *A* возбуждал рыбу одной рукой у 3; руки *B* были в это время у 10, 11 (т. е. вдоль рыбы), а руки *C* — у 12, 13 (т. е. поперек); *A* получил колющий удар только в погруженную часть руки (1774), *B* получил сильный удар вдоль всей руки; *C* почувствовал лишь слабое действие в погруженной части руки.

1782. Только что описанные мною опыты требуют еще многих повторений для того, чтобы выведенные из них общие заключения можно было считать установленными; я не хочу утверждать, что они дают что-либо, кроме некоторых указаний на направление силы. Вполне вероятно, что рыба имеет возможность пускать в действие каждый из своих четырех электрических органов отдельно и таким образом до некоторой степени направлять удар, т. е. она, может быть, обладает способностью заставлять электрический ток исходить из одной стороны своего тела и в то же время приводить другую сторону его в такое состояние, при котором она в этом направлении будет как бы проводником. Но, думается мне, картина явления и результаты исключают предположение о том, что животное имеет какой-либо контроль над направлением токов после того, как они вошли в окружающие его жидкость и предметы.

1783. Полученные данные относятся к рыбе, когда она вытянута прямолинейно; если она изгибается, то характер изменения интенсивности линий сил вокруг нее можно предсказать теоретически. Так, если руки приложены у 1, 7, надо ожидать более слабого удара в руках, когда животное будет изогнуто этой стороной внутрь, и более сильного, когда оно вытянуто прямо, потому что тогда уменьшится расстояние между этими точками, и промежуточная вода поэтому будет проводить больше силы. Но по отношению

к погруженным частям рук или к находящимся в воде животным, например рыбам, удар между 1, 7 будет более, а не менее мощным.

1784. Из всех опытов, а также и из простых рассуждений очевидно, что вся вода и все проводящие вещества вокруг рыбы, через которые можно каким-либо путем замкнуть разрядную цепь, наполнены в этот момент циркулирующей электрической силой, и общий характер этого состояния можно легко представить с помощью диаграммы, нанося в последней линии индуктивного действия (1231, 1304, 1338): в случае угря, одинаково со всех сторон окруженного водой, они по своему расположению будут походить, вообще говоря, на магнитные линии магнита, имеющего ту же прямую или изогнутую форму, как и животное, т. е. если только оно, как следует ожидать, воспользуется при этом одновременно всеми своими четырьмя электрическими органами.

---

1785. Этот угорь может оглушать и убивать рыб, которые находятся в самых разнообразных положениях по отношению к его собственному телу; но однажды, когда я видел, как он ест, его действия показались мне необычными. Живая рыба, около пяти дюймов длиной, пойманная не более полминуты назад, была брошена в лохань; угорь мгновенно повернулся таким образом, что его тело образовало круг, охватывающий рыбу так, что она расположилась по его диаметру; произошел удар, и рыба, как будто оглушенная молнией посреди воды, мгновенно всплыла боком кверху. Угорь сделал один или два круга, чтобы отыскать свою добычу, и, найдя и проглотив, отправился на поиски новой. Ему была дана вторая, меньшая рыбка, которая пострадала при переноске и проявляла лишь слабые признаки жизни, и эту он проглотил сразу, повидимому, не оглушая. Казалось, что угорь в этом случае изогнулся вокруг своей добычи преднамеренно для того, чтобы увеличить

силу удара, и такое действие, очевидно, чрезвычайно хорошо подходит для этой цели (1783), находясь в полном согласии с хорошо известными законами разряда токов в массах проводящего вещества; и хотя рыба не всегда применяет это ухищрение, весьма вероятно, что она сознает его преимущества и может прибегать к нему в случае необходимости.

1786. Когда животное живет в окружении такого хорошего проводника, как вода, — а именно так живет угорь, — прежде всего является мысль: не удивительно ли, что оно может что-либо ощутимо электризовать? Но небольшое размышление скоро приводит нас к сознанию многих фактов большой красоты, иллюстрирующих мудрость всего устройства. Так, сама та проводящая способность, которой обладает вода и которую она сообщает мокрой коже рыбы или поражаемого животного, размер поверхности, по которой соприкасаются рыба с водой, подводящей к ней заряд, — все способствует удару по осужденному животному и усиливает этот удар; все это и находится в совершеннейшем контрасте с невыгодным положением, которое имелось бы, если бы угорь и рыба были окружены воздухом; и в то же время эта сила отличается низким напряжением, так что сухая кожа предохраняет от нее и, наоборот, мокрая ее проводит (1760); она характеризуется большим количеством (1770), так что, хотя окружающая вода много отводит прочь, через тело рыбы, которую надо поймать для пищи, или через тело врага, которого надо сразить, может пройти количество, достаточное для полного действия.

1787. Другой замечательный результат по вопросу об отношении угря и его добычи к окружающей среде таков: чем больше рыба, которую надо убить или оглушить, тем значительнее будет удар, которому она подвергнется, хотя угорь может действовать только с одной и той же силой; дело в том, что через тело большей рыбы пройдут те токи электричества, которые, когда рыба меньше, идут мимо нее, не причиняя ей вреда.



1788. Повидимому, угорь чувствует, когда он оглушил животное, вероятно, ощущая механический импульс, вызываемый судорогами, которые постигают животное. Когда я трогал угря своими руками, он давал мне удар за ударом, но когда я трогал его стеклянными стерженьками или изолированными проводниками, он производил один или два удара, ощущавшиеся другими лицами, руки которых были погружены в воду на некотором расстоянии от него; затем он переставал действовать, как будто узнав, что действие не имеет желаемого эффекта. Далее, если его несколько раз трогали проводниками для опытов с гальванометром или с другими приборами, он казался вялым или безразличным и не хотел производить удары; но при прикосновении рук, которые своими конвульсивными движениями осведомляли его о присутствии чувствительного объекта, он быстро проявлял свою силу и свою готовность поразить экспериментатора.

---

1789. Жоффруа Сент Илэр заметил, что электрические органы ската, угря и подобных им рыб нельзя рассматривать как существенно связанные с органами, имеющими большое прямое значение для жизни животного, но что они скорее принадлежат к обычным признакам; было также найдено, что скаты, лишенные своих особых органов, продолжали свои жизненные функции так же хорошо, как и те, у которых они были сохранены. Эти соображения вместе с другими подают мне некоторую надежду на то, что эти органы при внимательном изучении окажутся видом естественных приборов, при помощи которых мы сможем приложить принципы *действия и противодействия* к исследованию природы *нервного влияния*.

1790. Анатомическое отношение нервной системы к электрическому органу, очевидное истощение нервной энергии при производстве электричества в этом органе, видимо,

эквивалентная выработка электричества в пропорции к количеству израсходованной нервной силы, постоянное направление производимого тока, если его сопоставить с тем, что, как мы можем надеяться, соответствует постоянному направлению нервной энергии, бросаемой в действие в то же самое время, — все заставляет меня считать вполне возможным, что при пропускании электричества насильственно через орган может возникнуть обратная реакция на связанную с ним нервную систему и что в большей или меньшей степени может оказаться возможным восстановление того, что животное затрачивает при возбуждении им тока. Мы имеем аналогию по отношению к теплу и магнетизму. Зеебек научил нас, как переводить теплоту в электричество; затем Пельтье недавно дал нам точное его обращение и показал, как обращать электричество в теплоту, включая оба возможные направления — тепло и холод. Эрстед показал, как переводить электрические силы в магнитные, а я имел счастье прибавить последнее звено полного круга, действуя в обратном направлении и переведя магнитные силы в электрические. Таким образом, может быть, мы, обладая в этом отношении силой, значительно большей, чем у рыбы, будем в состоянии переводить электрическую силу в нервную в этих органах, в коих природа создала прибор, при посредстве которого животное проявляет нервную силу, переводя ее в электрическую.

1791. Некоторым может показаться очень дикой идеей самое предположение, что нервная сила до некоторой степени аналогична таким силам, как тепло, электричество и магнетизм. Однако я делаю эту гипотезу только для того, чтобы иметь основание провести некоторые опыты; в зависимости от того, какой результат они дадут: положительный или отрицательный, они определяют дальнейшие догадки. А что касается природы нервной силы, то ее напряжение, передаваемое по нервам к различным органам, которые оно возбуждает к действию, не является непосредственным жиз-

ненным началом, а поэтому я не вижу никакого естественного довода, почему нам нельзя в некоторых случаях определять ее течение, а не только наблюдать его. Многие ученые считают, что эта сила есть электричество. Пристли выдвинул этот взгляд в 1774 г. в очень отчетливом и ясном виде одинаково для обычных животных и для таких, которые являются электрическими, как скат.<sup>1</sup> Д-р Уилсон Филип полагает, что в некоторых нервах агентом является электричество, измененное жизненным действием.<sup>2</sup> Маттеуччи думает, что нервная жидкость или энергия, — по крайней мере, в нервах, принадлежащих электрическим органам, — есть электричество.<sup>3</sup> Г-да Прево и Дюма придерживаются мнения, что в нервах, принадлежащих мускулам, движется электричество, и г. Прево приводит в подтверждение этого взгляда прекрасный опыт, в котором в качестве доказательства производилось намагничение стали; если этот опыт будет подтвержден дальнейшими наблюдениями и другими учеными, он должен иметь чрезвычайное значение для развития этой высокой отрасли знания.<sup>4</sup> И вот, хотя я еще пока не убежден фактами в том, что нервная жидкость есть одно только электричество, все же я думаю, что агентом в нервной системе может быть неорганическая сила; и если есть основания предполагать, что магнетизм является более

<sup>1</sup> Pristley. On Air, I, стр. 277 (изд. 1774 г.).

<sup>2</sup> Д-р Уилсон Филип придерживается мнения, что нервы, которые возбуждают мускулы и осуществляют химические изменения жизненных функций, действуют через электрическую силу, поставляемую головным и спинным мозгом и измененную в своих эффектах жизненными силами живого животного; как он меня уведомил, он нашел еще в 1815 г., что пока жизненные силы сохраняются, эти функции могут, если удалить первое влияние, так же хорошо выполняться гальваническим электричеством, а в конце этого года он представил Королевскому обществу статью, доложенную на одном из его собраний, с отчетом об опытах, на которых основаны его взгляды.

<sup>3</sup> Bibliothèque Universelle, 1837, XII, стр. 192.

<sup>4</sup> Там же, 1837, XII, стр. 202; XIV, стр. 200.

высокой степенью силы, чем электричество (1664, 1731, 1734), то легко можно вообразить, что нервная сила имеет еще более возвышенный характер и все же доступна опыту.

1792. Опыт, который я имею смелость предложить, состоит в следующем: если угорь или скат был утомлен частым действием своего электрического органа, то можно ли, пропуская через него токи, по силе подобные тем, которые он сам испускает, или другой степени силы, постоянные или прерывные и в том же направлении, как и те, которые он испускает, восстановить его способность и силы быстрее, чем если предоставить его естественному отдыху?

1793. Будут ли токи, посылаемые через животное в противоположном направлении, быстро его истощать? — Мне кажется, имеются основания полагать, что скат (а возможно и угорь) не очень сильно затрагивается или возбуждается электрическими токами, посылаемыми только через электрический орган; так что проведение этих опытов не представится мне очень затруднительным.

1794. Расположение органов у ската наводит еще на мысль о дальнейших опытах на том же принципе. Так, если ток послан в естественном направлении, т. е. снизу вверх, через орган на одной стороне рыбы, будет ли он возбуждать к действию орган на другой стороне? Или, если он послан в обратном направлении, будет ли он вызывать такое же или какое-либо иное действие в этом органе? Будет ли он действовать так же, если перевязать нервы, ведущие к этому органу или к этим органам? И будет ли он действовать так же после того, как животное было настолько истощено предшествовавшими ударами, что потеряло способность в такой же или в иной степени вводить по своей воле этот орган в действие?

1795. Таковы некоторые из опытов, которые подсказываются соответствием и соотношением электрических органов этих рыб; нам представляется разумным их произвести,

а выводы представляются многообещающими. Другие могут думать об этом иначе, чем я; но про себя я могу сказать только, что я провел бы их в первую очередь, если бы у меня была такая возможность.

*Королевский институт.*

*9 ноября 1838 г.*

---

---

# ШЕСТНАДЦАТАЯ СЕРИЯ

---

---

*Раздел 24. Об источнике мощности гальванического элемента*  
Глава I. Возбуждающие электролиты и т. д. — проводники термо- и вообще слабых токов. Глава II. Неактивные проводящие цепи, содержащие жидкость или электролит. Глава III. Активные цепи, возбуждаемые раствором сернистого калия.

Поступило 23 января. Доложено 6 февраля 1840 г.

## РАЗДЕЛ 24

### Об источнике мощности гальванического элемента

1796. Что является источником мощности в гальваническом элементе? — Этот вопрос в настоящее время имеет чрезвычайное значение для теории и для развития электрической науки. Мнения относительно этого различны, но самыми значительными являются два, из которых первое находит источник мощности в контакте, а второе — в химической силе. Спор между ними касается самых основных принципов электрического действия, ибо мнения настолько различны, что два человека, соответственно принявшие их, принуждены в дальнейшем расходиться по всем пунктам, относящимся к возможной и глубокой природе агента, или силы, от которой зависит явление гальванического элемента.

1797. Теория контакта принадлежит Вольте, великому изобретателю самого элемента; с его времени она поддерживалась целым сонмом ученых, среди которых в последнее время стоят такие люди, как Пфафф, Марианини, Фехнер, Замбони, Маттеуччи, Карстен, Бушарда, а в отношении воз-

буждения мощности, — сам Дэви; все — яркие звезды в высоких сферах науки. Теория химического действия была впервые выдвинута Фаброни,<sup>1</sup> Волластоном<sup>2</sup> и Парротом<sup>3</sup> и с тех пор была в большей или меньшей мере развита Эрстедом, Беккерелем, де ля Ривом, Ритчи, Пулье, Шенбейном и многими другими; среди них должно особо отметить Беккереля,<sup>4</sup> как дававшего с самого начала все новые и новые и притом сильнейшие экспериментальные доказательства в подтверждение того, что электричество развивается всегда химическим действием; должно назвать и де ля Рива, как наиболее ясного и постоянного в своих взглядах работника, из всех наиболее ревностного в получении фактов и доводов, начиная с 1827 г. и до настоящего времени.<sup>5</sup>

1798. Рассматривая этот вопрос с точки зрения определенного электрохимического действия, я увидел себя вынужденным принять сторону тех, кто считает, что происхождение гальванической силы обязано только химическому действию (875, 965), и отважился опубликовать об этом статью в апреле 1834 г.<sup>6</sup> (875 и т. д.), которая была особо отмечена Марианини.<sup>7</sup> Имя этого ученого, замечания Фехнера<sup>8</sup> и сознание того, что в большей части Италии и

<sup>1</sup> 1792, 1799 гг.: Becquerel, *Traité de l'Electricité*, I, стр. 81—91; Nicholson's *Quarto Journal*, III, стр. 308; IV, стр. 120; или *Journal de Physique*, VI, стр. 348.

<sup>2</sup> 1801 г.: *Philosophical Transactions*, 1801, стр. 427.

<sup>3</sup> 1829, 1831 гг.: *Annales de Chimie*, 1829, XLII, стр. 45; 1831, XLVI, стр. 361.

<sup>4</sup> 1824 г. и т. д.: *Annales de Chimie*, 1824, XXV, стр. 405; 1827, XXXV, стр. 113; 1831, XLVI, стр. 265, 276, 337; XLVII, стр. 113; XLIX, стр. 131.

<sup>5</sup> Там же, 1828, XXXVII, стр. 225; XXXIX, стр. 297; 1836, LXII; или *Mémoires de Genève*, 1829, IV, стр. 285; 1832, VI, стр. 149; 1835, VII.

<sup>6</sup> *Philosophical Transactions*, 1834, стр. 425.

<sup>7</sup> *Memorie della Società Italiana in Modena*, 1827, XXI, стр. 205.

<sup>8</sup> *Philosophical Magazine*, 1838, XIII, стр. 205; или *Poggendorf's Apparat*, XLII, стр. 481. Фехнер упоминает также об ответе Пфаффа на мою статью. Я испытываю постоянные сожаления о том, что немецкий язык мне недоступен.

Германии все еще господствует контактная теория, заставили меня пересмотреть вопрос более тщательно. Я хотел не только избежать ошибки, я старался убедить себя в справедливости контактной теории; ибо очевидно, что если контактная электродвижущая сила вообще существует, то про нее нельзя просто сказать, что она не похожа ни на одну другую естественную силу в отношении тех явлений, которые она может производить; она будет отличаться от всех других и в гораздо более важных отношениях, как ограниченность, определенность силы и конечность ее производительности (2065).

1799. Я смею надеяться, что экспериментальные результаты и доказательства, которые были таким образом собраны, могут оказаться полезными для науки. Я боюсь, что подробности будут скучны, но это является необходимым следствием состояния вопроса. Контактная теория долгое время владела человеческими умами, поддерживается большим весом авторитета и годами имела неоспоримое господство в некоторых частях Европы. Если она ошибочна, ее можно искоренить лишь большим количеством убедительных экспериментальных доказательств — факт для меня достаточно ясный из того обстоятельства, что статьи де ля Рива еще не убедили всех работающих над этим предметом. Вот почему я счел необходимым прибавить свои дальнейшие доказательства к доказательствам его и других, входя в подробности, умножая факты в пропорции значительно большей, чем та, которая потребовалась бы для обоснования и популяризации новой научной истины (2017). Поступая так, я в некоторых случаях только расширяю, но также, я надеюсь, и подкрепляю то, что сделано другими, особенно де ля Ривом.

---

1800. Пояснению вопроса будет способствовать формулировка различных взглядов на контакт. Теория Вольты говорит, что простой контакт между проводящими телами вызы-



вает развитие электричества в точке соприкосновения без всякого изменения природы самих тел, и что хотя такие проводники, как вода и водные жидкости, обладают этим свойством, однако в такой степени, которая недостойна рассмотрения в сравнении с той, до которой оно поднимается среди металлов.<sup>1</sup> Мне кажется, что современные взгляды итальянских и немецких ученых, сторонников контактной теории, в общих чертах те же; пожалуй, только иногда больше значения придается контакту несовершенных проводников с металлами. Так, Замбони (в 1837 г.) считает наиболее мощным источником электричества металлический контакт, а не контакт металла с жидкостью.<sup>2</sup> Но Карстен, придерживаясь контактной теории, переносит электродвижущую силу в место контакта жидкости с твердыми проводниками.<sup>3</sup> Марианини придерживается такого же воззрения на принцип контакта, но с тем добавлением, что для действия возбуждающей силы не требуется фактического контакта, а что два сближенных разнородных проводника могут воздействовать на состояние друг друга и в том случае, если они разделены ощутимым промежутком воздуха в  $\frac{1}{10000}$  линии и более.<sup>4</sup>

1801. Де ля Рив, наоборот, настаивает на простом и определенном химическом действии и, насколько я осведомлен, не допускает в гальваническом элементе тока, который бы не сопровождался полным химическим действием и не зависел от такого действия. А такой замечательный электрик, как Беккерель, хотя и выражается очень осторожно, но, повидимому, допускает возможность того, что химическое притяжение способно вызвать электрические токи, когда токи недостаточно сильны для того, чтобы превозмочь силу

<sup>1</sup> Annales de Chimie, 1802, XL, стр. 225.

<sup>2</sup> Bibliothèque Universelle, 1836, V, стр. 387; 1837, VIII, стр. 189.

<sup>3</sup> L'Institut, n° 150.

<sup>4</sup> Memorie della Società Italiana in Modena, 1827, XXI, стр. 232—237.

сцепления, и тогда оно оканчивается соединением.<sup>1</sup> Шенбейн утверждает, что склонность к химическому взаимодействию может произвести ток, т. е. вещества, имеющие склонность соединяться химически, могут вызывать ток, хотя эта тенденция и не сопровождается фактическим соединением вещества.<sup>2</sup> В таком случае гипотетическая сила становится тем же, что и контакт Вольты, поскольку действующие вещества, производя ток, не изменяются. Мнение Дэви состояло в том, что, так же как у Вольты, контакт возбуждает ток или является его причиной, но что химические изменения подают ток. Что касается меня, то я в настоящее время придерживаюсь того же мнения, как и де ля Рив, и не думаю, что в гальваническом элементе простой контакт делает что-нибудь для возбуждения тока, за исключением только того, что он подготавливает полное химическое действие (1741, 1745) и им заканчивается.

1802. Итак, взгляды на контакт различны, и можно сказать, что они так постепенно переходят из одного в другой, что доходят даже до признания химического действия, но все же эти две крайности, какую бы форму они ни принимали, представляются мне в принципе непримиримыми. Дело в следующем. Контактная теория предполагает: что если два различных тела, являющихся проводниками электричества, находятся в соприкосновении, то в точке их контакта имеется сила, благодаря которой одно из тел отдает часть своего естественного запаса электричества другому, принимающему его в добавление к своему собственному естественному запасу; что хотя соприкасающиеся точки таким образом соответственно отдали и приняли электричество, они не могут удержать заряд, который создан контактом, и разряжают свое электричество по направлению к массам, нахо-

<sup>1</sup> *Annales de Chimie*, 1835, LX, стр. 171; и *Traité d'Electricité*, I, стр. 253, 258.

<sup>2</sup> *Philosophical Magazine*, 1838, XII, стр. 227, 311, 314; а также *Bibliothèque Universelle*, 1838, XIV, стр. 155, 395.

дящимся позади их (2067); что сила, которая в точке контакта заставляет частицы принимать новое состояние, не может заставить их сохранить это состояние (2069), и что все это происходит без какого-либо постепенного изменения частей, находящихся в контакте, и не имеет связи с их химическими силами (2065, 2069).

1803. Химическая теория предполагает: что в месте действия частицы, находящиеся в контакте, химически действуют друг на друга и при некоторых обстоятельствах могут перевести большую или меньшую часть действующей силы в динамическую форму (947, 996, 1120); что при наиболее благоприятных обстоятельствах превращается в динамическую силу все (1000), и тогда количество произведенной движущейся силы является точным эквивалентом израсходованной химической силы, и что (в гальваническом элементе) ни в коем случае нельзя получить какого-либо тока без активного использования и поглощения равного количества химической силы, и все кончается определенным количеством химического превращения.

1804. Статья Марианини<sup>1</sup> была для меня важным поводом для пересмотра вопроса; но курс, который я принял, был направлен не столько на то, чтобы ответить на отдельные возражения, сколько на то, чтобы добиться ясности по всем пунктам, относящимся как к оспариваемым, так и к не оспариваемым им; и достигнутая ясность должна была удовлетворить меня самого, так как я был готов принять как ту, так и другую теорию. Поэтому настоящая статья не является полемической, а содержит дальнейшие факты и доказательства справедливости взглядов де ля Рива. Марианини выдвигает чрезвычайно интересные факты, и все его возражения должны со временем получить ответ, но только тогда, когда будут получены численные данные как о напряжении, так и о количестве силы; они все спорны и, по моему мнению,

<sup>1</sup> Memorie della Società Italiana in Modena, 1827, XXI, стр. 20<sup>f</sup>.

связаны только с количественными изменениями, не затрагивая серьезным образом основного вопроса. Так, когда этот ученый приводит численные результаты, полученные при рассмотрении двух металлов с жидкостями на их противоположных концах, стремящимися образовать взаимно противоположные токи, различие, которое он приписывает действию образуемого и прерываемого металлического контакта, как я думаю, можно объяснить известными уже отчасти фактами, относящимися к противоположным токам; у меня возникали столь же большие и даже бóльшие разности, которые приведены в моих прежних статьях (1046). Так, на стр. 213 его мемуара я не могу признать, что  $e$  должно дать эффект, равный разности между  $b$  и  $d$ ; потому что в  $b$  и  $d$  сопротивление, оказываемое возбуждаемому току, есть просто сопротивление плохого проводника, а в случае  $e$  сопротивление вызывается силой, действующей в сторону, противоположную действию источника тока.

1805. Что касается той части его мемуара, которая относится к действию сернистых растворов,<sup>1</sup> я позволю себе сослаться на свои последующие исследования. Я не нахожу, как итальянский ученый, что в растворах сернистого калия железо положительно по отношению к золоту или к платине;<sup>2</sup> наоборот, оно сильно отрицательно — и по причинам, указываемым впоследствии (2049).

1806. Что касается спора о причине искры перед контактом,<sup>3</sup> Марианини допускает искры, но я полностью отказываюсь от этого. Статья Якоби<sup>4</sup> убеждает меня в том, что я ошибаясь относительно *этого доказательства* существования состояния напряжения в металле перед контактом (915, 916). Поэтому я ограничиваюсь в настоящее время тем, что отказываюсь от своих собственных опытов.

<sup>1</sup> Memorie della Società Italiana in Modena, 1827, XXI, стр. 217.

<sup>2</sup> Там же, стр. 217.

<sup>3</sup> Там же, стр. 225.

<sup>4</sup> Philosophical Magazine, 1838, XIII, стр. 401.

1807. Теперь я обращаюсь к общим доказательствам, оставляя в стороне частные разногласия и обсуждение фактов, мало доказательных и сомнительных по существу; ибо с самого начала у меня было впечатление, что объяснения требует не какое-нибудь слабое влияние или явление, но такое, которое указывает на силу исключительной мощности, требующую поэтому, чтобы приписываемая ей причина как по своему напряжению, так и по количеству была в некоторой пропорции с производимыми ею действиями.

1808. Все исследования производились с помощью токов и гальванометра, потому что мне представлялось, что такой прибор и такой метод больше всего подходят для исследования электричества гальванического элемента. Нет сомнения, что электрометр является чрезвычайно важным прибором, но ученые, пользующиеся им, не вполне согласны друг с другом относительно надежности и точности его результатов. И даже если признать правильным те немногие указания, которые пока что дал электрометр, они все же слишком общи для того, чтобы решить вопрос о том, что является возбуждающей силой в гальванической батарее: контакт или химическое действие. Для того, чтобы применить этот прибор серьезно и сделать его сколько-нибудь полезным для получения убедительных доводов в пользу одной из двух теорий, было бы необходимо построить таблицу контактов или действий контактов для различных металлов и жидкостей, участвующих в устройстве гальванического элемента и взятых попарно (1868); нужно дать в такой таблице как направление, так и величину контактной силы.

1809. Сторонники контактной теории принимают, что хотя в точках контакта друг с другом металлы проявляют большую электродвижущую силу, но в металлической цепи эти силы уравновешиваются так, что каково бы ни было их расположение, никогда никакого тока не возникает. Так, на рис. 151, если контактная сила меди и цинка есть 10→

и у  $m$  введен третий металл, то каков бы ни был металл, действие его контактов с цинком и медью у  $b$  и  $c$  составит в обратном направлении количество силы, равное 10. Так, если это будет калий, его контактная сила у  $b$  будет  $5 \rightarrow$ , но тогда его контактная сила у  $c$  должна быть  $\leftarrow 15$ ; или, если это будет золото, его контактная сила у  $b$  будет  $\leftarrow 19$ , но тогда его контактная сила у  $c$  будет  $9 \rightarrow$ . Это — очень важная гипотеза, но надо, чтобы теория согласовалась с фактами; я думаю все же, что это — только гипотеза, так как мне не известно никаких фактов, не зависящих от упомянутой теории, которые бы доказывали ее справедливость.

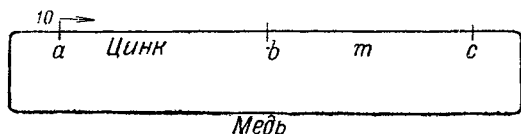


Рис. 151.

1810. С другой стороны, предполагается, что жидкие проводники и такие тела, которые содержат воду, или, одним словом, те, которые я назвал электролитами (664, 823, 921), или не оказывают контактной силы в месте соприкосновения с металлами, или, если и оказывают эту силу, то с той чрезвычайно важной разницей, что эта сила не подчинена тому же закону компенсации или нейтрализации в замкнутой цепи, который соблюдается для металлов (1809). Но, полагаю, я вправе сказать, что это — тоже лишь гипотеза, так как она не поддерживается никакими независимыми измерениями или фактами (1808), а только теорией, которую она сама предназначена поддерживать.

1811. Исходя из этого мнения и имея намерение установить, что именно в активной цепи производится контактом и что — химическим действием, я постарался найти в этом последнем классе некоторые вещества (1810), которые не оказывали бы химического действия на употребляемые

металлы (чтобы исключить эту причину тока), но все же были бы достаточно хорошими проводниками электричества и обнаруживали бы токи, обусловленные контактами этих металлов друг с другом или с жидкостью: я считал, что электролит, который будет проводить термоток одной пары пластин висмут — сурьма, будет удовлетворять требуемой цели; я искал таковые и, к счастью, скоро нашел их.

## ГЛАВА I

*Возбуждающие электролиты и т. д. — проводники термо- и вообще слабых токов*

1812. Сернистый калий. Это вещество и его растворы были приготовлены следующим образом. Равные веса едкого кали (*potassa fusa*) и серы были смешаны и медленно нагревались в флорентийской колбе до тех пор, пока все не расплавилось и не соединилось, а избыток серы начал возгораться. Затем все было охлаждено и растворено в воде, так что получился крепкий раствор, который, постояв, стал совершенно прозрачным.

1813. Порция такого раствора была включена в цепь, содержащую гальванометр и пару пластин из сурьмы и висмута; соединение с электролитом было сделано посредством двух платиновых пластинок, длиной около двух дюймов каждая и шириной в полдюйма; обе были погружены почти целиком и находились на расстоянии в полдюйма друг от друга. Когда цепь была замкнута и все находилось при одной температуре, тока не было; но в тот момент, когда соединение сурьмы и висмута было или подогрето, или охлаждено, появлялся соответствующий термоток, заставлявший стрелку гальванометра давать постоянное отклонение, иногда доходившее до 80°. Даже малые разности температур, вызываемые прикосновением пальца к элементу Зеебека, производили весьма заметные токи через электролит. Когда вместо

пары сурьма—висмут брались просто проволоки из меди и платины или железа и платины, то подогревание места соединения этих металлов спиртовкой давало термоток, который в тот же момент проходил через цепь.

1814. Итак, этот электролит по своей высокой проводящей силе вполне удовлетворяет требуемым условиям (1811). Он настолько превосходит в этом отношении, что я был в состоянии посылать термоток от одного элемента Зеебека через пять его последовательных порций, соединенных друг с другом платиновыми пластинками.

1815. Азотистая кислота. Желтая безводная азотистая кислота, полученная перегонкой сухого нитрата свинца, помещенная в стеклянную трубку и включенная в цепь вместе с нашей системой сурьма—висмут и гальванометр, не давала указаний на прохождение термотока, хотя погруженные электроды состояли из довольно толстой платиновой проволоки около четырех дюймов длины каждый и находились на расстоянии не более четверти дюйма друг от друга.

1816. Порция этой кислоты была смешана с почти таким же объемом воды; в результате произошло понижение температуры, выделение некоторого количества азотистого газа, образование некоторого количества азотной кислоты, и получилась темнозеленая жидкость. Она стала теперь таким прекрасным проводником электричества, что почти самые слабые токи могли проходить через нее. Ток, полученный от цепи Зеебека, замечался при погружении платиновых проволок в кислоту на длину лишь одной восьмой дюйма. Если в жидкости находилось по два дюйма каждого электрода, проводимость была так хороша, что для гальванометра почти не составляло разницы, соприкасались ли платиновые проволоки в жидкости или были разведены на четверть дюйма.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Де ля Рив указал на легкость, с которой электрический ток проходит между платиной и азотистой кислотой. *Annales de Chimie*, 1828, XXXVII, стр. 278



1817. Азотная кислота. Немного чистой азотной кислоты было прокипячено для того, чтобы отогнать всю азотистую кислоту, и затем остужено. Включенная в контур через платиновые пластины (1817), она оказалась столь плохим проводником, что действие на нее сурьяно-висмутовой пары, при наибольшей разности температур, было едва заметно на гальванометре.

1818. Употребление бледножелтой кислоты, вообще чистой, показало, что ее проводящая сила несколько больше, чем у предыдущей. При использовании красной азотной кислоты оказалось, что она проводит термоток очень хорошо. При прибавлении небольшого количества зеленой азотистой кислоты (1816) к бесцветной азотной кислоте смесь приобрела высокую проводящую силу. Итак, очевидно, что азотная кислота в чистом виде не является хорошим проводником, но присутствие в ней азотистой кислоты, вероятно совместно с водой, сообщает ей эту силу в очень высокой степени по сравнению с другими электролитами.<sup>1</sup> Интенсивно красная крепкая азотная кислота и слабая зеленая кислота (состоящая из одного объема крепкой азотной кислоты и двух объемов воды и ставшая зеленой под действием отрицательного платинового электрода гальванической батареи) были и та и другая такими прекрасными проводниками, что термоток мог проходить через пять их отдельных порций, соединенных платиновыми пластинками, с такой малой задержкой, что, по моему мнению, и двадцать таких перерывов не остановили бы этого слабого тока.

1819. Серная кислота. Крепкое купоросное масло между платиновыми электродами (1813) проводило сурьяно-висмутовый термоток хотя и ощутимо, но слабо. Смесь двух объемов кислоты и одного объема воды проводила гораздо лучше, но далеко не так хорошо, как два пред-

<sup>1</sup> Опыты Шенбейна со смесью азотной и азотистой кислот, по всей вероятности, имеют к делу прямое отношение и служат ему иллюстрацией. *Bibliothèque Universelle*, 1817, стр. 406.

шествующих электролита (1814, 1816). Смесь одного объема купоросного масла и двух объемов насыщенного раствора сульфата меди проводила этот слабый ток очень неплохо.

К а л и. Крепкий раствор едкого кали между платиновыми пластинами проводил термоток хотя и ошутимо, но очень слабо.

---

1820. Я возьму на себя смелость описать здесь, как в самом удобном месте, другие результаты, относящиеся к проводящей способности тел, которые будут нужны в дальнейшем при настоящих исследованиях. Гален, желтое сернистое железо, мышьяковистые пириты, природные сернистые медь и железо, природная серая и искусственная сернистая медь, сернистые висмут, железо и медь, шарики окиси каленого железа, железная окалина или чешуйчатая окись проводили термоток очень хорошо. Природная перекись марганца и перекись свинца проводили его довольно хорошо.

1821. Следующие тела, до некоторой степени схожие по природе и составу, не проводили этого слабого тока в заметной степени, когда контактные поверхности были малы: искусственное серое сернистое олово, цинковая обманка, киноварь, красный железняк, железная руда с Эльбы, природная магнитная окись железа, природная перекись олова (оловянный камень), вольфрам, расплавленный и остуженный протоксид меди, перекись ртути.

1822. Некоторые из вышеупомянутых веществ весьма замечательны по своей проводящей способности. Так обстоит дело с раствором сернистого калия (1813) и с азотистой кислотой (1816), по огромной величине этой способности. Перекиси марганца и свинца еще более замечательны тем, что вообще имеют эту способность, потому что протоксиды этих металлов не проводят ни слабого термотока, ни более сильного тока от гальванической батареи. Это обстоятельство особенно побудило меня проверить это свойство у перекиси свинца. Поэтому я приготовил некоторое его количество

из сурика, действием последовательных порций азотной кислоты, затем в течение нескольких дней кипятил полученную таким образом бурю окись в нескольких порциях дистиллированной воды до тех пор, пока не были удалены всякие следы азотной кислоты и нитрата свинца; после этого перекись была старательно высушена до конца. И все-таки, когда кучка ее в порошке и, следовательно, при очень несовершенных контактах во всей ее массе была зажата между двумя платиновыми пластинами и в таком виде включена в термоэлектрическую цепь (1813), оказалось, что ток через нее проходит легко.

## ГЛАВА II

### *Неактивные проводящие цепи, содержащие жидкость или электролит*

1823. Де ля Рив уже приводил пример с едким кали, железом и платиной<sup>1</sup> для того, чтобы показать, что там, где нет химического действия, нет и тока. Моей целью является: увеличить число подобных примеров, воспользоваться другими жидкостями, кроме едкого кали, и такими, которые обладают хорошей проводящей силой для слабых токов; применить сильные и слабые растворы и таким образом накопить экспериментальные и логические доказательства, посредством которых этот крупный вопрос должен быть разрешен окончательно.

1824. Прежде всего я взял сернистый калий, как электролит хорошей проводящей способности, но химически неактивный (1811) при включении его в цепь с железом и платиной. Установка показана на рис. 152, где *D*, *E* представляют два химических стакана, содержащих крепкий раствор сернистого калия (1812); а также четыре металлические пластинки, около полудюйма шириной и двух дюйм-

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1837, XI, стр. 275.

мов длиной в их погруженной части; из них три, обозначенные  $P, P, P$ , были из платины, а одна, обозначенная  $I$ , — из чистого железа; они были соединены друг с другом железными и платиновыми проводами, как на рис. 152, а гальванометр был включен у  $G$ . В этой установке было три

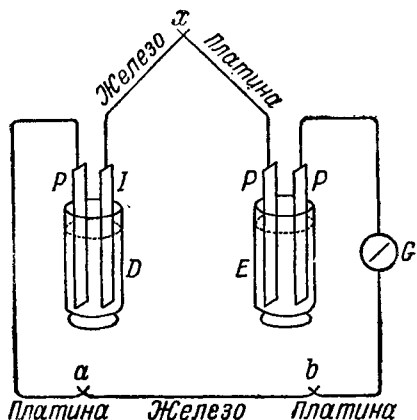


Рис. 152.

металлических контакта платины и железа  $a, b$  и  $x$ ; первые два противоположны друг другу, и их можно рассматривать как взаимно нейтрализующие свои силы; а третий, которому не противопоставлен какой-либо другой металлический контакт, можно сравнивать либо с разностью между  $a$  и  $b$ , когда один из них теплее другого, либо с самой собой, в нагретом или охлажденном состоянии (1830),

либо с силой химического действия, если сюда ввести какое-нибудь тело, способное к такому действию (1831).

1825. Если эта схема замкнута и в порядке, то через нее не проходит никакого тока, и стрелка гальванометра остается на  $0^\circ$ ; однако вся цепь открыта для очень слабого тока, так как разность температуры у одного из соединений  $a, b$  или  $x$  вызывает соответствующий термоток, мгновенно обнаруживаемый гальванометром, стрелка которого дает постоянное отклонение до  $30, 40$  или даже до  $50^\circ$ .

1826. Но для получения этого надлежащего и нормального состояния необходимо соблюдать некоторые предосторожности. Прежде всего, если цепь замкнута везде, кроме места погружения железной и платиновой пластинок в чашку  $D$ , тогда при погружении последних появится ток, направленный от платины (которая оказывается положительной)

через раствор к железу; он может продолжаться пять или десять минут или, если железо было небрежно вычищено, то и несколько часов; он вызывается действием сернистого раствора на *окисел железа*, а не каким-либо действием на металлическое железо; после того, как он прекратится, возмущающую причину можно считать устраненной. Опытные доказательства правильности этого объяснения я приведу дальше (2049).

1827. Другая предосторожность относится к действию случайных движений пластинок в растворе. Если две платиновые пластинки опустить в раствор указанного сернистого калия и включить в цепь с гальванометром, то эта схема, если она в порядке, не дает тока; но если одну из пластинок вынуть на несколько секунд на воздух, а затем вернуть на место, она станет отрицательной по отношению к другой и на короткое время возбudit ток.<sup>1</sup> Если одна из двух пластин будет из железа, а другая — из платины или из какого-либо другого металла или из вещества, на которое сульфид не действует, то получится такое же действие. В этих случаях ток происходит благодаря изменениям, которые воздух производит в пленке сернистого раствора, приставшей к вынутой пластинке.<sup>2</sup> Но и гораздо меньшая причина, чем эта, может произвести ток, потому что если вынуть одну из платиновых пластинок, хорошо ее вымыть, высушить и даже прогреть, то при ее введении обратно она почти наверно одну-две секунды будет обнаруживать отрицательное состояние.

---

<sup>1</sup> Марианини наблюдал такого же рода действия, которые вызывались влиянием воздуха на одну из двух пластинок, погруженных в азотную кислоту. *Annales de Chimie*, 1830, XLV, стр. 42.

<sup>2</sup> Беккерель уже давно упоминал о подобном влиянии экспозиции на воздух пластинки, ранее погруженной в некоторые растворы. Обычно пластинка, экспонированная таким образом, становилась положительной при последующем погружении. *Annales de Chimie*, 1824, XXV, стр. 405.

1828. Эти и другие возмущающие причины проявляются в настоящих опытах особенно сильно, благодаря превосходной проводящей способности употребляемого раствора; но их не будет, если принять меры к устранению всякого движения пластин или раствора; тогда, как сказано выше, вся схема приходит в нормальное и совершенно неактивное состояние.

1829. Таким образом, мы имеем здесь схему, в которой контакту между платиной и железом у  $x$  предоставлена свобода производить любые действия, которые такой контакт способен производить. И каковы же последствия? — Абсолютно никаких! Это не потому, что электролит является очень плохим проводником и ток контакта не может поэтому проходить, ибо через него легко проходят токи гораздо более слабые, чем этот предполагаемый ток контакта (1813); а служащий для опыта электролит по своей проводящей способности значительно превосходит употребительные в гальванических батареях или в цепях, в которых ток до сих пор приписывается контакту. Простое заключение, к которому должен привести опыт, состоит, по моему мнению, в том, что контакт железа с платиной не дает абсолютно никакой электродвижущей силы (1835, 1859, 1889).

1830. Если сделать контакт действительно активным и эффективным, изменив, согласно прекрасному открытию Зеебека, его температуру по сравнению с другими частями цепи, тогда его способность производить ток проявится (1824). Это дает возможность сравнивать предполагаемую силу простого контакта с силой термоконтакта, и мы находим, что последний оказывается бесконечно больше первого, потому что первый равен нулю. Такое же сравнение простого контакта с термоконтактом можно сделать, сопоставляя действие контакта  $x$  при обычных температурах с одним из контактов  $a$  или  $b$ , когда он нагрет или охлажден. Очень умеренные изменения температуры в этих точках мгновенно производят соответствующий ток, а простой контакт у  $x$  не производит ничего.

1831. Я считаю также, что у  $x$  можно произвести правильное, научное и даже строгое сравнение предполагаемого действия простого контакта с химическим действием. В самом деле, если разъединить металлы у  $x$  и приложить там клочок бумаги, смоченной в разведенной кислоте, или в растворе соли, или даже язык, или мокрый палец, то образуется ток, проходящий от железа через введенную кислоту или другую активную жидкость к платине и гораздо более сильный, чем те термоТоки, которые были описаны выше (1830). Это — пример тока от химического действия без какого-либо металлического контакта в цепи, которому можно было бы на один момент приписать происхождение действия (879); притом в этом случае металлический контакт заменен химическим действием, и результат таков: там, где контакт оказывается совсем неэффективным, химическое действие производит ток очень энергично.

1832. Конечно, нет никакой надобности говорить о том, что такие же экспериментальные сравнения можно сделать с каждым из двух других контактов  $a$  или  $b$ .

1833. Если допустить на время, что эта схема доказывает отсутствие электродвижущей силы контакта между платиной и железом у  $x$  (1835—1839), то отсюда следует также, что контакт платины или железа с любым другим металлом тоже не имеет этой силы. В самом деле, если включить между железом и платиной у  $x$  (рис. 152) другой металл, например цинк, то тока не получится; между тем контрольное слабое нагревание у  $a$  или  $b$  покажет, прохождением соответствующего тока, что цепь замкнута и может проводить любой ток, который будет стремиться через нее пройти. Далее, что контакты цинка с железом и с платиной обладают одинаковой электродвижущей силой — этого ни на один момент не допускают те, кто поддерживают теорию контактного действия; мы должны, следовательно, иметь результирующее действие, равное разности двух сил и производящее определенный ток. Но подобного тока

не наблюдается, и я считаю, что, имея в виду вышеупомянутое допущение, такой результат доказывает, что контакты *железо—цинк* и *платина—цинк* совершенно лишены электродвижущей силы.

1834. Золото, серебро, калий и медь вводились у *x* с таким же отрицательным результатом; и то же будет, несомненно, со всяким другим металлом в полном согласии с тем соотношением между ними, которое признается сторонниками теории контакта (1809). Такой же отрицательный результат получился при введении многих других проводящих тел в то же самое место; таковы, например, все уже перечисленные вещества, легко проводящие термоток (1820); и результат доказывает, я думаю, что контакт любого из них с железом или с платиной совершенно неэффективен как источник электродвижущей силы.

1835. Единственный ответ, который, как мне кажется, теория контакта может выдвинуть в противовес вышеупомянутым фактам и заключениям, это сказать, что раствор сернистого калия в стакане *D* (рис. 152) действует так, как действовал бы металл (1809), в результате чего все контакты в цепи оказываются точно уравновешенными. Я в настоящий момент не буду останавливаться на доказательстве того, что отступление, в случае электролитов или жидких тел в гальваническом элементе, *от закона*, который считается справедливым для металлов и твердых тел, хотя это только гипотеза, все же очень существенно для контактной теории гальванического элемента (1810, 1861<sup>1</sup>); не буду также доказывать, что электролит только тем и сходен с металлами, что не обладает никакой контактной электродвижущей силой. Я полагаю, что это скоро станет очевидным, и продолжу описание экспериментальных результатов, а к этим вопросам вернусь несколько дальше (1859, 1889).

1835. Опыт был далее повторен с заменой железа брус-

<sup>1</sup> См. слова Фехнера: *Philosophical Magazine*, 1838, XIII, стр. 377.



ком из никеля, рис. 152 (1824), а все остальное оставалось неизменным.<sup>1</sup> Цепь опять оказалась хорошим проводником слабого термотока, но совершенно неэффективной в качестве гальванической цепи, если все было при одной и той же температуре и были приняты необходимые предосторожности (2051). Введение металлов у контакта  $x$  было столь же неэффективно, как и ранее (1834); введение химического действия у  $x$  было столь же поражающим по своему действию, как и в предыдущем случае (1831); все результаты были фактически параллельны полученным ранее; и если приведенные тогда рассуждения были убедительны, то должно следовать, что и контакт из платины и никеля друг с другом или любого из них с каким-нибудь другим металлом или твердым проводником, введенным у  $x$ , совершенно лишен электродвижущей силы.<sup>2</sup>

1837. Многие другие пары металлов сравнивались друг с другом таким же образом; раствор сернистого калия соединял их с одного конца, а их взаимный контакт выполнял эту задачу с другого. Таковыми были в частности железо и золото, железо и палладий, никель и золото, никель и палладий, платина и золото, платина и палладий.

<sup>1</sup> Имеется другая форма этого опыта, которой я иногда пользовался и в которой чашка  $E$  (рис. 152) с ее содержимым была устранена, а платиновые пластинки в ней были соединены друг с другом. Тогда можно считать, что схема имеет три контакта из железа и платины, два из которых действуют в одном направлении, а третий в обратном. Схема и результаты фактически те же, что и приведенные выше. Еще более простой, но во многих случаях столь же убедительной является схема, в которой совсем упразднено железо между  $a$  и  $b$ , а рассматривается только один контакт у  $x$ .

<sup>2</sup> Один образец никеля был после своего погружения положителен по отношению к платине в течение семи-восьми минут, а затем стал нейтральным. По извлечении его оказалось, что он приобрел желтоватый оттенок и как-будто покрыт сульфидом; и я подозреваю, что этот кусок вел себя, как свинец (1885) и висмут (1895). Трудно получить чистый и в то же время идеально плотный никель; а если он порист, то вещества, приставшие в порах, вызывают ток.

Во всех этих случаях результаты были таковы же, как и приведенные для пары платина—железо.

1838. Необходимо принимать должные предосторожности для того, чтобы все схемы не оказались в каком-либо исключительном состоянии. Часто случалось, что первое погружение пластин давало отклонения; фактически почти невозможно опустить две пластины даже из *одного и того же металла* в раствор, не вызывая отклонения; последнее обычно очень быстро проходит, после чего схему можно пустить в дело для исследования (1826). Иногда получается слабое, но довольно постоянное отклонение стрелки; так, когда металлами были платина и палладий, первое отклонение спало, но остался ток, способный отклонять стрелку гальванометра на  $3^{\circ}$ ; ток показывал при этом, что платина положительна по отношению к палладию. Но это отклонение в  $3^{\circ}$  — почти ничто по сравнению с тем, что может вызвать чистый термоток, который производит отклонения до  $60^{\circ}$  и более; кроме того, если даже предположить, что это есть существенное действие данной схемы, оно направлено не в ту сторону, в которую должно быть по теории контакта. Я склонен приписать его скорее той способности, которой обладают платина и другие вещества: воздействовать на соединение и разложение, не участвуя в соединении; и я случайно нашел, что, когда платиновая пластина была оставлена на несколько часов в крепком растворе сернистого калия (1812), на ней осело небольшое количество серы. Какова бы ни была причина остающегося слабого тока, действие слишком мало, чтобы быть сколько-нибудь убедительным в смысле поддержания теории контакта; тогда как, с другой стороны, он дает тонкие, а следовательно, сильные доводы в пользу химической теории.

1839. Было сделано изменение в форме и устройстве стакана, рис. 152; оно позволило проводить опыты с другими телами, а не только с металлами. Раствор сернистого калия был помещен в плоский сосуд; платиновая пластинка была

согнута так, чтобы ее погруженный конец соответствовал дну сосуда; поверх него в раствор был положен кусок свободно сложенной ткани, а на нее затем накладывался минерал или другое вещество, которое сравнивалось с платиной. Глубина жидкости была такова, что только часть вещества находилась в ней, а все остальное было чистым и сухим; на этой части лежала платиновая проволока, замыкавшая цепь. Устройство этой части цепи дано в разрезе на рис. 153, где *H* представляет кусочек галена, который надлежало сравнить с платиной *P*.

1840. Таким способом были сравнены с платиной гален, плотный желтый медный пирит, желтый железный пирит и шарики окиси каленого железа (электролитом в цепи служил раствор сернистого калия). Результаты были одинаковы с полученными для металлов (1829, 1833).

1841. Опыты, которые будут описываться в дальнейшем, давали схемы, в которых сернистый свинец при том же электролите сравнивался с золотом, палладием, железом, никелем и висмутом (1885, 1886); также сернистый висмут — с платиной, золотом, палладием, железом, никелем, свинцом и сернистым свинцом (1894), и все — с тем же результатом. Где не происходило химического действия, там не появлялось тока, хотя цепь оставалась превосходным проводником и существовал контакт, который должен был бы, по теории контакта, производить ток.

1842. Вместо крепкого раствора брался разведенный раствор желтого сернистого калия, состоящий из одной части крепкого раствора (1812) и десяти частей воды. Пластинки из платины и железа устанавливались в этой жидкости, как прежде (1824): железо вначале было отрицательно (2049), но через десять минут стало нейтральным, и стрелка уста-

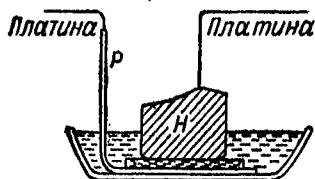


Рис. 153.

навливалась на  $0^{\circ}$ .<sup>1</sup> В этих условиях легко проходит слабый химический ток, возбужденный у  $x$  (1831); даже термоток (1830) был способен отклонять стрелку. Таким образом, и крепкий и слабый растворы этого электролита дали одинаковые явления. При дальнейшем разбавлении раствора можно было получить жидкость, в которой железо после первоначального действия становилось постоянно, но слабо положительным. Однако во всех таких случаях оказывалось, что по истечении некоторого времени кое-где на железе происходило образование черного сульфида. Ржавое железо было отрицательно по отношению к платине (2049) в этом очень слабом растворе, который прямым химическим действием мог делать металлическое железо положительным.

1843. Во всех предыдущих опытах в качестве электролита был взят раствор сернистого калия; теперь я заменил его другим, совершенно иным по своей природе, а именно *зеленой азотистой кислотой* (1816), которая, как уже было показано, является превосходным проводником электричества. В качестве металлов служили железо и платина; и то и другое — в виде проволок. Сосудом, в который они погружались, служила трубка, подобная описанной ранее (1815); в других отношениях устройство было в принципе таково же, как описанное ранее (1824, 1836). При начале действия появлялся ток, причем в кислоте железо оказывалось положительным по отношению к платине; но ток *скоро прекращался*, а стрелка гальванометра приходила к  $0^{\circ}$ . Однако в таком состоянии эту цепь нельзя было сравнивать во всех отношениях с цепью, у которой в качестве электролита был взят раствор сернистого калия (1824).

<sup>1</sup> В этих и предшествующих подобных случаях ради предосторожности производилась разрядка платиновой поверхности от всякой реактивной силы, которую она могла приобрести под действием предшествовавшего тока; для этого она отключалась от других металлов и к ней, в жидкости, на одно мгновение прикасались другой платиновой пластинкой.

В самом деле, хотя она и могла в некоторой степени проводить термоток от сурьмы и висмута, эта способность была очень мала по сравнению с той, которой обладала предыдущая схема, или с такой, в которой азотистая кислота находилась между двумя платиновыми пластинками (1816). Эта замечательная задержка является следствием того, что железо принимает особое состояние, которое Шенбейн так хорошо описал и иллюстрировал своими многочисленными опытами и исследованиями. И хотя надо допустить, что железо в контакте с кислотой находится в особом состоянии (1951, 2001, 2033), все же очевидно также, что цепь, состоящая из платины, железа, особого железа и азотистой кислоты, не производит тока, хотя она имеет проводящую способность, достаточную, чтобы проводить термоток.

1844. Но если контакт из платины и железа имеет электродвижущую силу, почему же он не производит тока? Применение нагревания (1830) или небольшого химического действия (1831) в месте контакта производит ток, а в последнем случае даже сильный. Или, если какой-нибудь другой из контактов в этом устройстве может производить ток, почему же это не обнаруживается каким-нибудь соответствующим действием? В ответ можно только сказать, что особое железо имеет те же электродвижущие свойства и соотношения, как и платина, или что азотистая кислота подчиняется тому же закону, что и металлы (1809, 1835); и, таким образом, сумма действий всех контактов в цепи есть ноль, или точное уравновешение сил. Я верю, что железо подобно платине в том отношении, что не дает электродвижущей силы при отсутствии химического действия на его контактах; но что оно не похоже на нее по своим электрическим соотношениям, является очевидным из различия между ними как в крепкой, так и в слабой азотной кислоте, из их различной способности проводить электрические токи как к азотной кислоте, так и к сернистому калию, которая очень велика, а также в силу других раз-

личий. То, что азотистую кислоту в отношении силы ее контактов надо отделить от других электролитов и отнести к металлам по свойствам, которые и для металлов являются чисто гипотетическими, есть весьма дешевый способ объяснения затруднения; это мы увидим дальше для случая сернистого калия (1835, 1859, 1889, 2060).

1845. Для ученого электрохимика этот случай есть только один из многих сильных примеров, показывающих, что там, где в гальванической цепи отсутствует химическое действие, там не может образоваться и ток; и все равно, что будет взято в качестве электролита или соединительной жидкости: раствор сернистого калия или азотистая кислота, — результаты будут все те же: контакт, оказывается, будет недейственным как активное электродвижущее приспособление.

1846. Мне нет надобности говорить, что введение различных металлов между железом и платиной в точке их контакта не производило никакой разницы в результатах (1833, 1834) и не вызывало тока; и я уже говорил, что применение там нагревания или химического действия производило соответствующие действия. Эта параллельность в активности и неактивности показывает тождественность природы этой цепи (несмотря на образование поверхностной пленки железа на этом металле) и цепи с раствором сернистого калия: так что все заключения, выведенные там, применимы и здесь, и если тот случай является непоколебимым доказательством против теории контактной силы, то таким же будет и этот.

1847. Далее я брал окись железа и платину в качестве концов твердой части цепи и азотистую кислоту в качестве жидкости; т. е. я нагревал железную проволоку в огне спиртовой горелки и таким образом покрывал ее пленкой окиси по способу, рекомендованному Шенбейном в его исследованиях, а затем брал его вместо чистого железа (1843). Окись железа вначале была очень слабо положи-

тельна и быстро становилась нейтральной; значит, эта цепь, как и предыдущая, не давала тока при обычных температурах, но она сильно отличалась от нее по проводящей способности, являясь превосходным проводником термотока, так как окись железа не представляла такого препятствия для прохождения тока, как особое железо (1843, 1844). Итак, чешуйчатая окись железа и платина не производят тока при контакте, если третьим веществом в испытываемой цепи служит азотистая кислота; таким образом, результат согласуется с полученным в предыдущем случае, где этим третьим веществом был раствор сернистого калия.

1848. При употреблении азотистой кислоты необходимо соблюдать некоторые предосторожности, основанные на следующем явлении. Если цепь составлена из зеленой азотистой кислоты, платиновых проволок и гальванометра, через несколько секунд все следы тока, зависящего от первоначальных возмущений, исчезнут; но если одну из проволок поднять на воздух и тотчас же возвратить в ее прежнее положение, появляется ток, и эта проволока оказывается отрицательной через электролит по отношению к другой. Если одну проволоку погрузить в кислоту только на небольшую глубину, например на одну четверть дюйма, а затем приподнять не более чем на одну восьмую дюйма и моментально опустить обратно, возникнет то же явление, как и раньше. Действие обусловлено испарением азотистой кислоты с вынутой на воздух части проволоки (1837). Я, может быть, вернусь к этому в будущем, а сейчас хочу только указать на предосторожность, которая из этого следует, а именно на необходимость во время опыта сохранять провода в спокойном состоянии.

---

1849. Исходя из фактов, сообщенных Шенбейном и касающихся отношения железа и азотной кислоты, я воспользовался этой кислотой как жидкостью в гальванической цепи, составленной из железа и платины. Чистая азот-

ная кислота отличается крайне слабой проводящей способностью (1817); можно даже подумать, что она способна остановить любой ток, возникший благодаря контакту между платиной и железом; кроме того, пользование ею в этих опытах вызывает возражения потому, что, действуя слабо на железо, она химически возбуждает ток, про который можно подумать, что он будет примешивать свое действие к действию контакта. Нашей же целью в настоящее время является выявление влияния одного контакта с исключением подобного химического действия. Тем не менее результаты, получаемые с ней, согласуются с более совершенными результатами, описанными раньше; в самом деле, в цепи из железа, платины и азотной кислоты совместный эффект химического действия на железо и контакта железа с платиной должен произвести ток определенной и постоянной силы (ее укажет гальванометр); между тем введение небольшого химического действия в месте контакта железа с платиной (как и ранее, 1831) вызывало значительно более сильный ток, чем тот, который проходил раньше. Если затем из более слабого тока вычесть ту долю, которая приходится на химическое действие, как мало останется возможности для предположения, что хоть какое-либо действие обязано своим существованием контакту металлов!

1850. Но *красная азотная кислота* с платиновыми пластинами проводит термоток хорошо и продолжает его проводить даже при значительном разбавлении (1818). Если такую красную кислоту вводить между железом и платиной, ее проводящая способность такова, что половину получающегося постоянного тока можно преодолеть противоположным термотоком от висмута и сурьмы. Таким образом, устанавливается нечто вроде сравнения между термотоком, с одной стороны, и током, происходящим от соединенных действий химической реакции с железом и контакта железа с платиной — с другой. Теперь, принимая во внимание признанную слабость термотока, можно судить о том, какова должна



быть сила той части второго тока, которая определяется контактом, и в какой малой степени она может объяснять те сильные токи, которые производятся обыкновенными гальваническими парами.

1851. Если вместо чистой железной проволоки брать проволоку, окисленную в пламени спиртовой горелки, то при погружении ее вместе с платиной в чистую крепкую азотную кислоту возникает слабый ток и окись железа оказывается положительной по отношению к платине; результаты получаются в общем такие же, как и с железом. Но дальнейший успех достигается сравнением контакта крепкой и слабой кислот с этой окисированной проволокой. Если смешать объем крепкой кислоты с четырьмя объемами воды, можно пользоваться этим раствором, и тогда получаемые отклонения даже меньше, чем с крепкой кислотой. Со стороны железа активность будет едва ощутима, и то лишь при применении чрезвычайно чувствительных способов наблюдения тока. Однако в обоих случаях, если в месте контакта ввести химическое действие, то результирующий ток проходит хорошо, и можно показать, что даже термоток оказывается более мощным, чем ток от контакта.

1852. В этих случаях безопаснее всего опустить окисленное железо целиком под поверхность и замыкать его в цепь, прикасаясь к нему платиновой проволокой; потому что, если окисленное железо будет выступать из кислоты в воздух, оно почти наверное пострадает от соединенного действия кислоты и воздуха на поверхности соприкосновения последних.

1853. Я перешел к опытам с жидкостью, отличающейся от всех предыдущих: это был раствор едкого кали, над которым уже экспериментировал де ля Рив (1823), с железом и платиной; крепкий раствор кали оказался веществом настолько проводящим, что через него может проходить даже термоток (1819); поэтому он был вполне достаточен

для того, чтобы показать ток от контакта, если таковой существует.

1854. Однако, когда крепкий раствор этого вещества образовал пару с серебром и платиной (тела, существенно отличающиеся друг от друга, когда они находятся в комбинации с азотной или соляной кислотой), получался, как и в предыдущем случае, очень слабый ток, и стрелка гальванометра стояла почти у нуля. Таким образом оказалось, что контакт этих металлов не возбуждает ощутимого тока и, как я вполне уверен, потому, что у такого контакта не существует никакой электродвижущей силы. Когда этот контакт был заменен очень слабым химическим действием, для чего в цепь был включен небольшой кусочек бумаги, смоченный в разбавленной азотной кислоте (1831), то результатом было появление тока. Таким образом, здесь, как и во многих предыдущих случаях, схема с небольшим химическим действием и без всякого металлического контакта производит ток, а схема без химического действия, но с металлическим контактом, не производит ничего.

1855. В таком крепком растворе кали железо и никель в паре с платиной были положительны. Но сила производимого тока вскоре падала и через час или около этого становилась совсем малой. Уничтожая затем металлический контакт у  $x$  (рис. 152) и подставляя на его место слабое химическое действие — как, например, от разбавленной азотной кислоты, — мы получаем ток, который проходит и проявляет себя. Таким образом, эти случаи параллельны тем, о которых упоминалось выше (1849 и т. д.), и показывают, как мало мог бы сделать один контакт, если соединенное действие контакта железа с платиной и химического воздействия кали на железо оказываются очень малы по сравнению с химическим действием разбавленной азотной кислоты.

1856. Вместо крепкого раствора кали опыт производился с значительно более слабым, состоявшим из одного

объема крепкого раствора и шести объемов воды, но результаты с серебром и платиной получились те же: металлический контакт не производил никакого тока до тех пор, пока он оставался в качестве возбуждающей причины один, но после его замены небольшим химическим действием (1831) немедленно появлялся ток.

1857. Железо и никель с платиной в слабом растворе давали подобные результаты, только положительное состояние этих металлов оказалось более продолжительным, чем при крепких растворах. Но и теперь оно было настолько мало, что не могло итти ни в какое сравнение с тем, что ожидалось по контактной теории.

1858. Таким образом, эти различные контакты металлов и других хорошо проводящих твердых тел оказываются совершенно неспособными производить токи, — все равно, что берется в качестве третьего или жидкого тела в цепи: раствор едкого кали или раствор сернистого калия, или водная азотистая кислота, или азотная кислота, или смесь кислот азотистой и азотной. Далее, все доводы, которые были выдвинуты применительно к раствору сернистого калия (1833) для доказательства недейственности контактов между телами, вводимыми между двумя основными твердыми веществами в месте их соединения, сохраняют здесь силу для едкого кали; и то же соблюдается в каждом случае, когда жидкость, вводимая в проводящую цепь, не оказывает химического действия и не возбуждает никакого тока. Если бы можно было привести пример, в котором введенная жидкость не активна и, в то же время, является достаточно хорошим проводником и *производит* ток, тогда, действительно, контактная теория нашла бы в свою пользу доказательство, которое, насколько я понимаю, нельзя было бы опровергнуть. Я чрезвычайно старательно искал такого случая, но не мог его найти (1798).

1859. Собранный материал приведен теперь в состояние готовности для того, чтобы вернуться к тому важному пункту, о котором упоминалось выше (1835, 1844), и если он выдвинут сторонником контактной теории правильно, то он может полностью уничтожить всю силу приведенных экспериментальных доказательств, хотя и не может помочь этой теории объяснить действие гальванического элемента и существование в нем тока; но если он не справедлив, то оставит контактную теорию вполне беззащитной и необоснованной.

1860. Защитник теории контакта может сказать, что различные проводящие электролиты, применявшиеся в предыдущих опытах, подобны металлам, т. е., что они обладают электродвижущей силой у точек своего соприкосновения с металлами и другими твердыми проводниками, которые служили для замыкания цепи, на что эта электродвижущая сила для каждого места контакта удовлетворяет такой законности, что в замкнутом контуре сумма сил оказывается нулем (1809). Действия на контактах суть напряженные электродвижущие действия, но они уравновешены таким образом, что ток не возникает. Но какой опыт имеется для подтверждения этого утверждения? Где измеренные электродвижущие силы, доказывающие это (1808)? — Я думаю, что их нет.

1861. Контактная теория, предположив, что простые контакты различных веществ имеют электродвижущие способности, далее считает, что имеется различие (1810) между металлами и жидкими проводниками, так как без этого она не может объяснить появление тока в гальваническом элементе: в самом деле, если принять, что действие контактов в металлической цепи всегда совершенно уравновешено, то принимается также, что действия контактов между электролитами или промежуточными жидкостями и металлами не уравновешены и, напротив, так сильно уклоняются от всякого равновесия, что производят чрезвычайно сильные

токи — даже самые сильные из тех, которые может производить гальванический элемент. А если так, то почему же раствор сернистого калия оказывается исключением? Он совсем не похож на металлы: повидимому, он не проводит тока без разложения; он — превосходный электролит и превосходный *возбуждающий* электролит в соответствующих случаях (1880), производящий чрезвычайно сильные токи, когда он действует химически; во всех этих отношениях он совершенно не похож на металлы, а похож по своим действиям на любой обычно употребляемый для возбуждения кислотный или соляной электролит. Как же тогда можно считать дозволительным, чтобы мы без единого прямого опыта и исключительно с целью уйти от выдвигаемых сильных возражений стали утверждать, что он покинет подобающее ему место среди электролитов и перейдет в ряд металлов, да еще перейдет благодаря свойству, которое и им, металлам, приписывается пока что только чисто гипотетически?

1862. Но эта вольность должна быть допущена не только с одним сернистым калием, — ее надо распространить и на азотистую кислоту (1843, 1847), на азотную кислоту (1849 и сл.) и даже на раствор едкого кали (1854); все они принадлежат к классу электролитов, но, однако, не вызывают тока в тех цепях, в которых не оказывают химического действия. Кроме того, это исключение надо сделать и для *слабых растворов* сернистого калия (1842) и кали (1856), потому что они дают те же явления, что и более крепкие растворы. И если теоретики контакта требуют этого для этих слабых растворов, то как же они истолкуют случай слабой азотной кислоты, которая в своем действии на железо не сходна с крепкой кислотой (1977), но может производить сильный ток?

1853. Ученого химика не смущает ни одна из этих трудностей, потому что он сперва простым прямым опытом убедится, действует ли химически одно из двух вводимых.

в цепь веществ на другое. Если да, то он ожидает и находит соответствующий ток; если же нет, то он и не ожидает и не находит тока, хотя цепь обладает хорошей проводимостью, и он тщательно ищет последней (1829).

1864. Далее. Возьмем случай железа, платины и раствора сернистого калия: тока не возникает; но заменим железо цинком, и получается сильный ток. Я мог бы заменить цинк медью, серебром, оловом, кадмием, висмутом, свинцом и другими металлами, но я беру цинк, потому что его сульфид растворяется и уносится прочь раствором и, таким образом, пример оказывается очень простым. Этот довод, однако, остается в силе с любым другим металлом. Если теперь контактная теория верна и если контакты, которые дают железо, платина и раствор сернистого калия, находятся в совершенном равновесии в отношении их электродвижущих сил, тогда почему замена железа цинком нарушает равновесие? Замена одного металла другим в металлической цепи не причиняет изменений такого рода; не причиняет их и замена одного вещества каким-либо другим из тех многочисленных тел, которые, как твердые проводники, могут служить для составления проводящих (но химически неактивных) цепей (1867 и сл.). Если раствор сернистого калия на основании тех опытов, которые я приводил, нужно отнести к металлам, тогда почему же получается, что в новых опытах с цинком, медью, серебром и т. д., он действует не так, как они, и притом с силой, равной силе лучших представителей другого класса (1882, 1885 и сл.)?

1865. Но это затруднение, как я полагаю, сторонники контакта должны встретить новым предположением, а именно, что эта жидкость иногда действует, как самый лучший из металлов, или проводников первого класса, а иногда — как самый лучший из электролитов, или проводников второго класса. Но, несомненно, это было бы слишком вольной спекуляцией в экспериментальной науке (1889); и далее, очень невыгодно для этого предположения то обстоятельство, что

указанное второе состояние, или соотношение, никогда не приходит одно и не дает нам чистого случая тока от одного контакта; оно никогда не происходит без химического действия, которым химик так легко объясняет весь получаемый тогда ток.

1866. Мне нет надобности говорить, что то же рассуждение применимо в той же мере и к случаям, где для опытов берутся азотистая кислота, азотная кислота и раствор кали; результаты, которые эти опыты дали (1843, 1849, 1853), подтверждают его с той же силой.

1867. Можно думать, что это совершенно излишне, но, желая обнаружить контактную электродвижущую силу, что я одно время очень стремился сделать, я составлял много цепей из трех веществ, включая гальванометр, все из проводников, в надежде найти комбинацию, которая, без химического действия, давала бы ток.

Число и разнообразие этих опытов можно уяснить себе из последующей сводки; в ней металлы, графит, сульфиды и окислы — все проводники даже для термотока — комбинировались различными способами.

1. Платина.
2. Железо.
3. Цинк.
4. Медь.
5. Графит.
6. Чешуйчатая окись железа.
7. Природная перекись марганца.
8. Самородный серый сульфид меди.
9. Самородный железный колчедан.
10. Самородный медный колчедан.
11. Гален.
12. Искусственный сульфид меди.
13. Искусственный сульфид железа.
14. Искусственный сульфид висмута.

- 1 и 2 с 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, последовательно.  
 1 и 3 с 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14.  
 1 и 5 с 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14.  
 3 и 6 с 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14.  
 4 и 5 с 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14.  
 4 и 6 с 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14.  
 4 и 7 с 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14.  
 4 и 8 с 9, 10, 11, 12, 13, 14.  
 4 и 9 с 10, 11, 12, 13, 14.  
 4 и 10 с 11, 12, 13, 14.  
 4 и 11 с 12, 13, 14.  
 4 и 12 с 13, 14.  
 4 и 13 с 14.  
 1 и 4 с 12.

1868. Марианини утверждает на основании опыта, что медь положительна по отношению к сернистой меди:<sup>1</sup> по данным этого ученого и в согласии с приверженцами Вольты, сернистая медь положительна по отношению к железу (1878), а железо, как и они, положительно по отношению к меди. Поэтому эти три тела должны были бы давать чрезвычайно мощную цепь; но, наоборот, какой бы сульфид меди я ни брал, я не находил при такой комбинации ни малейшего действия.

1869. Так как перекись свинца вызывает мощный ток в растворе сернистого калия, как, впрочем, во всякой цепи, в которой она может отдавать часть своего кислорода, я счел правильным ожидать, что ее контакт с металлами будет производить ток, если контакт вообще может это делать. Часть той перекиси, которую я приготовил (1822), была поэтому хорошо высушена, что весьма существенно в этих опытах, и испытывалась в следующих комбинациях:

Платина.	Цинк.	Перекись свинца.
Платина.	Свинец.	Перекись свинца.

<sup>1</sup> Memorie della Società Italiana in Modena, 1827, XXI, стр. 224.



Платина.	Кадмий.	Перекись свинца.
Платина.	Железо.	Перекись свинца.

Из этих различных комбинаций ни одна не дала ни малейших признаков тока, — конечно, при условии, что были исключены разности температур, хотя построенная таким образом цепь во всех случаях по своей проводящей способности превосходно удовлетворяла цели, т. е. была способна проводить даже очень слабый термоток.

1870. Поэтому в контактной теории приходится принимать, что не только у одних металлов контактные силы уравниваются так, что в любой составленной из них цепи дают нулевой эффект (1809), но и все твердые тела, способные проводить, каковы бы они ни были: разновидности углерода, окислы или сульфиды, — все должны быть включены в эту же категорию. Так же должно поступить и с электролитами, о которых говорилось выше, т. е. с растворами сернистого калия и кали, а также с азотистой и азотной кислотой во всех тех случаях, когда они не действуют химически. По теории контакта следует принимать, что фактически *все проводники*, которые в цепи не действуют химически, включаются в ту же категорию, — принимать до тех пор, пока не будет получен пример гальванического тока без химического действия.

1871. Допустим даже, что результаты с электрометром, полученные Вольтою и его последователями, доказывают, что один контакт имеет электродвижущую силу и может производить действия; тогда несомненно, что все опыты с одним контактом показывают, что электродвижущие силы в цепи всегда (взаимно) уравниваются. Как же иначе было бы возможно, чтобы все вышеназванные чрезвычайно разнообразные вещества были одинаковы в этом отношении? Разве что окажется, как я действительно и полагаю, что все вещества одинаковы в том, что совсем не имеют этой силы. А раз

так, то где же тогда источник силы, который по контактной теории должен обусловить ток в гальваническом элементе? Если они не уравновешены, то где же убедительный случай, в котором один контакт производит ток? Или где численные данные, показывающие, что такой случай может иметь место (1808, 1868)? Сторонники контакта должны указать не такой случай, в котором ток бесконечно мал, потому что такие случаи не могут объяснить ток в гальваническом элементе и всегда будут попадать в ту спорную область, которую так хорошо защищал де ля Рив, — нет, они должны указать случай и данные, настолько определенные и важные, чтобы они оказались достойным возражением на многочисленные примеры, выдвинутые учеными-химиками (1892); без них контактная теория в ее применении к гальваническому элементу представляется мне лишенной опоры; и даже в той мере, в какой она устанавливает контактную электродвижущую силу *в уравновешенном состоянии*, она кажется мне не имеющей почти никакого основания.

1872. Чтобы избежать этих и подобных им заключений, теория контакта должна влиять чрезвычайно странным и неправильным образом. Так, она вынуждена принимать, что контакт раствора сернистого калия с железом уравновешивается соединенными силами его контакта с платиной и контакта железа и платины друг с другом, но если заменить железо на свинец, то контакт сульфида с этим последним металлом уже не будет уравновешен двумя другими контактами; сульфид внезапно изменит свое отношение; через несколько секунд, в течение которых благодаря химическому действию образуется пленка сульфида, ток прекращается, хотя контур остается хорошим проводником (1885); и теперь приходится предполагать, что раствор вернулся к своему первоначальному родству с металлами и дает с сернистым свинцом состояние равновесия контактов в цепи.

1873. Совершенно так же надо принять, что с этим сульфидным раствором и с кали разбавление не производит изме-

нения в характере контактной силы; но в случае азотной кислоты надо, наоборот, допустить, что оно меняет характер силы в значительной мере (1977). И еще: когда кислоты и щелочи (как кали) производят токи, как, например, с цинком и платиной, нужно принимать, что они дают перевес электродвижущей силе на одной стороне, хотя можно было бы ожидать, что эти тела будут давать противоположные токи, поскольку они так сильно отличаются по своей природе.

1874. В каждом частном случае тока защитники контакта должны принимать существование в точках контакта сил такой величины, чтобы они пришли в согласие с наблюдаемыми результатами, и теория вынуждена вилять (1956, 1992, 2006, 2014, 2063), не имея никаких общих правильностей для кислот или щелочей, или других электролитических жидкостей. Вывод таков: теория ничего не может предсказать относительно результатов; она не указывает ни одного случая, когда бы гальванический ток производился без химического действия; а в тех случаях, когда имеется одновременное химическое действие, она извивается, чтобы следовать за реальными результатами, и изгибы ее точно параллельны тем разнообразным изменениям, которые, согласно опыту, принадлежат чистой химической силе.

1875. Наряду со всем этим как просто химическая теория встречает, включает в себя, комбинирует и даже предсказывает многочисленные опытные результаты! Когда имеется ток, имеется также химическое действие; когда действие прекращается, ток останавливается (1882, 1885, 1894); действие сосредоточивается либо на аноде, либо на катоде в зависимости от обстоятельств (2039, 2041), и направление тока неизменно связано с направлением, в котором активные химические силы заставляют анионы и катионы двигаться в цепи (962, 2052).

1876. И вот, если наряду с этими обстоятельствами учесть, что многочисленные схемы без химического действия (1825 и сл.) не производят тока, а схемы, производящие

химическое действие, почти всегда производят ток, что встречаются сотни случаев, в которых химическое действие без контакта производит ток (2017 и т. д.), и что столько же известно неактивных случаев с контактом, но без химического действия (1867), — то как можем мы противиться заключению, что сила гальванической батареи имеет своим источником действие химической силы?

### ГЛАВА III

#### *Активные цепи, возбуждаемые раствором сернистого калия*

1877. В 1812 г. Дэви сделал опыт, чтобы показать, что из двух различных металлов, меди и железа, тот, который обладает более сильным притяжением к кислороду, становится положительным в окислительных растворах, а тот, который имеет более сильное притяжение к сере, становится положительным в сернистых растворах.<sup>1</sup> В 1827 г. де ля Рив указал несколько подобных обращений состояния двух металлов, вызывавшихся погружением в различные растворы, и заключил из этого, что простой контакт металлов не мог быть причиной их соответствующих состояний, но что эти состояния вызывались химическим действием жидкости.<sup>2</sup>

1878. В одной из предыдущих статей я ссылаюсь на опыты сэра Гемфри Дэви (943) и привел его результат в доказательство того, что контакт железа с медью не мог вызвать возникавший ток, поскольку при употреблении разведенной кислоты, вместо сульфида, возникал ток обратного направления, хотя металлический контакт оставался тем же. Марианини<sup>3</sup> добавляет, что медь будет производить то же действие с оловом, свинцом и даже с цинком, а также, что серебро дает такие же результаты, как и медь. В случае меди он

<sup>1</sup> Elements of Chemical Philosophy, стр. 148.

<sup>2</sup> Annales de Chimie, 1828, XXXVII, стр. 231—237; XXXIX, стр. 299.

<sup>3</sup> Memorie della Società Italiana in Modena, 1827, XXI, стр. 224.

объясняет действие, приписывая его отношению железа к новому веществу, образовавшемуся на меди, которое, согласно Вольте, положительно по отношению к первому.<sup>1</sup> В его собственном опыте то же самое вещество было отрицательно по отношению к железу при этом же растворе.<sup>2</sup>

1879. Я хочу теперь вернуться к ряду случаев, в которых жидкостью в гальванической цепи служит раствор сернистого калия, ибо я думаю, что они дают чрезвычайно сильное доказательство того, что ток в гальванической батарее не может быть производим контактом, а вызывается всецело химическим действием.

1880. Раствор сернистого калия (1812) является превосходнейшим проводником электричества (1814). Подвергнутому между платиновыми электродами разлагающему действию небольшой гальванической батареи, он легко давал чистую серу на аноде и немного газа, по всей вероятности водорода, на катоде. Если его поместить между платиновыми поверхностями так, чтобы он как бы образовал риттеровский вторичный элемент, то при прохождении только в течение нескольких секунд слабого первичного тока эта вторичная батарея приобретает способность фактически возбуждать обратный ток; так что, сообразно электролитическому характеру своей проводимости (923, 1343), он, вероятно, не проводит без разложения или же, если проводит, то степень его электролитического напряжения (966, 983) должна быть очень низка. Его возбуждающее действие (говоря языком химической теории) состоит либо в отдаче аниона (серы) тому металлическому или иному телу, на которое он может действовать, либо, в некоторых случаях, как с перекисями свинца и марганца и протоксидом железа (2046), в отнятии аниона *от* тела, находящегося с ним в контакте, причем производимый ток соответственно идет либо в одном, либо

<sup>1</sup> Memorie della Società Italiana in Modena, 1827, XXI, стр. 219.

<sup>2</sup> Там же, стр. 224.

в противоположном направлении. Его химическое сродство таково, что во многих случаях его анион идет к тому металлу данной пары, который остается нетронутым при действии обычных возбуждающих электролитов; и таким образом получается замечательное обращение тока по отношению к металлам; так, когда с ним производят опыт над медью и никелем, анион идет к меди; но если взять эти же металлы в соединении с обычными электролитическими жидкостями, анион идет к никелю. Его превосходная проводящая сила делает те токи, которые он способен возбуждать, вполне очевидными и очень сильными; а необходимо помнить, что сила получающихся токов, отмечаемых гальванометром, зависит совокупно от энергии (а не просто от количества) вводимого в игру возбуждающего действия и от проводящей способности цепи, через которую должен проходить ток. Ценность этого возбуждающего электролита для настоящего исследования повышается еще тем обстоятельством, что он при своем действии на металлы дает в результате соединения, из которых некоторые нерастворимы, в то время как другие растворимы; а из нерастворимых осадков некоторые являются прекрасными проводниками, в то время как другие совсем не имеют проводящей способности.

1881. Опыты, которые сейчас будут описаны, производились обычно следующим образом. Приготавливались проволоки из платины, золота, палладия, железа, свинца, олова и других ковких металлов, около одной двадцатой дюйма в диаметре и длиной в шесть дюймов. Какие-нибудь две из них присоединялись к концам проводов гальванометра, а другими концами одновременно погружались в раствор сернистого калия в пробирке и поддерживались там без движения (1910); в то же время проводились наблюдения. Проволоки в каждом случае тщательно чистились свежей, тонкой шкуркой и чистой тканью, а иногда даже полировались на стеклянной палочке, чтобы придать им гладкую поверхность. Принимались предосторожности к устранению всякой разности температур на

местах соединения различных металлов с проводами гальванометра.

1882. Олово и платина. Когда олово соединялось с платиной, золотом, или, я могу сказать, с любым другим металлом, который химически неактивен в растворе сернистого калия, возникал сильный электрический ток, и олово оказывалось положительным по отношению к платине в растворе, или, иными словами, ток шел от олова через раствор к платине. За очень короткое время сила тока уменьшалась, а через десять минут стрелка гальванометра доходила почти до  $0^{\circ}$ ; и тогда, при попытке пропустить сурьмяно-висмутовый термоток (1825) через цепь, оказывалось, что ток не мог пройти, так как цепь потеряла свою проводящую способность. Это было следствием образования на олове нерастворимого обволакивающего осадка, не проводящего сульфида этого металла; отсутствие проводящей силы у образовавшегося вещества очевидно не только из настоящего результата, но также и из предыдущего опыта (1821).

1883. Марианини считает возможным, что, — по крайней мере, в случае меди (1878), а я полагаю, что и по исхо подобных случаях, потому что наверное ими должен управлять один и тот же закон или принцип, — ток вызывается контактной силой образовавшегося сульфида. Но такое предположение здесь совершенно исключено; потому что как может *непроводящее* тело вызывать ток при помощи контакта либо каким-нибудь другим путем? Такого примера никогда не наблюдалось, да это и не в природе вещей; так что причиной тока здесь не может быть контакт сульфида; а если не может в настоящем случае, то почему может в каком либо другом? Здесь ведь не происходит ничего такого, что не происходило бы в любом другом примере тока, производимого тем же возбуждающим электролитом.

1884. С другой стороны, какое прекрасное доказательство дает результат для подтверждения химической теории! Олово может отнять серу от электролита, чтобы образовать суль-

фид; и пока оно это делает и пропорционально степени, в которой это делается, оно производит ток; но когда образующийся сульфид, покрывая металл, отделяет от него жидкость и препятствует дальнейшему химическому действию, ток тоже прекращается. Для этого нет даже *необходимости*, чтобы это был непроводник, потому что проводящие сульфиды будут выполнять ту же службу (1885, 1894) и приведут к такому же результату. Что же может быть яснее: ток производится, *пока образуется* сульфид, а после того как он образовался, его простой контакт уже ничего не может сделать для возбуждения подобного явления.

1885. Свинец. Этот металл дает превосходный результат в растворе сернистого калия. Когда в качестве металлов я взял свинец и платину, то свинец сперва оказался весьма положительным, но через несколько секунд ток упал, а через две минуты стрелка гальванометра возвратилась к 0°. Однако цепь чрезвычайно хорошо проводила слабый термоток, т. е. проводящая способность не исчезала, как это было в случае олова, потому что оболочка сернистого свинца является проводником (1820). Тем не менее, даже будучи проводником, он мог остановить дальнейшее химическое действие; а при прекращении последнего прекратился и ток.

1886. Свинец и золото производили такое же действие. Свинец и палладий — тоже. Свинец и железо — тоже, за тем исключением, что здесь приходится учитывать одно обстоятельство, против которого приходится принимать меры. Дело в том, что этот металл при обычных условиях стремится производить ток по направлению от электролита к самому себе (1826, 2049). Свинец и никель — тоже. Во всех этих случаях свинец, если его вынуть и вымыть, оказывается покрытым тонкой глянцевитой пленкой сернистого свинца.

1887. Итак, в случае свинца мы имеем образование *проводящего* сульфида, однако и здесь нет никакого признака того, что его контакт может производить ток: совершенно так же, как в случае *непроводящего* сернистого олова (1882).



Нет ни нового, ни дополнительного действия, которое вызывалось бы этими *проводящими* веществами; не наблюдалось и отсутствия какого-либо действия, имевшегося при предыдущих *непроводящих* продуктах; они одинаковы по своим результатам, потому что фактически одинаковы по своему отношению к тому, от чего в действительности зависит ток, а именно — к активной химической силе. Если взять кусок свинца, *ни с чем не соединенного*, и погрузить его в раствор сернистого калия, то его поверхность превращается в сернистый свинец. Этим доказывается, что и тогда, когда не может возникать никакого тока, имеется налицо некоторая (химическая) сила; и такая сила может производить ток химической силы, когда схеме придана форма цепи. На месте возбуждения сила проявляется как в образовании сульфида свинца, так и в появлении тока. Пропорционально с уменьшением образования одного убывает образование и другого, хотя все образующиеся вещества суть проводники и хотя контакт может попрежнему выполнять ту или иную работу или вызывать то или иное действие, на которое он способен.

1888. Может быть, скажут, что ток происходит от контакта между раствором сульфида и свинцом (или оловом, если взять этот случай), который имеет место в начале опыта, и что когда действие прекращается, это происходит потому, что в цепь вводится новое вещество, сернистый свинец, и тогда различные контакты уравниваются по своей силе. Это было бы возвратом к ранне отвергнутому предположению (1861, 1865, 1872) о том, что раствор может быть поставлен в один разряд с металлами и подобными же телами, давая уравновешенные действия контакта при включении в цепь *некоторых* из этих тел (в данном случае — образовавшегося сернистого свинца), а при включении *других* — нет (например самого свинца), хотя свинец и его сульфид принадлежат к одной и той же категории, как и металлы вообще (1809, 1870).

1889. Полная невероятность такого явления природы и отсутствие всяких экспериментальных доказательств в его подтверждение были уже указаны (1861, 1871), но против него возникают еще одно или два дополнительных возражения. Положение вещей можно разъяснить при помощи одной или двух диаграмм, в которых будут изображены контактные силы, без ущерба для рассуждения — гипотетически, за отсутствием какого-либо экспериментального выражения.

Пусть на рис. 154 представлены электродвижущие силы цепи из платины, железа и раствора сернистого калия или

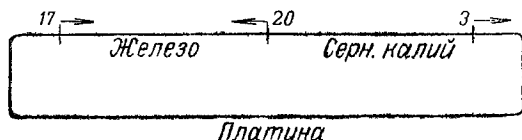


Рис. 154.

платины, никеля и раствора сульфида калия; это — случаи, в которых по теории контакта силы уравновешены (1860). Тогда рис. 155 может представить цепь из платины, свинца и раствора сульфида, которая производит ток, и, как я принял, — с результирующей силой  $11 \rightarrow$ . Через несколько минут цепь приходит в состояние покоя, т. е. ток прекращается; рис. 156 может представить это новое положение согласно с теорией контакта. Возможно ли, однако, чтобы при внедрении сульфида свинца на контакте  $c$  (рис. 155) и образовании двух контактов  $d$  и  $e$  (рис. 156) могла произойти такая огромная перемена в силе контакта, претерпевающей изменение от 10 до 21? Внедрение того же сульфида у  $a$  или у  $b$  (1834, 1840) не способно произвести что-либо в таком роде, потому что сумма сил двух новых контактов в этом случае точно равна силе контакта, который они собой заменяют, как это доказывается тем, что подобное включение не дает изменений в действиях цепи (1867, 1840). Если, следовательно,

введение этого тела между *свинцом* и платиной у *a* или между раствором *сернистого калия* и платиной у *b* (рис. 155) не вызывает перемены, включая оба контакта со свинцом и с раствором сульфида, возможно ли вообще, что его вклю-

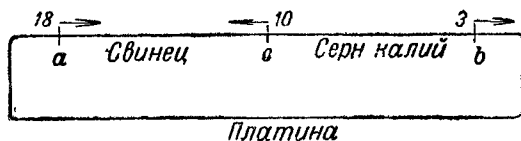


Рис. 155.

чение между этими двумя телами у *c* произведет разность, равную двойному значению от первоначальной силы, или вообще какую-либо разность?

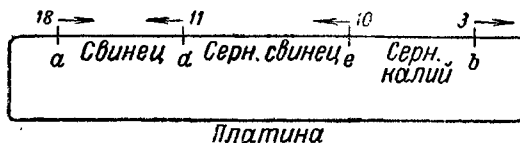


Рис. 156.

1890. Толковать такое изменение суммы как итог сил, которыми сульфид обладает благодаря двум имеющимся у него контактам, я думаю, равноценно тому, чтобы сказать, что он также обладает аномальными свойствами, которые уже были гипотетически приписаны некоторым жидкостям, а именно, что он иногда дает в цепях из хороших проводников уравновешенные силы, а иногда нет (1865).

1891. Даже самые металлы фактически приходится подчинять этому стеснительному условию насильно, потому что действие в точке контакта, если оно вообще есть, должно быть общим результатом *соединенного* и *взаимного* действия тел, находящихся в контакте. Если поэтому в цепи (рис. 155) силы контакта не уравновешиваются, то это должно быть

из-за недостаточности *соединенного* действия свинца и раствора у с.<sup>1</sup> Если бы металл и жидкость действовали со свойствами им особенностями или так, как действовали бы железо или никель на месте свинца, то тогда сила там была бы  $\leftarrow 21$ , тогда как она оказывается меньше или, согласно с принятыми нами числами, только  $\leftarrow 10$ . Но ведь нет причины, почему свинец должен был бы иметь приписываемое ему перед раствором преимущество, поскольку этот последний при подходящих условиях может давать уравновешенное состояние в цепи из хороших проводников так же, как и первый; как же это может быть, если только свинец тоже не обладает этим странным свойством давать иногда уравновешенные контакты, а иногда нет (1865)?

1892. Если это справедливо для свинца, то это должно быть справедливо для всех других металлов, которые с этим сернистым электролитом дают цепи, производящие токи; и сюда придется включить висмут, медь, сурьму, серебро, кадмий, цинк, олово и т. д., и т. д. С другими электролитическими жидкостями будут включены железо и никель и даже золото, платина, палладий — фактически все те вещества, которые могут быть каким-либо путем приспособлены к устройству активных гальванических цепей. Возможно ли, что это справедливо, если в то же время оказывается, что ни одна комбинация этого широкого разряда веществ не в состоянии дать ток без химического действия (1867), рассматриваемого не как результат, но как известная и существующая ранее тока сила?

1893. Я постараюсь избегать приведения дальнейших доказательств, но считаю себя обязанным привести (1799) небольшую долю из огромной массы фактов, показания которых, как мне кажется, все клонятся к одному.

---

<sup>1</sup> Мои числа предположительны, и если бы были взяты другие числа, то рассуждение, может быть, пришлось бы перенести к контакту *b* или даже к контакту *a*, но вывод из доказательства будет в каждом случае тот же.

1894. Висмут. Этот металл в соединении с платиной, золотом или палладием в растворе сернистого калия дает активные цепи, в которых висмут положителен. В течение менее получаса ток прекращается, но цепь попрежнему остается превосходным проводником термоэлектрических токов. Висмут с железом или никелем производит одинаковый окончательный результат, со сделанной ранее оговоркой (1826). Висмут и свинец дают активную цепь; сперва висмут положителен, а через одну или две минуты ток прекращается, но цепь все же хорошо проводит термоэлектрический ток.

1895. Таким образом, пока происходит образование сернистого висмута, производится и ток. Когда химическое действие прекращается, прекращается и ток, хотя контакт сохраняется, и сульфид является хорошим проводником. В случае висмута и свинца химическое действие происходит на обоих концах, но наиболее энергично на висмуте, что соответственно определяет ток. И в этом примере прекращения химического действия вызывает прекращение тока.

1896. В этих опытах со *свинцом* и *висмутом* я брал их в паре с платиной, золотом, палладием, железом и никелем; потому что я полагаю прежде всего, что результаты доказывают зависимость всякого тока от химического действия, и что тогда состояние покоя результирующих или конечных цепей показывает, что контакты этих металлов, взятых попарно, *не обладают силой* (1829); а из этого следует пассивное состояние всех тех контактов, которые могут быть образованы путем включения между ними других проводящих веществ (1833): доказательство, не нуждающееся в дальнейшей аргументации.

1897. Медь. Это вещество в сочетании с платиной, золотом, железом или каким-либо иным химическим неактивным металлом в растворе сульфида дает активную цепь, в которой медь положительна через электролит по отношению к другому металлу. Действие хотя и падает, но не доходит до нуля, как в предыдущих случаях, по следующей

простой причине: образующийся сульфид не бывает сплошным; он порист и не пристаёт к меди, а отделяется от нее чешуйками. Вследствие этого химическое действие между металлом и электролитом постоянно возобновляется, и ток не прерывается. Если через некоторое время медную пластинку вынуть, вымыть и высушить, то даже при протирании часть сульфида отскакивает в виде чешуек, а ноготь с легкостью снимает остальное. Если медную пластину оставить в избытке раствора сульфида, химическое действие будет *продолжаться*, а налет сернистой меди становится все толще и толще.

1898. Если, как показал Марианини,<sup>1</sup> медную пластину, которая была опущена в раствор сульфида, удалить, прежде чем образующийся налет будет настолько толст, что будет отскакивать от находящегося под ним металла, затем вымыть, высушить и положить на прежнее место и соединить ее в пару с платиной или железом, она в растворе будет сперва нейтральна или, как часто случается, отрицательна (1827, 1838) по отношению к другому металлу: результат, вполне противоречащий идее о том, что простое присутствие на ней сульфида могло раньше быть причиной появления сильного тока и положительного состояния меди (1897, 1878). Дальнейшее доказательство того, что ток вызывается не просто *присутствием*, а *образованием* сульфида, следует из того, что если пластинку оставить достаточно долго в растворе, для того чтобы он мог проникнуть через покрывающую ее корку сернистой меди и подействовать на металл под ней, то пластинка становится снова активной и производит ток.

1899. Я изготовил некоторое количество сернистой меди, раскаляя толстую медную проволоку во флорентийской колбе или в тигле при избытке паров серы. Полученное вещество чрезвычайно удобно для таких опытов; оно оказалось хорошим проводником. Но оно несколько взаимодей-

---

<sup>1</sup> Memorie della Società Italiana in Modena, 1827, XXI, стр. 224.

ствуует с раствором сульфида, извлекая из него еще серу; вследствие этого оно оказывается положительным по отношению к платине или к железу в таком растворе. Если такой сульфид меди надолго оставить в растворе, а затем вымыть его и высушить, то он обычно приобретает либо частью, либо полностью конечное состояние сульфидирования и становится неактивным так же, как был неактивен сульфид, образовавшийся на меди (1898); таким образом, когда его химическое действие истощается, он перестает производить ток.

1900. Природная серая сернистая медь ведет себя по отношению к электролиту таким же образом: она отбирает от него серу и превращается в высшее соединение, а так как последнее тоже является проводником (1820), то она производит ток; она оказывается положительной до тех пор, пока продолжается ее действие.

1901. Но когда медь *полностью сульфидирована*, все эти действия прекращаются несмотря на то, что сульфид является проводником, контакты сохраняются и цепь с легкостью может пропускать слабый термоток. Это доказывается не только вышеупомянутыми случаями остановки тока (1898), но также и полной неактивностью платины и *плотного желтого медного пирита*, если соединить их через данный электролит, как было показано в предыдущей части настоящей статьи (1840).

1902. Сурьма. Этот металл, помещенный отдельно в раствор сернистого калия, подвергается его действию и образует сернистую сурьму, которая пристает к металлу не крепко и легко сходит с него. Соответственно, если взять цепь из сурьмы, платины и раствора, сурьма становится положительной в электролите, и образуется сильный ток, который не прекращается. Таким образом, здесь имеется другой прекрасный вариант условия, при котором химическая теория может так легко объяснить действие, в то время как теория контакта этого сделать не может. Образующийся

в этом случае сульфид является не проводником, пока он находится в твердом состоянии (402); поэтому невозможно, чтобы какой-либо контакт этого сульфида производил ток; в этом отношении он подобен сернистому олову (1882). Но это обстоятельство не останавливает возбуждения химического тока, потому что, поскольку электролит имеет доступ к металлу, и действие идет попрежнему.

1903. Серебро. Этот металл, в паре с платиной, железом или другими металлами, не активными в этом электролите, сильно положителен и дает мощный продолжающийся ток. Соответственно, если рассмотреть серебряную пластинку, покрытую сульфидом в результате простого воздействия раствора, мы найдем, что корка на ней хрупкая, с трещинами и почти самопроизвольно отделяется от металла. В этом отношении, следовательно, серебро и медь одинаковы: поэтому действие не прерывается ни в том, ни в другом случае; но указанные металлы отличаются друг от друга тем, что сульфид серебра не является проводником (434) для этих слабых токов и в данном отношении аналогичен сурьме (1902).

1904. Кадмий. Кадмий с платиной, золотом, железом и т. д. дает сильный ток в растворе сульфида; кадмий положителен. Иногда этот ток продолжался в течение двух, трех часов и более; и в этих случаях, если кадмий вынуть, вымыть и обтереть, то оказывается, что тряпкой его сульфид легко стирается, в виде чешуек.

1905. Иногда ток скоро прекращался, и тогда оказывалось, что цепь не проводила термотока (1813). В таких случаях при исследовании кадмия оказывалось, что пленка из сульфида держалась на нем крепко; это бывало особенно в тех случаях, когда перед опытом кадмий после очистки полировался стеклянной палочкой (1881). Отсюда ясно, что сульфид металла — непроводник и его контакт не мог бы вызывать тока (1883) таким способом, как это предполагает Марианини. Все результаты, полученные с ним, находятся



в полнейшем согласии с химической теорией и противоречат теории контакта.

1906. Цинк. Этот металл с платиной, золотом, железом и т. д. и раствором сульфида производит очень сильный ток и положителен через раствор по отношению к другому металлу. Ток не прекращался. Здесь происходит новое, превосходное изменение условий этого общего опыта. Сульфид цинка — непроводник электричества (1821), как и сульфиды олова, кадмия и сурьмы; но он растворим в сернистом калии; это свойство легко установить, если поместить каплю цинкового раствора в порцию электролитического раствора и сперва слегка помешать их, что вызовет обильное образование сернистого цинка; если затем все хорошо перемешать, то сернистый цинк весь растворится. Вследствие такой растворимости цинк, вынутый из раствора, совершенно свободен от налета сернистого цинка. В этом, по химической теории, — вполне достаточная причина для того, чтобы действие его продолжалось. Но как может теория контакта относить ток к какому-либо контакту металлического сульфида, если сульфид прежде всего — непроводник, а кроме того растворяется и уходит в раствор в момент своего образования?

1907. Таким образом, все явления с этим замечательным электролитом (1880), независимо от того, каковы тела, с которыми он связывается: активны (1879) или пассивны (1825 и сл.), подтверждают химическую теорию и опровергают контактную. С оловом и кадмием он дает непроницаемое непроводящее вещество; со свинцом и висмутом он дает непроницаемое проводящее вещество, с сурьмой и серебром он производит проницаемое непроводящее вещество; с медью — проницаемое и проводящее; а с цинком — растворимое непроводящее вещество. Химическое действие и его результирующий ток превосходно согласуются со всеми этими различиями. Но попробуйте их объяснить на основании теории контакта; насколько я вижу, это можно

сделать только путем нажима на теорию и еще большего ее запутывания, чем прежде (1861, 1865, 1872, 1874, 1889); необходимы специальные предположения для объяснения результатов, которые из-за этого превращаются в многочисленные особые случаи.

1908. Раствор протосульфида калия или бигидросульфида калия. В нескольких случаях я пользовался раствором такого рода в качестве электролита. Результаты вообще согласовались с теми, которые были даны выше, но я не считал необходимым продолжать их дальше. Раствор был изготовлен пропусканием сероводорода в течение двадцати четырех часов через крепкий раствор чистого едкого кали.

1909. Железо и платина с этим раствором образовали цепь, в которой железо сперва было отрицательным, затем постепенно становилось нейтральным и в конце концов приобретало положительное состояние. Раствор сперва действовал как желтый сульфид, восстанавливая покрывающую железо окись (2049), а затем, повидимому, действовал прямо на железо, растворяя образовавшийся сульфид. Никель с самого начала был положителен по отношению к платине и оставался таким, производя лишь слабый ток. Когда металлический контакт у  $x$  был заменен слабым химическим действием (рис. 152; 1831), проходил сильный ток. Медь была в сильной степени положительна по отношению к железу и никелю, а также к платине, золоту и другим металлам, на которые раствор не действовал. Серебро было положительно по отношению к железу, никелю и даже свинцу, а равно и к платине, золоту и т. д. Свинец положителен по отношению к платине; ток затем падал, но не прекращался. Висмут также сперва положителен, но вскоре ток почти совершенно прекращается, как в случае желтого сернистого калия (1894).

1910. Природный серый сульфид меди и искусственная сернистая медь (1899) были положительны по отношению

к платине и к неактивным металлам; но желтый медный колчедан, желтый железный колчедан и гален в этом растворе были не активны с этими металлами так же, как и прежде в растворе желтого или двусернистого калия. Этот раствор, как можно было ожидать по его составу, имеет более щелочной характер, чем желтый сернистый калий.

1911. Прежде чем закончить этот отчет о результатах с сернистыми растворами в качестве возбуждающего электролита, я хочу упомянуть об изменчивых и красивых явлениях, которые происходят, когда медь и серебро или два куска меди, или два куска серебра образуют цепь с желтым раствором. Если металлами будут служить медь и серебро, медь сперва будет положительна, а серебро останется непотускневшим; вскоре это действие прекращается, и серебро становится положительным: в тот же момент оно начинает соединяться с серой и покрывается сернистым серебром. Через несколько минут медь опять становится положительной, и действие будет переходить с одной стороны на другую несколько раз, а ток будет изменяться вместе с ним в зависимости от того, на которой стороне обстоятельства поочередно становятся для него более благоприятными.

1912. Но возможно ли думать, что первоначально появившийся ток в какой-либо мере вызывается *контактом* образовавшейся сернистой меди, если ее присутствие там становится под конец причиной ослабления этого первичного тока и дает возможность серебру, которое первоначально было слабей по своей возбуждающей силе и не покрывалось сульфидом, взять на некоторое время перевес и производить ток, способный пересилить ток у меди (1911)? Чем можно объяснить эти перемены, как не химическим действием? Оно же, как мне кажется, на данный момент для всех получаемых действий дает предельно простые объяснения, как бы ни были изменчивы формы действия и их обстановка.

*Королевский институт.*

*12 декабря 1839 г.*

---

---

# СЕМНАДЦАТАЯ СЕРИЯ

---

---

*Раздел 24. Об источнике мощности гальванического элемента (продолжение).* Глава IV. Действие температуры на возбуждающую химическую силу. Глава V. Действие разведения на возбуждающую химическую силу. Глава VI. Изменения порядка металлических элементов в гальванических цепях. Глава VII. Активные гальванические цепи и батареи без металлического контакта. Глава VIII. Соображения о достаточности химического действия. Глава IX. Термоэлектрическое доказательство. Глава X. Неправдоподобность предположения о контактной природе силы.

Поступило 30 января. Доложено 19 марта 1840 г.

## РАЗДЕЛ 24

### Об источнике мощности гальванического элемента (продолжение)

#### ГЛАВА IV

#### *Действие температуры на возбуждающую химическую силу*

1913. Если мы считаем, что химическая сила является источником электрического тока в гальванической цепи, то нам важно иметь возможность обычными химическими средствами вызывать изменение этой силы в определенных пределах, не внося никаких изменений в металлические да и другие контакты нашей цепи. Такие изменения должны производить соответствующие гальванические действия, и мне представлялось вполне вероятным, что уже одних этих изменений будет достаточно, чтобы с их помощью производить токи без всяких металлических контактов.

1914. Де ля Рив показал, что усиление действия пар металлов, помещенных не в холодную, а в горячую жидкость, в значительной степени происходит от повышения химического средства к тому металлу, на который жидкость действует.<sup>1</sup> Моей целью было подкрепить это доказательство таким образом: брать только один металл и одну жидкость, так чтобы жидкость была одинакова на обоих контактах, и усилить химическую силу на одном из них посредством нагревания. Если такое различие производило ток в цепях, которые или не вырабатывали термотока сами, или же не могли проводить ток от сурьяно-висмутного элемента, то представлялось вероятным, что действие должно быть результатом чисто химической силы, без всякого участия контакта.

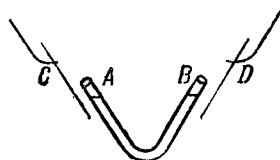


Рис. 157.

1915. Прибор, которым я пользовался, состоял из стеклянной трубки (рис. 157) около пяти дюймов длиной и четырех десятых дюйма внутреннего диаметра, открытой с обоих концов, изогнутой и установленной на штативе. В нее помещалась жидкость; при этом порцию, находящуюся в верхней части одного колена, можно было легко подогреть и поддерживать нагретой, в то время как другое колено оставалось холодным. В опытах я буду называть левую сторону *A*, а правую сторону *B* и постараюсь не делать изменений в этих обозначениях. *C* и *D* — металлические проволоки (1881), которые требуется сравнить. Они образуют цепь вместе с гальванометром, а часто также с сурьяно-висмутным термоэлементом Зеебека; оба они, конечно, не производили никакого возмущающего действия до тех пор, пока температура их различных соединений оставалась одинаковой. Проволоки были очень тщательно подготовлены (1881); когда для опыта нужны были две проволоки из одного и

<sup>1</sup> Annales de Chimie, 1828, XXXVII, стр. 242.

того же металла, я вырезал из одного мотка проволоки два расположенных рядом куска.

1916. Предосторожности, которые необходимы для получения правильного результата, весьма многочисленны, но по существу очень просты.

1917. Действие первого погружения. Почти невозможно иметь две проволоки из одного и того же металла, даже из платины, настолько точно одинаковыми, чтобы они не производили тока из-за своего различия; поэтому необходимо переставлять одну на место другой и повторять опыт несколько раз до тех пор, пока не получится несомненный результат, не зависящий от подобных возмущающих влияний.

1918. Действие пристающей жидкой или твердой пленки. Жидкость, которая получается от действия раствора на металл, оказывает, как это хорошо известно, чрезвычайно сильное влияние на образование тока. Так, когда я брал для опыта две проволоки из кадмия, то в приборе (рис. 157; 1915), содержащем разведенную серную кислоту, горячую на одном конце и холодную на другом, горячий кадмий был сперва положителен, производя отклонение около  $10^\circ$ , но через короткое время это действие исчезало и возникал ток в обратном направлении, достигавший  $10^\circ$  и более, а горячий кадмий становился теперь отрицательным. Это я приписываю более тому, что на разогретой металлической поверхности (1003, 1036, 1037) химические силы пленки кислоты быстро истощаются; отсюда вытекает наблюдающееся в конце превосходство холодной стороны, на которой действие, таким образом, неизбежно оказывалось сильнее (1953 и сл., 1966, 2015, 2031 и сл.). Марианини описал много случаев действия пристающих пленок растворов и показал, что при опытах с двумя кусками одного и того же металла (железа, олова, свинца, цинка и т. д.) тот из них, который был погружен раньше, становится отрицательным по отношению к другому; он высказал свое мне-

ние о причине этого.<sup>1</sup> Борьба с этим явлением состояла в том, чтобы не погружать металлы в кислоту до тех пор, пока не будет создана надлежащая температура на обоих концах, и затем наблюдать *первое действие*, считая его за правильное указание, и повторять опыт до тех пор, пока результат не станет несомненным.

1919. Влияние движения. Пристающая жидкая пленка (1918) заставляла остерегаться влияния смены покоя и движения металла в жидкости. Вот иллюстрация к этому действию: если две оловянных проволоки (1881) погрузить в разведенную азотную кислоту, то, вероятно, последует небольшое отклонение гальванометра, а затем стрелка остановится на 0°. Если затем один из проводов пошевелить, оставляя другой в покое, то провод, находящийся в движении, станет положительным. Подобным же образом олово и кадмий в разведенной серной кислоте давали сильный ток, причем кадмий был положителен, и стрелка отклонялась до 80°. Если их оставить в жидкости, сила тока постепенно падает до 35°. Если затем подвигать кадмий, произойдет совсем небольшое изменение; но если подвигать олово, то происходящее при этом изменение будет очень велико и произойдет не увеличение его силы, как раньше, а наоборот, потому что оно становится более отрицательным, и сила тока снова возрастает до 80°.<sup>2</sup> Предосторожность, которая

<sup>1</sup> Annales de Chimie, 1830, XLV, стр. 40.

<sup>2</sup> Олово в этом отношении имеет некоторые замечательные свойства. Если два куска олова последовательно погрузить в разведенную азотную кислоту, то в первый момент положительно опущенное позже, если оба находятся в жидкости и одно из них подвигать, то оно на время становится положительным по отношению к другому. Но если опыт производится с разведенной серной кислотой, то олово, опущенное позже, всегда отрицательно; если одно из них вынуть, вычистить и снова погрузить, то оно будет отрицательно; если оба они в жидкости и нейтральны и одно из них подвигать, то оно становится отрицательным по отношению к другому. Соляная кислота действует так же, как серная, но не так сильно. Это действие, возможно, зависит от того, что соединение олова, обра-

принималась во избежание помех от этого явления, состояла не только в том, чтобы наблюдать только первое действие при введении проволочек, но и в том, чтобы с момента их погружения двигать их не переставая.

1920. Вышеуказанное действие являлось еще одним основанием для нагревания кислот и т. д. (1918) перед погружением проволочек, потому что если в только что описанном опыте сторону кадмия нагреть до кипения, то вызываемое этим движение жидкости у олова даст действие, которое гораздо сильнее, чем получаемое от нагревания кадмия; потому что одно нагревание кадмия давало совсем мало или ничего, а колыхание кислоты у олова давало разницу в токе в 20 или 30°.

1921. Действие воздуха. Две платиновых проволочки были погружены в холодный крепкий раствор сернистого калия (1812) (рис. 157); гальванометр вскоре устанавливался на 0°. При нагревании и кипячении жидкости на стороне А (1915) платина на ней становилась отрицательной; охладив эту сторону путем приливания небольшого количества холодной воды из кувшина и нагрев сторону В, мы делаем теперь отрицательной платину на стороне В; и хотя действие не было постоянно, всегда получался тот же общий результат, как бы ни менялась температура сторон. Это происходило не от химического действия электролита на разогретую платину. Я также не думаю, что это был настоящий термоток (1933); если же это было так, то нагретая платина оказывалась *отрицательной* через электролит по отношению к холодной платине. Я же полагаю, что это было всецело действием воздуха на электролит, которое возрастает на нагретой стороне; а очевидно, что нагревание,

---

зующееся вначале в серной или соляной кислотах, стремится принять какое-то другое, более высокое состояние по отношению к кислороду, хлору или участвующей кислоте и, таким образом, прибавляет силу к той, которая определяет ток в первый момент, когда присутствуют только металлическое олово и кислота.



возбуждая потоки в жидкости, а также и в воздухе, облегчает их взаимодействие в этом месте; было уже показано, что если приподнять платиновую проволоку из этого раствора и выставить ее на минуту на воздух (1827), то она становится отрицательной при обратном погружении: действие, которое в настоящем случае превосходно согласуется с предполагаемым здесь действием подогревания воздуха и жидкости. Влияние этого действия устраняется осторожным повышением температуры электролита перед погружением проводов (1918) и наблюдением только начального отклонения.

1922. Действие нагревания. В некоторых случаях, когда опыт делается с двумя различными металлами, наблюдается замечательное явление при нагревании отрицательного металла. Оно потребовало бы слишком много места для подробного и полного описания; я кратко укажу, в чем здесь дело, и иллюстрирую явление одним или двумя примерами.

1923. Когда два платиновых провода сравнивались в горячей и холодной разведенной серной кислоте (1935), они давали едва ощутимые следы электрического тока. Если нагревание производило какое-либо реальное действие, то это было из-за того, что горячий металл оказывался в меньшей степени положительным. Когда сравнивалось серебро с серебром (горячее с холодным), также не было ощутимого действия. Но когда сравнивались в одной и той же кислоте платина и серебро, действия получались другие. Если оба были холодными, то серебро на стороне *A* (рис. 157; 1915) оказывалось положительно — около  $4^\circ$  по гальванометру; движения платинового провода на другом конце *B* этого не меняли; но от нагревания там кислоты и платины ток сильно возрастал, отклоняя стрелку до  $30^\circ$ , и серебро было положительным. Пока продолжалось нагревание, продолжалось и действие, но при охлаждении кислоты и платины ток спадал до первоначальной величины. На серебре подоб-

ного действия не наблюдалось, потому что при нагревании этого конца серебро, вместо того чтобы становиться отрицательным, делалось более положительным, однако только до такой степени, что стрелка отклонялась на  $16^\circ$ . В этом случае *движение* платины (1919) облегчало прохождение тока и отклонение возрастало; однако *нагревание* стороны платины действовало гораздо сильнее.

1924. Серебро и медь в разведенной серной кислоте производили очень небольшое действие; медь была положительна (около  $1^\circ$  по гальванометру); движение меди или серебра никак не влияло, нагревание стороны меди не вызывало перемены; но нагревание стороны серебра делало его отрицательным до  $20^\circ$ . При охлаждении стороны серебра действие спадало, и тогда движение серебра или меди, а также и нагревание стороны меди, опять вызывало лишь очень небольшие изменения; но нагревание стороны серебра делало его опять отрицательным, как прежде.

1925. Все это сводится к действию следующего рода: когда два металла находятся в положительном и отрицательном отношении друг к другу в таком электролите, как разведенные кислоты (а возможно, и в других), нагревание отрицательного металла у его контакта с электролитом дает возможность тому току, который стремится образоваться, проходить с большей легкостью и давать результат, часто в десять раз превосходящий тот, который получился бы без нагревания. Но это не перемещение приставшей к металлу жидкости, потому что движение в этих случаях никак не влияет; это и не химическое действие, потому что действие наблюдается на том электроде, на котором химического действия не происходит; это и не термоэлектрическое явление обычного рода, потому что оно зависит от гальванического соотношения, а именно металл, показывающий это явление, должен быть отрицательным по отношению к другому металлу в данном электролите; так, нагретое серебро ничего не делает с холодным серебром, хотя оно

оказывает большое влияние при меди — как горячей, так и холодной (1924); и горячая платина никак не действует при холодной платине, но проявляется очень сильно при серебре — как горячем, так и холодном.

1926. Каково бы ни было существо действия нагревания в этих случаях, нет сомнения, что оно зависит от тока, который стремится пройти через цепь. Важно помнить, что рост действия на гальванометре является результатом не повышения электродвижущей силы, а исключительно только удаления препятствия току, возможно, путем возрастания разряда. Г-н де ля Рив описывал влияние нагревания на прохождение электрического тока через разведенную кислоту, помещенную в цепь при платиновых электродах. Нагревание, произведенное на отрицательном электроде, увеличивало отклонение стрелки гальванометра в цепи с 12 до 30 или 45°; в то же время нагревание на положительном электроде не вызывало никакого изменения.<sup>1</sup> Я не мог добиться этого нулевого эффекта на положительном электроде, когда делал опыты с гальванической батареей (1639). Но я не сомневаюсь в том, что описываемые здесь явления окажутся по существу такими же, как и те, которые описал этот ученый.

1927. Это действие часто является помехой в последующих опытах, в которых сравниваются друг с другом *два* металла, горячий и холодный, и главным образом тогда, когда отрицательный металл приближается по своей неактивности к платине или к родию. Так, когда сравнивается холодная медь с горячим серебром, золотом и платиной в разведенной азотной кислоте, то из-за этого явления медь начинает казаться более положительной, чем это было бы без него.

1928. Положение концов проводов. Необходимо, чтобы *конец* проволоки на горячей стороне находился

<sup>1</sup> Bibliothèque Universelle, 1837, VII, стр. 388.

*внутри* нагретой жидкости. Две медные проволоки были опущены в разведенный раствор сернистого калия (рис. 158); жидкость на пространстве от *C* до *D* была нагрета, но часть между *D* и *E* оставалась холодной. Пока концы обеих проволок оставались в холодной жидкости (как изображено на рисунке), происходили неправильные движения гальванометра, малые по величине, оставлявшие провод *B* положительным. Если шевелить проволоки, но сохранить их положение таким, как на рисунке, не получается никаких изменений; но если поднять проволоку у *A* так, чтобы ее конец попал в горячую жидкость между *C* и *D*, она становится и затем остается положительной. При опускании конца в холодную часть восстанавливается прежнее состояние; при поднятии ее в горячую часть она опять становится положительной. То же получается в случае двух серебряных проволок в разведенной азотной кислоте, и хотя кажется очень странным, что ток увеличивается по силе при увеличении протяжения плохого проводника, однако в таких условиях это часто получается. Нет основания сомневаться в том, что часть провода, находящаяся в горячей жидкости на стороне *A*, все время одинаково положительна или почти так, но в некоторый момент весь производимый ею ток проходит через всю цепь по проводу у *B*, а в другой момент он частью или целиком проходит только через жидкость в трубке *A* к холодному концу своей собственной проволоки.

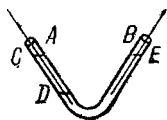


Рис. 158.

1929. О ч и с т к а п р о в о д о в. О том, что это следует производить тщательно, уже упоминалось (1881); но это особенно необходимо отнести к самым концам проводов, потому что если эти участки проводов, находящиеся в наиболее действенной части цепи, оставить покрытыми веществом, образовавшимся на них в предыдущем опыте, экспериментальный результат часто будет очень сильно изменен или даже совершенно извращен.

1930. Таким образом, лучшим способом действия при опыте (1915) будет вначале нагреть жидкость в коленях *A* и *B* (рис. 158), а затем, хорошо вычистив и соединив проволоки друг с другом, погрузить их обе одновременно, держа *конец* нагретого провода в горячей части жидкости; непрерывно пошевеливать оба провода и, что особенно важно, наблюдать явление в самом начале; затем вынуть провода, вычистить их снова, переставить один на место другого и повторить опыт; делать это столько раз, чтобы добиться из полученных нескольких результатов определенного и удовлетворительного заключения.

1931. Далее необходимо удостовериться, могут ли электролиты и металлы производить настоящий термоток, способный помешать тем электрохимическим действиям, которые вызываются нагреванием. Для этой цели испытывались различные комбинации электролитов с теми металлами, на которые они химически не действуют, со следующими результатами.

1932. Платина и очень *крепкий раствор кали* в результате многих опытов показали, что горячая платина положительна в электролите по отношению к холодной платине и производит ток, способный отклонять стрелку гальванометра примерно на  $5^\circ$ , если температуры у двух мест соединений были  $60$  и  $240^\circ$ : Золото с этим же раствором давало такой же результат. Горячее серебро в умеренно крепком растворе с удельным весом 1070 (последним я пользовался и в дальнейших опытах) (1948) становилось положительным, но в этом случае отклонение было едва ощутимо и не превышало  $1^\circ$ . Было испробовано в том же растворе и железо, причем получился постоянный ток с отклонением в  $50^\circ$  и более, но в этом случае происходило также химическое действие (1948).

1933. Я испытывал затем *раствор сернистого калия* (1812). Как уже говорилось, горячая платина в нем отрицательна по отношению к холодному металлу (1921); но я не

думаю, что действие было термоэлектрическим. Палладий с более слабым раствором не показывал тока.

1934. При употреблении разведенной азотной кислоты, состоявшей из одной части крепкой кислоты и пятидесяти частей воды, платина не дала определенного показания: горячий металл иногда был в очень слабой степени положительным, а иногда в той же слабой степени отрицательным. Золото в этой же кислоте давало едва ощутимый результат: горячий металл был отрицателен. Палладий действовал так же, как золото.

1935. С разведенной серной кислотой, состоявшей из одной весовой части купоросного масла и восьмидесяти частей воды, ни платина, ни золото при действии одного нагревания не производили тока, сколько-нибудь ощутимого для моего гальванометра.

1936. Если взять *соляную кислоту* и платину и нагреть, как раньше, то горячая платина становится очень слабо отрицательной в крепком растворе; в разбавленной кислоте заметного тока не получается.

1937. *Крепкая азотная кислота* давала по первому впечатлению вполне определенные результаты. При нагревании платины и чистой крепкой азотной кислоты у одного из контактов горячая платина постоянно становилась отрицательной через электролит по отношению к холодному металлу, и отклонение было около  $2^{\circ}$ . Когда была взята желтая кислота, отклонение получилось больше; когда же кислота была ярко-оранжевого цвета, стрелка гальванометра стояла на  $70^{\circ}$  и горячая платина продолжала быть отрицательной. Это действие является, однако, не чистым термо-током, но особым результатом, обязанным присутствию азотистой кислоты (1848). Он исчезает почти совершенно, когда для опыта берется разведенная кислота (1934); а то действие, которое при этом еще остается, указывает на то, что горячий металл отрицателен по отношению к холодному.

1938. Таким образом, раствор кали среди других жидкостей дает как будто наиболее надежные указания на термоток. Однако отклонение в этом случае не превосходит  $5^\circ$ , хотя жидкость, будучи очень крепкой, является хорошим проводником (1819). Когда жидкость была разведена и имели удельный вес 1070, как это было ранее (1932), отклонение достигало только  $1^\circ$ , и поэтому его нельзя смешать с теми результатами, которые мне предстоит излагать далее.

1939. Применение разведенных *серной* (1935) и *азотной* кислот (1934) дало лишь в отдельных случаях сомнительные указания на термоток. При испытании было найдено, что термоток от пары сурьма—висмут в этой и других подобных установках не мог проходить через эти растворы (1949, 1950) и что, следовательно, если небольшой ток, получаемый в опытах — термоэлектрического происхождения, то эта комбинация платины и кислоты гораздо сильнее, чем зеебековская пара из сурьмы и висмута; в то же время она (с промежуточной кислотой) едва ощущается этим чувствительным гальванометром. Далее, если имеется ток, то горячий металл обычно отрицателен по отношению к холодному, а поэтому эти результаты невозможно спутать с теми, которые будут описываться ниже и где ток имеет обратное направление.

1940. С другой стороны, в крепкой азотной кислоте горячий металл отрицателен.

1941. Итак, я показываю, что нагревание, производимое над металлом в кислотах или электролитах, которые *могут действовать на них*, дает начало значительным токам; если после этого скажут, что металлы, которые неактивны в кислотах, не производят термотоков, но те, которые, как медь, серебро и т. д., действуют химически, производят его, тогда я отвечу, что это — просто гипотеза и притом не согласная с тем, что мы знаем о термоэлектричестве; потому что я уверен, что среди твердых проводников — как металлических, так и неметаллических (1867) — нет таких, которые были бы способны с некоторыми из металлов производить

термотоки, а с другими нет. Далее, металлы эти — медь, серебро и т. д. — не всегда дают действия, которые могут сойти или быть ошибочно приняты за термоэлектрические, потому что серебро в горячей разведенной азотной кислоте едва отличается от серебра в той же холодной кислоте (1950); да и в других случаях горячие металлы становятся отрицательными, а не положительными (1953).

### Случаи одного металла и одного электролита при нагревании одного контакта

1942. Случаи, которые я должен привести, слишком многочисленны, чтобы их давать в подробностях; поэтому я опишу один или два из них и дам общий очерк остальных в возможно коротком виде.

1943. Железо в разбавленном сернистом калии. Горячее железо весьма положительно по отношению к холодному металлу. Отрицательный и холодный провод остается совершенно чистым, но от горячего железа отделяется темный сульфид, который, расходясь по раствору, изменяет его цвет. Если вынуть, вымыть и вытереть холодное железо, то ткань остается чистой; но то, которое было нагрето, при тех же действиях оставляет на ткани черный сульфид.

1944. Медь и сернистый раствор. Горячая медь весьма положительна по отношению к холодной сейчас же после погружения, но явление быстро падает по причинам, указанным выше (1918).

1945. Олово и раствор кали. Горячее олово сильно и постоянно положительно по отношению к холодному.

1946. Железо и разведенная серная кислота (1935). Горячее железо было постоянно положительно по отношению к холодному, до 60° и более. *Железо и разведенная азотная кислота* давали даже еще более поразительный результат.



Мне придется теперь ограничиваться перечислением — не потому, что случаи, о которых я буду упоминать, менее определены, нежели данные выше, но только для того, чтобы сэкономить время.

1947. Разведенный раствор желтого сернистого калия, состоящий из одной части крепкого раствора (1812) и восемнадцати частей воды. Железо, серебро и медь с этим раствором давали хорошие результаты. Горячий металл был положителен по отношению к холодному.

1948. Разведенный раствор едкого кали (1932). Железо, медь, олово, цинк и кадмий давали поразительные результаты в этом электролите. Горячий металл был всегда положителен по отношению к холодному. Свинец производил такое же действие, но в этом случае наблюдалось мгновенное вздрагивание гальванометра в момент погружения, как будто горячий свинец был в этот момент отрицателен. В случае железа необходимо было продолжать нагревание, и тогда можно было легко наблюдать образование на нем окиси. Щелочь постепенно становилась мутной, потому что образующийся вначале протоксид растворялся и, превращаясь постепенно в перекись, выпадал; при этом жидкость делалась непрозрачной и желтой.

1949. Разведенная серная кислота (1935). Железо, олово, свинец и цинк в этом электролите при нагревании становились способными производить ток; это происходило вследствие повышения химического сродства, потому что во всех случаях горячий конец был положителен.

1950. Разведенная азотная кислота замечательна тем, что при ней наблюдается только один случай, в котором горячий и холодный металлы оказываются поразительно различными; этот металл — железо. С серебром, медью и цинком горячий конец в первый момент был положителен по отношению к холодному, но только в самой малой степени.

1951. Крепкая азотная кислота. Горячее железо положительно по отношению к холодному. Одинаково и

в горячей и в холодной кислоте железо находится в своем особом состоянии (1844, 2001).

1952. Разведенная соляная кислота (1 часть крепкой соляной кислоты и 29 частей воды). Эта кислота замечательна тем, что с ней наблюдается множество случаев, в противоположность разведенной азотной кислоте, которая замечательна противоположным свойством (1950). Железо, медь, олово, свинец, цинк и кадмий давали с ней активные цепи; при этом горячий металл был положителен по отношению к холодному; все результаты были поразительны по силе и по постоянству производимого тока.

1953. Имеется несколько случаев, в которых горячий металл становится *отрицательным*, а не положительным, как выше; и на главную причину такого явления я уже обращал внимание (1918). Так, с раствором *сернистого калия и цинком* при самом погружении проволок в горячий и холодный раствор получалась задержка, т. е. стрелка гальванометра отклонялась не сразу, как в предыдущих случаях; в дальнейшем постепенно возникал ток, возраставший до тех пор, пока стрелка не отклонялась до 70 или 80°; горячий металл оказывался *отрицательным* через электролит по отношению к холодному. *Кадмий* в этом же растворе тоже давал сначала паузу, а затем ток, и горячий металл был отрицателен; но явление было очень слабо. Горячий свинец был отрицателен и производил при этом только слабый ток. Олово давало тот же результат; ток был едва ощутим.

1954. В разведенной серной кислоте. Медь и цинк вначале производили положительное действие у горячего металла, но затем изменяли его на противоположное и давали слабый ток, при котором горячий металл был отрицателен. Кадмий давал то же явление, но в более сильной степени (1918).

1955. В разведенной азотной кислоте. Свинец в первый момент не производил действия, но затем появлялся

постепенно усиливавшийся электрический ток, который мог отклонять стрелку до  $20^\circ$  и более; горячий металл был отрицателен. Кадмий давал такие же результаты, как свинец. Олово давало неопределенный результат: сперва горячий металл казался очень слабо отрицательным, затем он становился положительным, а потом ток снова уменьшался и почти совершенно пропадал.

1956. В этом влиянии нагревания я не могу не видеть сильнейшего доказательства того, что электрический ток в гальванических цепях зависит от химического действия веществ, составляющих эти цепи: результаты прекрасно согласуются с известным влиянием нагревания на химическое действие. С другой стороны, я не могу понять, как может их истолковать теория контакта; разве что она добавит новые гипотезы к тем, которые составляют ее содержание (1874). Как, например, может она объяснить сильные действия железа в сернистом калии или в кали, или в разведенной азотной кислоте; или олова в кали, или в серной кислоте; или железа, меди, олова и т. д. в соляной кислоте; или вообще любое из упомянутых явлений? Они не могут быть следствием термоконтакта—это было уже показано на результатах с неактивными металлами (1931, 1941); и к ним теперь из активных металлов могут быть добавлены серебро и медь в разведенной азотной кислоте, потому что нагревание производит в этих случаях едва осязаемое действие. Мне кажется, что для их объяснения остается только химическая сила; ее вполне достаточно, и других сил не требуется.

1957. Про теорию химического возбуждения могут сказать, что опыты дают ей либо слишком много, либо недостаточно доказательств и что на деле нагревание должно было бы производить одно и то же действие со *всеми* металлами, на которые действуют применявшиеся электролиты. Но тогда я скажу, что это ниоткуда не следует. Сила

и другие условия химического сродства почти бесконечно изменяются вместе с веществами, проявляющими его действие; такое же разнообразие необходимо должно наблюдаться при присоединении к химическому сродству действия нагревания. Химическое действие часто идет без возбуждения какого-либо тока; и хорошо известно, что почти в каждой гальванической цепи химическую силу должно разделять на местную и на текущую (1120). С этой точки зрения нагревание часто очень помогает местному действию, но иногда, как будто, не сопровождается каким-либо большим возрастанием *интенсивности* химического сродства; в то же время в других случаях, судя по химическим явлениям, мы уверены, что оно затрагивает интенсивность силы. Электрический ток, однако, определяется не количеством производимого действия, а интенсивностью действующего сродства; таким образом, легко получить случаи, когда тот металл, который оказывает меньшее количество действия, является тем не менее положительным металлом в гальванической цепи; такова медь в слабой азотной кислоте, если в той же цепи имеется другая медь в крепкой кислоте (1975); таковы же железо или серебро в этой же слабой кислоте по отношению к меди в крепкой кислоте (1996). Многие из таких примеров, в которых горячий конец, в конце концов, становится отрицательным, как цинк в разведенном растворе сернистого калия (1953) или кадмий и свинец в разведенной азотной кислоте (1955), относятся к этому роду, и, однако, условия и результат прекрасно согласуются с химической теорией гальванического возбуждения (1918).

1958. Итак, необходимо различать токи, основанные на этой разности напряжения, последняя же происходит от разности в силе химического действия, которое является возбуждающей его причиной; это является необходимым следствием химической теории, и в 1834 г. я высказал это мнение<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1834, стр. 428.

(891, 908, 916, 988). Де ля Рив в 1836 г. дал еще более точное выражение такого принципа;<sup>1</sup> он говорит, что напряжение токов точно пропорционально степени сродства, господствующего между частицами, которые своим соединением или разъединением производят токи.

1959. Я считаю, что происхождение силы в гальванической батарее, как это избыточно доказывают опытные данные, не связано с действием тепла (1924 и сл., 1878 и сл.). Я далее рассматриваю результаты с нагреванием как очень сильное добавочное доказательство справедливости химической теории; а многочисленные вопросы, возникающие в связи с разнообразием производимых действий и получаемых результатов, только показывают, насколько важна гальваническая цепь как средство для исследования происхождения и принципов химического сродства (1967). Эта истина была уже весьма ярко освещена исследованиями де ля Рива, произведенными посредством гальванометра, и исследованиями моего друга профессора Даниэля о действительной природе кислоты и других сложных электролитов.<sup>2</sup>

Случай двух металлов и одного электролита,  
когда один контакт нагревается

1960. Поскольку нагревание производило такие поразительные результаты в цепях с одним металлом, я признал вероятным, что оно способно в некоторых случаях воздействовать на взаимоотношения металлов и даже изменить их порядок; устраивая цепи с двумя металлами и электролитами, я нашел следующие случаи.

1961. В растворе *сернистого калия* горячее олово весьма положительно по отношению к холодному серебру, холодное же олово очень слабо положительно по отношению

<sup>1</sup> Annales de Chimie, 1836, LXI, стр. 44 и сл.

<sup>2</sup> Philosophical Transactions, 1839, стр. 97.

к горячему серебру, и серебро в этом случае быстро тускнеет.

1962. В растворе кали холодное олово довольно сильно положительно по отношению к горячему свинцу, но горячее олово гораздо более положительно по отношению к холодному свинцу. Холодный кадмий также положителен по отношению к горячему свинцу, но горячий кадмий гораздо более положителен по отношению к холодному свинцу. Таким образом, в этих случаях нагревание производит большие различия, но металлы все же сохраняют свой порядок.

1963. В *разведенной серной кислоте* горячее железо *сильно положительно* по отношению к холодному олову, но горячее олово *гораздо более положительно* по отношению к холодному железу. Горячее железо слегка положительно по отношению к холодному свинцу, а горячий свинец сильно положителен по отношению к холодному железу. Вот случаи фактического изменения порядка; таким же образом можно обратить положение олова и свинца.

1964. В *разведенной азотной кислоте* взаимное положение олова и железа, а также железа и свинца может обращаться, причем положительным по отношению к другому становится всегда горячий металл. Если в момент погружения железа в нагретый конец (1930) кислота нагрета только умеренно, то вначале кажется, будто олово почти пересиливает железо — так замечательно силы могут быть или уравновешены, или сделаны преобладающими на любом конце по желанию. Свинец положителен по отношению к олову в обоих случаях, но гораздо сильнее в горячем состоянии, чем в холодном.

1965. Эти результаты прекрасно показывают, что во многих случаях, когда взяты два разных металла, каждый по желанию может быть сделан положительным по отношению к другому путем воздействия на его химическое средство, хотя контакты этих металлов друг с другом (предполагаем, что они являются электродвижущей причиной) остаются

*совершенно неизменными.* Действие нагревания проявляется в обращении или усилении естественных различий металлов в зависимости от того, как оно взаимодействует с их естественными химическими силами: противодействует им или, наоборот, усиливает их. Этим к той массе доказательств, которые уже приведены, добавляются еще новые.

1966. Тут имеется, как и в случаях с одним металлом, несколько примеров, когда нагревание делает металл более отрицательным, чем он был бы в холодном состоянии. Они встречаются главным образом при растворе сернистого калия. Так, при опытах с цинком и кадмием или с цинком и оловом более холодный металл положителен. При опытах со свинцом и оловом горячее олово слабо положительно, холодное олово сильно положительно. Со свинцом и цинком горячий цинк слабо положителен, а холодный цинк — гораздо сильнее. С серебром и свинцом горячее серебро слегка положительно по отношению к свинцу, а холодное серебро сильнее: оно уже порядочно положительно. В этих случаях току предшествует момент покоя (1953), в течение которого химическое действие у горячего металла понижает действительность электролита по отношению к нему сильнее, чем когда металл холоден; и позже холодный проявляет свое преимущество.

1967. Перед тем как закончить эти наблюдения над действием нагревания, я, имея в виду возможную пользу гальванической цепи в исследованиях внутренней природы химического сродства (1959), опишу результат, который, если он подтвердится, может повести к очень важным исследованиям. Олово и свинец были спарены друг с другом и погружены в холодную разведенную серную кислоту; олово было слегка положительно. Эта же кислота была нагрета, а олово и свинец, превосходно вычищенные, были опущены снова; тогда свинец оказался немного положительнее олова,

так что различие в температуре, действующее не на один только контакт, потому что оба электролитические контакта были всегда при одинаковой температуре, вызывало различие во взаимоотношениях этих металлов. Олово и железо в разведенной серной кислоте дали как будто подобный же результат, т. е. в холодной кислоте олово было всегда положительно, а в горячей кислоте было иногда положительно железо. Явления были очень слабы, а я не имел времени входить в дальнейшие исследования.

1968. Я полагаю, всем понятно, что в каждом случае были приняты предосторожности: очень тщательная очистка проводов и их концов, одновременное погружение, наблюдение самых начальных действий и т. д.

#### ГЛАВА V

##### *Действие разведения на возбуждающую химическую силу*

1969. Другим способом воздействия на химическое средство составных частей гальванических цепей (металлов и кислот), также применимым к случаям таких цепей, является изменение относительного количества присутствующей воды. Как известно из простейших химических опытов, подобное изменение оказывает очень значительное влияние на результирующие действия, и по химической теории было естественно рассчитывать, что оно произведет также некоторое, соответствующее изменение в гальваническом элементе. Результаты, наблюдаемые Авогадро и Эрстедом в 1823 г., согласуются с такими ожиданиями; потому что они нашли, что, когда одна и та же пара металлов погружалась последовательно в крепкую и разведенную кислоту, в некоторых случаях имело место изменение тока на противоположный.<sup>1</sup> В 1828 г. де ля Рив продвинул исследование этих и подобных случаев гораздо дальше и в особенности в гальваниче-

<sup>1</sup> Annales de Chimie, 1823, XXII, стр. 361.



ских парах из меди и железа со свинцом.<sup>1</sup> В 1827 г. Беккерель<sup>2</sup> производил опыты с одним металлом, медью, погруженной двумя своими концами в раствор одного и того же вещества (соли) различной крепости, а в 1828 г. де ля Рив<sup>3</sup> проделал много подобных опытов с одним металлом и жидкостью в различных состояниях разведения; эти опыты я считаю очень важными.

1970. Доказательства, которые можно получить из явлений такого рода, показались мне настолько сильными, что я изучил некоторое количество таких фактов и считаю, что общие результаты достойны того, чтобы их изложить. Разведение чаще всего повышает существующее действие, но как подобное обстоятельство может увеличить электродвижущую силу *чистого контакта*, мне не было ясно, если не *принять*, как и раньше (1874), существования в точках контакта в различных случаях точно таких же влияний, каких требовали прежние, подтвержденные опытом результаты.

1971. Я воспользовался описанным ранее (1915) прибором в виде изогнутой трубки (рис. 157). Предосторожности, указанные ранее для проволок, трубок и т. д., были здесь также необходимы. Но потребовались еще и другие вследствие того, что ток здесь производился соединением воды с кислотой; это явление было давно описано Беккерелем,<sup>4</sup> но влияние его в настоящих исследованиях требует пояснений.

1972. Рис. 159 и 160 представляют те два расположения жидкостей, которыми я пользовался; в части трубки ниже *m* находится крепкая кислота, а выше — разбавленная. Если это была азотная кислота, а платиновые проволоки имели такой вид, как на рисунках, то приподнимание конца проволоки *D* выше *m* или опускание ее из этого положения

<sup>1</sup> Annales de Chimie, 1828, XXXVII, стр. 234.

<sup>2</sup> Там же, 1827, XXXV, стр. 120.

<sup>3</sup> Там же, 1828, XXXVII, стр. 240—241.

<sup>4</sup> Traité de l'Electricité, II, стр. 81.

вниз вызывало сильные изменения [положения стрелки] гальванометра; но если их держали в покое в одном из этих положений, тогда электроток прекращался или почти что так. Всякий раз, когда ток наблюдался, он шел через жидкость от слабой кислоты к крепкой.

1973. Когда трубка была наполнена, как показано на рис. 159, водой или разведенной кислотой только на одном конце, а проволоки были погружены не более как на одну треть дюйма, явления значительно ослаблялись; и особенно, если небольшими движениями платиновой проволоки кислоты у *m* смешивались так, чтобы переход от слабой к креп-

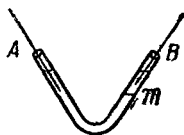


Рис. 159.

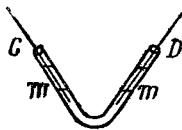


Рис. 160.

кой был постепенным, а не резким. В таких случаях, даже когда я двигал проволоки в кислоте горизонтально, действие было так мало, что едва ощущалось и его трудно было спутать с теми химическими действиями, которые будут описываться в дальнейшем. Для того чтобы вернее избежать подобных помех, я брал вместо воды умеренно разведенную кислоту. Из предосторожности трубки опорожнялись, мылись и наполнялись свежей кислотой после каждого опыта, чтобы металл, немного растворившийся в одном опыте, не мешал результатам последующего.

1974. Я иногда пользовался трубкой с разведенной кислотой только на одном конце (рис. 159), а иногда — с разведенной кислотой на обоих концах (рис. 160). Я буду называть первую № 1, а вторую № 2.

1975. В качестве иллюстрации общих результатов я опишу один частный пример. При употреблении трубки № 1 с креп-

кой и разведенной азотной кислотой<sup>1</sup> и двух медных проволок, оказывалось, что проволока в разведенной кислоте была сильно положительна по отношению к проволоке в крепкой кислоте; так было в первый момент и оставалось в дальнейшем. Когда я пользовался трубкой № 2, стрелку гальванометра можно было устойчиво держать и в том и в другом направлении; для этого достаточно было быстро поднимать одну из проволок и опускать другую так, чтобы первая была в слабой, а вторая в крепкой кислоте; первая всегда оказывалась положительной.

1976. При повторении опытов с заменой меди платиной, золотом и даже палладием получался едва ощутимый эффект (1973).

1977. Крепкая и разведенная азотная кислота.<sup>1</sup> Следующие металлы при сравнении в этих кислотах каждого с ним же самим давали весьма сильные результаты того же рода, как только что описанные с медью (1975): серебро, железо, свинец, олово, кадмий, цинк; металл в слабой кислоте был положителен по отношению к металлу в крепкой. Серебро очень изменчиво, и через некоторое время ток часто внезапно меняет направление, а металл в крепкой кислоте становится положительным; затем ток опять изменяется на противоположный, и металл в слабой кислоте возвращается к своему положительному состоянию. С оловом, кадмием и цинком сразу наступает сильное действие кислоты, которым все перемешивается. Железо и свинец показывают в трубке № 2 перемены состояния так же отчетливо, как медь (1975).

1978. Крепкая и разведенная серная кислота. Я приготовлял кислоту из сорока девяти весовых частей крепкого купоросного масла и девяти частей воды; я получал таким образом серную кислоту с двойным содержанием

---

<sup>1</sup> Разведенная кислота состояла из трех объемов крепкой азотной кислоты и двух объемов воды.

воды. Я собрал трубку № 1 (1974) с этой и с самой крепкой кислотой. Но так как при этом разведении с железом получался очень небольшой эффект по сравнению с тем, что давало более сильное разведение, я остановился на таком образе действия: я наливал в трубку крепкую кислоту, а затем добавлял с одной стороны сверху немного воды и ради предосторожности перемешивал и охлаждал ее до опыта (1973).

1979. При опытах с *железом* часть металла, находившаяся в слабой кислоте, была сильно положительна по отношению к металлу в крепкой кислоте. Медь давала тот же результат, если иметь в виду направление тока, но размер явления был невелик. С серебром, кадмием и цинком разность была либо очень мала, либо неустойчива, либо ее вообще не было; так что по сравнению с предшествующими случаями электродвижущее действие крепкой и слабой кислот казалось уравновешенным. При свинце и олове часть металла в *крепкой* кислоте была *положительна* по отношению к находившейся в слабой, так что они обнаруживают действие, противоположное производимому железом или медью.

1980. Крепкая и разведенная соляная кислота. Я делал опыты с самой крепкой чистой соляной кислотой в трубке № 1 и добавлял сверху с одной стороны воду для разведенного конца (1973), перемешивая ее немного, как прежде. При опытах с серебром, медью, свинцом, оловом, кадмием и цинком металл в *более крепкой кислоте* был положителен, а ток в большинстве случаев силен. При опытах с железом конец в более крепкой кислоте был сперва положителен; но вскоре затем положительной становилась сторона слабой кислоты; такой она и оставалась. С палладием, золотом и платиной действия были почти неощутимы.

1981. Крепкий или разведенный раствор едкого кали. В опытах с железом, медью, свинцом, оловом, кадмием и цинком металл в крепком растворе был положителен: в случае железа — слегка, в случае меди — сильнее.

отклоняя стрелку от 30 до 38°, а в случаях с другими металлами — очень сильно. Серебро, палладий, золото и платина давали лишь слабые следы действия (1973).

Таким образом, едкое кали и соляная кислота в некоторых отношениях противоположны азотной и серной кислотам.

Однако в отношении соляной кислоты, а вероятно и едкого кали, можно допустить, что даже в своих крепчайших состояниях они не вполне сравнимы с очень крепкой азотной и серной кислотами, — скорее с этими кислотами в несколько разбавленном состоянии (1985).

---

1982. Про все эти многочисленные изменения с крепкой и разведенной кислотами могут сказать, что они происходят вследствие соответствующих изменений контактной силы; но это значило бы переделывать теорию для каждого явления и для каждой химической силы (1874, 1956, 1985, 2006, 2014, 2033); или могут еще сказать, что различие действий вызывается различием контактной силы раствора у металлической поверхности, но это значит поставить явление раньше причины по порядку *времени*. Если признать за собой свободу перемещения действительной точки с металлами на жидкость или вообще с одного места на другое, то во всяком случае уже пора дать некоторые определения и численные значения касательно точек, где сосредоточено действие (1808). Из-за этих неопределенностей и непостоянства в настоящее время трудно оровергать теорию контакта какими-нибудь доказательствами, полученными из опыта; и она особенно резко отличается от химической теории с ее определенными высказываниями относительно места действия.

1983. Все разнообразие явлений, которое было изложено выше, соответствует чрезвычайному разнообразию, которым при различных обстоятельствах обладает химическое действие; но, как мне кажется, оно совершенно несовместимо с той простотой, которая должна была бы отличать действие одного лишь контакта. Но явления до..ускают даже:

большее разнообразие, что делает доводы в пользу одного взгляда и против другого еще более убедительными.

1984. Сторонники контакта могут сказать, что только очень крепкие кислоты могут сделать погруженный в них участок металла отрицательным, а поэтому в соляной кислоте и в кали действия не наблюдается (1980, 1981), хотя оно происходит в азотной и серной кислотах (1977, 1978); следующие данные могут служить ответом на такое предположение: железо в *разведенной азотной кислоте*, состоящей из одной части крепкой кислоты и двадцати частей воды, положительно по отношению к железу в крепкой кислоте, или к нему же в смеси из одной части крепкой кислоты и одной части воды, а также с тремя или даже с пятью частями воды. Также и серебро в слабейшей из этих кислот положительно по отношению к серебру в каждой из четырех других.

1985. Или следует изменить положения, основываясь на этих результатах, и предположить, что разведение кислоты на одном из контактов *всегда* стремится придать ей некоторую *пропорциональную* электродвижущую силу, а следовательно, дальнейшее разведение одной стороны по сравнению с другой будет опять иметь свойство возбуждать эту силу; но тогда как же это получается, что с соляной кислотой и с кали влияние разведения противоположно тому, которое указывалось в случае азотной кислоты и железа или серебра (1977, 1994)? Или же, чтобы избежать *трудности*, мы предположим, что каждый электролит надо рассматривать особо: отдельно азотную кислоту и отдельно соляную кислоту, потому что эта последняя может якобы отличаться от первой *направлением* изменения, вызываемого разбавлением; но тогда как можно будет объяснить следующие результаты с одной кислотой?

1986. Я приготовил четыре раствора азотной кислоты:

A — очень крепкая чистая азотная кислота;

B состоял из одной части A и одной части воды;

С состоял из одной части А и трех частей воды;

D состоял из одной части А и двадцати частей воды.

Производя опыты с этими кислотами и металлом, я обнаружил, что медь в кислоте С была положительна по отношению к меди в кислоте А или D. Это любопытное явление вызывалось не *первым* прибавлением воды к крепкой кислоте, потому что медь в кислоте В была положительна по отношению к меди в крепкой кислоте А, но отрицательна по отношению к меди в слабой кислоте D; следовательно, отрицательное действие более крепкой азотной кислоты с этим металлом не зависит от очень высокой концентрации.

1987. Свинец дает те же прекрасные явления. В кислоте он положителен по отношению к свинцу как в кислоте А, так и в кислоте D; в кислоте В он положителен по отношению к свинцу в более крепкой, но отрицателен по отношению к свинцу в более слабой кислоте.

1988. Я приготовил еще три раствора серной кислоты:

Е — крепкое купоросное масло;

F — одна часть Е и две части воды;

G — одна часть Е и двадцать частей воды.

Свинец в F был сильно *отрицателен* по отношению к свинцу как в Е, так и в G; медь в F была также отрицательна по отношению к меди в Е и G, но в меньшей степени. Таким образом, имеется два случая, в которых металлы в кислоте определенной крепости *отрицательны* по отношению к тем же металлам в той же кислоте — как более крепкой, так и более слабой. В конце концов я пользовался платиновыми проволоками решительно во всех этих случаях с теми же кислотами; для того, чтобы проверить влияние соединения кислоты с водой (1973); но результат был тогда почти равен нулю; это показывает, что явления не могут быть объяснены таким образом.

1989. Чтобы сделать для теории контакта эту путаницу еще более сложной, мы укажем еще на другие случаи, в которых с одной и той же кислотой, крепкой и разведен-

ной, некоторые металлы оказываются положительными в крепкой кислоте, а другие — в слабой. Так, олово в крепчайшей серной кислоте Е (1988) было положительно по отношению к олову в умеренной или слабой кислотах F и G; а олово в умеренной кислоте F было положительно по отношению к этому же металлу в G. Железо, наоборот, находясь в крепкой кислоте Е, было отрицательно по отношению к более слабым кислотам F и G; железо в средней кислоте F было отрицательно по отношению к этому же металлу в G.

1990. Чтобы яснее понять, как тут быть теории контакта, я хочу иллюстрировать наш случай диаграммой. Пусть рис. 161 представляет цепь из металла и серной кислоты. Если А — железная или медная дуга, а ВС — крепкое купоросное масло, тогда определенного тока не будет, а если ВС будет слабой кислотой, тока не будет вовсе. Но пусть у В будет крепкая кислота, а у С — разбавленная; тогда через АВС пробежит электрический ток. Если на месте металла А будет серебро, то оно будет одинаково безразлично как к крепкой, так и к слабой кислоте, как это было найдено для железа по отношению к возбуждению тока; но оно, кроме того, безразлично и тогда, когда у В крепкая кислота, а у С — слабая. Но если разведение электролита в одном месте, например С, когда там присутствовали железо или медь, так сильно увеличило контактную электродвижущую силу, что вызвало ток, наблюдаемый на опыте, то оно, конечно, должно было бы произвести такое же действие с серебром

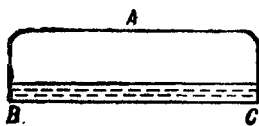


Рис. 161.

(если вносить в гипотезы контактной теории только такие ограничения, которые можно считать разумными); но никакого тока не было. Если на месте металла А будут свинец или олово, мы встретимся с еще большими трудностями, потому что хотя с одной крепкой или с одной слабой кис-



лотой какого-либо определенного тока не возникает, однако он появляется при разведении у *C*; но теперь надо предположить, что разведение *ослабляет*, а не *усиливает* контактную силу, потому что ток идет в противоположном направлении.

1991. Нельзя отнести эти последовательные изменения и на счет постепенно развивающегося действия разведения, зависящего от *порядка металлов*. В самом деле, предположим, что разведение благоприятствует электродвижущей силе контакта какой-нибудь кислоты с металлом в некотором *соответствии* с положением металла в определенном ряду, например в ряду гальванического действия в батарее; может показаться, что такое предположение объясняет постепенное уменьшение действия от железа к меди и от меди к серебру; но тогда нельзя было бы ожидать появления эффектов обращения или эффектов противоположного знака при возвращении к таким металлам, как свинец и олово (1979, 1989); их надо было бы искать скорее у платины или золота, которые, однако, не обнаруживают явлений такого рода (1976, 1988). Эта сложность усиливается еще следующими фактами: из того, что было установлено ранее, вытекает, что при переходе от одной *кислоты* к другим приходится вновь изменять вышеупомянутый порядок (1981); мало того, при одной и той же кислоте подобное же изменение порядка происходит при одном только изменении степени ее разведения (1986, 1988).

1992. Таким образом оказывается, как было замечено ранее (1982), что контактная теория электродвижущей силы при своем применении к фактам должна извиваться и изгибаться, точно следуя за изменением химического действия; и в конце концов теория ни для одного вида контакта, активного и неактивного, и ни в одном частном случае не может объяснить явлений без помощи активного проявления химической силы.

1993. Разведение и концентрация так сильно влияли на отношение различных частей одного и того же металла

к кислоте, что делали одну часть положительной или отрицательной по отношению к другой; поэтому я предположил, что одним изменением вводимого электролита возможно изменить порядок металлов, когда они помещены в кислоты или другие растворы однородной крепости. Поэтому я продолжал экспериментировать в этом направлении, соединяя через гальванометр два металла: олово и свинец (1915); я помещал электролитический раствор в трубке № 1: крепкий — с одного конца и слабый — с другого; я погружал проволоки одновременно, олово — в крепкий, а свинец — в слабый раствор; я наблюдал действие, а затем, очистив проволоки, менял жидкость и опять погружал проволоки, олово — в слабую, а свинец — в крепкую порцию. Де ля Рив уже установил,<sup>1</sup> что при пользовании один раз разбавленной, а в другой — крепкой серной кислотой происходит обращение; я не мог получить этого, если принимал предосторожности для устранения действия пристающего слоя жидкости (1918): но его общий вывод правилен, если делать его в применении к замене кислоты на другую, и я считаю, что это показание очень важно при суждении о великом вопросе: контакт или химическое действие?

1994. Два металла в крепком и слабом растворе кали. Цинк был положителен по отношению к олову, кадмию или свинцу как в слабом, так и в крепком растворе. Олово было положительно по отношению к кадмию и в слабой и в крепкой щелочи. Кадмий был положителен по отношению к свинцу в обоих случаях, но сильнее в крепкой щелочи. Таким образом, хотя имелись различия в силе, зависевшие от крепости раствора, не было обращения порядка металлов.

1995. Два металла в крепкой и слабой серной кислоте. Кадмий был положителен по отношению к железу и к олову в обоих случаях; олово было также поло-

<sup>1</sup> Annales de Chimie, 1828, XXXVII, стр. 240.

жительно по отношению к железу, меди и серебру; а железо было положительно по отношению к меди и серебру, в каком бы конце ни находились эти металлы. Таким образом, ни один из испытанных металлов нельзя было заставить обойти другие и принять порядок, отличный от того, который они имеют в кислоте одинаковой крепости. Однако получались большие различия в величине действия; так, железо в крепкой кислоте по отношению к серебру в слабой кислоте было только слабо положительно, но железо в слабой кислоте было сильно положительно по отношению к серебру в крепкой кислоте. Вообще металл, обычно называемый положительным, оказывался наиболее положительным в слабой кислоте; но в случаях со свинцом, оловом и цинком это было не так.

1996. Два металла в крепкой и слабой азотной кислоте. Здесь степень изменения, производимого различием крепости кислоты, была так велика, что причиняла не только различия в величине, но и перемены в порядке металлов — перемены самого поразительного свойства. Так, железо и серебро, находясь в трубке № 2 (1974), создавали в слабой кислоте металл, положительный по отношению к металлу в крепкой кислоте, независимо от того, какой металл находился в слабой. Нужно было только приподнять один и опустить другой, чтобы сделать тот или другой из них по желанию положительным (1975). Медь в слабой кислоте была положительна по отношению к серебру, свинцу и олову в крепкой кислоте. Железо в слабой кислоте было положительно по отношению к серебру, меди, свинцу, цинку и олову в крепкой кислоте. Железо в слабой кислоте было положительно по отношению к серебру, меди, свинцу, цинку и олову в крепкой кислоте. Свинец в слабой кислоте был положителен по отношению к меди, серебру, олову, кадмию, цинку и железу в крепкой кислоте. Серебро в слабой кислоте было положительно по отношению к железу, свинцу, меди и, хотя и слабо, но

и к олову в крепкой кислоте. Олово в слабой кислоте было положительно по отношению к меди, свинцу, железу, цинку и серебру и либо нейтрально, либо немного положительно по отношению к кадмию в крепкой кислоте. Кадмий в слабой кислоте очень положителен, как и можно было предполагать, по отношению к серебру, меди, свинцу, железу и олову и умеренно положителен по отношению к цинку в крепкой кислоте. Если кадмий находится в крепкой кислоте, он слегка положителен по отношению к серебру, меди и железу, находящимся в слабой кислоте. Цинк в слабой кислоте сильно положителен по отношению к серебру, меди, свинцу, железу, олову и кадмию в крепкой кислоте; но в крепкой кислоте он слабо положителен по отношению к серебру и меди в слабой кислоте.

1997. Таким образом, удивительные изменения происходят в ряду металлов в цепях, содержащих эту кислоту, от действия одного только разведения; так что из пяти металлов — серебра, меди, железа, свинца и олова — каждый можно сделать или положительным, или отрицательным по отношению к каждому другому, за исключением серебра, которое положительно по отношению к меди. Порядок одних только этих пяти металлов можно поэтому менять почти на сто различных ладов в одной и той же кислоте действием одного только разведения.

1998. Совершенно так же цинк, олово, кадмий и свинец, а также цинк, олово, железо и свинец составляют группы по четыре металла; каждый из этих металлов можно сделать или положительным, или отрицательным по отношению к каждому другому металлу той же группы одним разведением этой кислоты.

1999. Но примеры изменений при разведении можно, с точки зрения наших двух противоположных теорий, сделать даже еще сильнее, чем те, которые установлены выше; потому что *одни и те же металлы в одной и той же кислоте одинаковой крепости на обоих концах можно*

заставить менять свой порядок, так как химическое действие кислот на каждый отдельный металл зависит от разведения в различной степени.

2000. Гальваническая пара железо — серебро была погружена обоими металлами одновременно в одну и ту же крепкую азотную кислоту; в первый момент железо было положительно; немного позже стало положительным серебро, и таким оно и оставалось. Такая же пара из железа и серебра была опущена в слабую азотную кислоту, где железо немедленно стало положительным и оставалось таким. С железом и медью были получены такие же результаты.

2001. Итак, мы имеем здесь *окончательные* примеры такой инверсии (1999); но поскольку в крепкой азотной кислоте железо сразу после погружения приобретает состояние, которого оно, вероятно, не принимает в разведенной кислоте (1843, 1951, 2033), и так как действие на железо в его *обычном* состоянии, можно сказать, сводится к приданию ему положительного знака по отношению к серебру или меди как в крепкой, так и в слабой кислоте, то мы не будем стараться насиловать факты, а обратимся к другим металлам.

2002. Когда в слабой азотной кислоте действовала пара из *серебра* и *никеля*, никель был положителен. При той же паре в крепкой кислоте никель в первый момент был опять положителен, но в конце концов положительным стало серебро. Никель потерял свое превосходство вследствие действия обволакивающей пленки (1918); и хотя это явление легко могло пройти незамеченным, этот пример нельзя выдвинуть в качестве случая, когда вышеуказанное (1999) положение удовлетворяется.

2003. *Медь* и *никель* были опущены в крепкую азотную кислоту; с самого начала медь была положительна. Когда медь и никель находились в разведенной азотной кислоте, никель был, хотя и слабо, но вполне ясно положителен по отношению к меди. То же происходило, когда в крепкой

азотной кислоте находились цинк и кадмий: кадмий был сильно положителен по отношению к цинку, а когда те же металлы были в разведенной азотной кислоте, цинк был сильно положителен по отношению к кадмию. Эти примеры я считаю превосходными и недвусмысленными (1999).

2004. Таким образом, азотная кислота представляет нам чрезвычайно удивительное разнообразие явлений, когда она служит в качестве электролитического проводника в гальванических цепях; и ее отличие от серной кислоты (1995) или от кали (1994) в явлениях, вытекающих из разведения, ясно показывает, наравне со многими приведенными ранее фактами и доказательствами, что электродвижущая сила в цепи не есть следствие какого-либо свойства веществ вообще; она является свойством каждого отдельного вещества, а не целого класса веществ; она не отличается той простотой свойств, которая по предположению принадлежит контактной силе; она обладает всем разнообразием свойств, проявляемым, *как известно*, химической силой.

2005. Когда каждый из четырех или пяти металлов, столь отличных друг от друга, как серебро и олово, можно сделать положительным или отрицательным по отношению к другим (1997, 1998), то при этом происходят огромные изменения; мне кажется, что последние исключают всякую вероятность того, что контакт между металлами может дать хоть малую долю эффекта в указанных гальванических установках; и если контакт не действует здесь, то он не действует и ни в каких других установках; поэтому выводы, полученные по данному вопросу из описанных ранее опытов (1829, 1833), подтверждаются и настоящими.

2006. Попробуем еще переменить декорации; скажем: все эти многообразные изменения производит *контакт* кислот и растворов при их разбавлении на одном конце (1874, 1982, 1991, 2014, 2060); но тогда сколь *глубоко непохоже* должен быть этот контакт на контакт многочисленного,

класса твердых проводящих тел (1809, 1867)! и где хоть один пример такого контакта, не сопровождаемого химическим действием и производящего такие токи, — пример, могущий придать такому утверждению хоть видимость опоры?

2007. Что тут дело не может быть в изменении силы контакта при одном только разведении на одной стороне (2006), можно показать еще, если произвести опыты, но с металлами, химически активными в данных электролитах. Так, когда на одном конце азотная или серная кислота были разведены, а затем крепкая и слабая части замыкались платиной или золотом (1976), никакого ощутимого тока не возникало, или он был столь мал, что не имел никакого значения.

2008. Еще более сильное доказательство дает следующий опыт. Я наполнил трубку (рис. 159; 1972) от *A* до *m* крепким раствором желтого сернистого калия (1812) и от *m* до *B* — раствором, состоящим из одной части крепкого раствора и шести частей воды. Концы затем различными путями соединялись через платину и железо; и если помнить, что не следует наблюдать первоначальное действие погружения, а также помнить и про первоначальное кратковременное отрицательное состояние железа (2049), то результат получался следующий: когда у *A* и *B* была платина, то та, которая была у *A*, т. е. в крепком растворе, была чуть-чуть положительна и давала постоянное отклонение в  $2^\circ$ . Когда у *A* и у *B* было железо, получался тот же результат. Если у *A* было железо, а у *B* платина, то железо было положительно, около  $2^\circ$  по отношению к платине. Если же у *A* была платина, а у *B* железо, то уже платина была положительна по отношению к железу примерно на  $2^\circ$ . Так что не только контакт железа с платиной ничего не дает, но и контакт крепкого или слабого раствора этого электролита как с железом, так и с платиной не действует как возбудитель тока. Ток, который постоянен, очень слаб; он, очевидно, связан с относительным расположением крепкого и

слабого растворов и, вероятно, производится их постепенным смешением.

2009. Результаты, полученные при разведении электролита, способного действовать на металлы, служащие вместе с электролитом для получения гальванической цепи, могут в некоторых случаях зависеть от того, что кислота с разведением становится более хорошим электролитом. Повидимому, — и так этого нужно ожидать по химической теории — каждое обстоятельство, которое стремится усилить химическое действие жидкости и улучшить ее как электролит (последнее является свойством чисто химическим, а не контактным), способствует возбуждению определенного тока. Какова бы ни была причина действия, производимого разведением, результаты его все же определенно показывают, сколь ценной должна стать гальваническая батарея как орудие исследования природы химического средства (1959).

#### ГЛАВА VI

##### *Изменения порядка металлических элементов в гальванических цепях*

2010. Другой класс экспериментальных доказательств, важных для великого вопроса о происхождении силы в гальванической батарее, доставляет рассмотрение различного порядка, в котором металлы располагаются как источники тока при соединении их с различными возбуждающими электролитами. Металлы обычно располагают в известном порядке, и принято говорить, что металл, поставленный в списке, отрицателен по отношению к каждому, стоящему выше, и положителен по отношению к каждому, стоящему ниже, как будто бы (и действительно так и думают) они обладали определенной прямой силой, взятые вместе. Но в 1812 г. Дэви обнаружил обращения этого порядка в случае железа и меди<sup>1</sup> (943); а в 1828 г. де ля Рив указал на

<sup>1</sup> Elements of Chemical Philosophy, стр. 149.



целый ряд таких обращений в различных случаях<sup>1</sup> (1877); он дал примеры таких сильных противоположностей в порядке некоторых металлов в крепкой и разведенной азотной кислоте;<sup>2</sup> возражая на результаты Марианини, он чрезвычайно ясно говорит, что всякий порядок надо рассматривать применительно только к той жидкости, которая служила в опытах по установлению этого порядка.<sup>3</sup>

2011. Я продолжил эти исследования с несколькими растворами, принимая те предосторожности, о которых я упоминал выше (1917 и т. д.), и нахожу, что невозможно настаивать на существовании какого-либо одного порядка, подобного тому, о котором я только что говорил. Так, никель отрицателен по отношению к сурьме и висмуту в крепкой азотной кислоте; он положителен по отношению к сурьме и отрицателен по отношению к висмуту в крепкой соляной кислоте; он положителен по отношению и к сурьме и к висмуту в разведенной серной кислоте; он отрицателен по отношению к сурьме и висмуту в кали и он сильно отрицателен по отношению к висмуту и сурьме как в бесцветном, так и в желтом растворах сернистого калия.

2012. Для дальнейшего освещения этого вопроса я возьму десять металлов и дам их порядок в семи различных растворах [см. таблицу на стр. 124].

2013. Разведенная азотная кислота состояла из одного объема крепкой кислоты и семи объемов воды; разведенная серная кислота — из одного объема крепкой кислоты и тринадцати объемов воды; соляная кислота — из одного объема крепкого раствора и одного объема воды. Крепкая азотная кислота была чистая, с удельным весом 1.48. Оба — как крепкий, так и слабый — раствора

---

<sup>1</sup> Annales de Chimie, 1828, XXXVII, стр. 232.

<sup>2</sup> Там же, стр. 235.

<sup>3</sup> Там же, стр. 243.

Разведенная азотная кислота	Разведенная серная кислота	Соляная кислота	Крепкая азотная кислота	Раствор едкого кали	Бесцветный бихлорсульфид калия	Желтый гидросульфид калия
1. Серебро	1. Серебро	3. Сурьма	5. Никель	1. Серебро	6. Железо	6. Железо
2. Медь	2. Медь	1. Серебро	1. Серебро	5. Никель	5. Никель	5. Никель
3. Сурьма	3. Сурьма	5. Никель	3. Сурьма	2. Мель	4. Висмут	4. Висмут
4. Висмут	4. Висмут	4. Висмут	2. Медь	6. Железо	8. Свинец	3. Сурьма
5. Никель	5. Никель	2. Медь	4. Висмут	4. Висмут	1. Серебро	8. Свинец
6. Железо	6. Железо	6. Железо	6. Железо	8. Свинец	3. Сурьма	1. Серебро
7. Олово	8. Свинец	8. Свинец	7 Олово	3. Сурьма	7. Олово	7. Олово
8. Свинец	7. Олово	7. Олово	8. Свинец	9. Кадмий	2. Медь	9. Кадмий
9. Кадмий	9. Кадмий	9. Кадмий	10. Цинк	7. Олово	10. Цинк	2. Медь
10. Цинк	10. Цинк	10. Цинк	9. Кадмий	10. Цинк	9. Кадмий	10. Цинк

едкого кали давали один и тот же порядок. Желтый сернистый калий состоял из одного объема крепкого раствора (1812) и пяти объемов воды. Металлы занумерованы в порядке, который они давали в разведенных кислотах (отрицательные выше), с целью показать, путем сравнения этих номеров с номерами в других столбцах, поразительные отступления от этого наиболее общепринятого порядка. Железо включено, но только в его обычном состоянии: его положение в азотной кислоте дано сообразно тому месту, которое оно занимало при погружении, а не тому, которое приобретает потом.

2014. Перемещения кажутся чрезвычайно странными — столь же странными, как те, которые происходят от разведения (2005); они тем самым показывают, что не существует общего закономерного влияния жидких проводников или различных классов таких проводников, как кислоты, основания и т. д., отдельно от их чисто химических отношений. Но как может теория контакта объяснить эти данные? Чтобы дать объяснение подобным фактам, она должна влиять самым невероятным образом, следуя за всеми искривлениями нити фактов (1874, 1956, 1992, 2006, 2063); и при этом она не указывает ни одного случая возбуждения тока одним только контактом, т. е. без сопровождающего его химического действия.

2015. С другой стороны, как просто химическая теория возбуждения тока представляет факты! Насколько мы пока что можем проследить за ними, они идут рука об руку. Без химического действия нет тока; с изменением химического действия изменяются токи; в то же время влияние наиболее сильных случаев контакта (например серебра и олова) (1997) друг с другом никак не отражается на результатах. И, как дальнейшее подтверждение, возбуждающая способность не растет, а падает при контакте с образующимися веществами, так как производящая их химическая сила ослабевает или истощается; вытекающие из этого

результаты хорошо видны на действии образующихся обволакивающих слоев жидкостей (1918, 1953, 1966).

2016. Таким образом, как сказал де ля Рив, каждый список металлов в отношении порядка должен быть построен в зависимости от избранной возбуждающей жидкости. Далее, в ряду должна быть отмечена нулевая точка; дело в том, что электродвижущая сила может быть либо на аноде, либо на катоде (2040, 2052), либо одновременно и на том и на другом; соответственно, такое вещество (если оно существует), которое не обладает абсолютно никаким возбуждающим действием, должно представлять такую точку. Нижеследующее можно дать в качестве иллюстрации порядка нескольких металлов и других веществ по отношению к соляной кислоте:

*перекись свинца,*  
*перекись марганца,*  
*окись железа,*  
**графит,**  
родий,  
платина,  
золото,  
сурьма,  
серебро,  
медь,  
цинк.

Здесь графит является нейтральным веществом; выделенные курсивом активны на катоде, а напечатанные прямым шрифтом — на аноде. Верхние, конечно, отрицательны по отношению к нижним. Чтобы сделать такие списки настолько полными, насколько это скоро потребуется, к каждому веществу надо было бы прибавить число, выражающее его относительную возбуждающую силу, считая от нулевой точки.

## ГЛАВА VII

**Активные гальванические цепи и батареи без металлического контакта**

2017. Имеется очень много случаев, когда электрические токи производятся одним только химическим действием, но нет ни одного несомненного примера возбуждения тока одним контактом. Я считаю, что этот важный вопрос должен теперь разрешаться на основании подавляющих фактов, а не чисто философских рассуждений (1799); поэтому я хочу добавить немного наблюдений и фактов, чтобы показать число таких случаев и их силу. В восьмой серии этих исследований<sup>1</sup> (апрель 1834 г.) я указал первый, насколько я знаю, опыт, в котором химическое действие удалось заставить произвести электрический ток и химическое разложение на расстоянии, в простой цепи, без всякого металлического контакта (880 и сл.). Далее было показано, что когда пара пластинок из цинка и платины была возбуждена на одном конце разведенной азотно-серной кислотой (800), или раствором едкого кали (884), или даже в некоторых случаях раствором простой соли (885), на другом конце могло происходить разложение растворов иодистого калия (900), протохлорида олова (901), сульфата натрия, соляной кислоты, нитрата серебра (906) или следующих веществ в расплавленном состоянии: селитры, хлоридов серебра и свинца и иодистого свинца (902, 906); никакого металлического контакта ни в одном из опытов допущено не было.

2018. Я приступлю к перечислению новых примеров и прежде всего тех, которые я приводил выше, и где действие слегка разведенной кислоты производило ток, проходящий через раствор сернистого калия (1831), или зеленую азотистую кислоту (1844), или раствор едкого кали.

---

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1834, стр. 426. См. также «Экспериментальные исследования по электричеству», I.

(1854), потому что здесь не было допущено никакого металлического контакта, и химическое действие было очевидной и единственной причиной производимых токов.

2019. В нижеследующей таблице даются случаи подобного возбуждения и гальванического действия, производимого химическим действием без металлического контакта. Каждая горизонтальная строка содержит четыре вещества, образующие цепь, и они расположены так, что дают направление тока; он идет во всех случаях слева направо через стоящие там вещества по порядку. Все приведенные цепи были способны вызывать разложение, и это — только немногие из тех, которые встречались во время исследования.

2020.

Железо	Разведенная азотная кислота	Платина	Сернистый калий (1812)	Полный ток
Железо	Разведенная азотная кислота	Платина	Красная азотная кислота	Полный ток
Железо	Разведенная азотная кислота	Платина	Бледная азотная кислота, крепкая	Хороший
Железо	Разведенная азотная кислота	Платина	Зеленая азотистая кислота	Очень сильный
Железо	Разведенная азотная кислота	Платина	Иодистый калий	Полный ток
Железо	Разведенная серная кислота	Платина	Сернистый калий	Полный
Железо	Разведенная серная кислота	Платина	Красная азотная кислота	Хороший

Продолжение

Железо	Соляная кислота	Платина	Зеленая азотистая кислота	Очень сильный
Железо	Разведенная соляная кислота	Платина	Красная азотная кислота	Хороший
Железо	То же	Платина	Сернистый калий	Хороший
Железо	Раствор соли	Платина	Зеленая азотистая кислота	Очень сильный
Железо	Простая вода	Платина	Зеленая азотистая кислота	Хороший
Цинк	Разведенная азотная кислота	Платина	Иодистый калий	Хороший
Цинк	Соляная кислота	Платина	Иодистый калий	Хороший
Кадмий	Разведенная азотная кислота	Платина	Иодистый калий	Хороший
Кадмий	Соляная кислота	Платина	Иодистый калий	Хороший
Свинец	Разведенная азотная кислота	Платина	Иодистый калий	Хороший
Свинец	Соляная кислота	Платина	Иодистый калий	Хороший
Медь	Разведенная азотная кислота	Платина	Иодистый калий	Хороший
Медь	Соляная кислота	Платина	Иодистый калий	Хороший
Свинец	Крепкая серная кислота	Железо	Разведенная серная кислота	Сильный
Олово	Крепкая серная кислота	Железо	Разведенная серная кислота	Сильный
Медь	Сернистый калий	Железо	Разведенная азотная кислота	Очень сильный

Продолжение

Медь	Сернистый калий	Железо	Иодистый калий	
Медь	Крепкая азотная кислота	Железо	Разведенная азотная кислота	Очень сильный
Медь	Крепкая азотная кислота	Железо	Иодистый калий	
Серебро	Крепкая азотная кислота	Железо	Разведенная азотная кислота	Сильный
Серебро	Крепкая азотная кислота	Железо	Иодистый калий	Хороший
Серебро	Сернистый калий	Железо	Разведенная азотная кислота	Сильный
Олово	Крепкая серная кислота	Медь	Разведенная серная кислота	

2021. Мне кажется вероятным, что каждая из весьма многочисленных комбинаций, которые можно составить из следующей таблицы, беря по одному веществу из каждого столбца и размещая их в том порядке, в котором стоят столбцы, должна произвести ток без металлического контакта и что некоторые из этих токов будут очень сильны.

Родий	Крепкая азотистая кислота или крепкий раствор сернистого калия	Железо	Разведенная азотная кислота
Золото			Разведенная серная кислота
Платина			Соляная кислота
Палладий			Раствор растительных кислот
Серебро			Иодистый калий
Никель			Иодистый цинк
Медь			Раствор соли
Свинец			Многие металлические растворы
Олово			
Цинк			
Кадмий			



2022. К этим случаям должно добавить еще многие, такие, в которых один металл в однородной кислоте давал токи, когда один из его концов нагревался (1942 и сл.), а также такие, в которых один металл давал ток с одной и той же кислотой — крепкой и разведенной (1977 и сл.).

2023. К вышеуказанным случаям нужно было бы добавить и половину тех, в которых посредством разведения кислоты один металл можно сделать или положительным, или отрицательным по отношению к другому (1996 и сл.), если бы эти последние случаи не были слишком сильны: ведь они не только доказывают, что химическое действие может производить ток без контакта, а низводят контакт до ничтожного значения и с одинаковой легкостью дают токи и в одну сторону с силой контакта и в противоположную.

2024. Что построить батарею без металлического контакта легко, было показано сэром Гемфри Дэви в 1801 г.,<sup>1</sup> когда он описывал различные действенные схемы, содержащие в себе только один металл. Позднее Замбони построил элемент, в котором имелись только один металл и одна жидкость;<sup>2</sup> единственное различие состояло лишь в различной протяженности контакта у двух поверхностей. Сюда можно добавить еще следующие виды элемента, зависящие от одного только действия разведения.

2025. Пусть  $ab$ ,  $ab$ ,  $ab$  (рис. 162) представляют трубки или другие сосуды, в которых части  $a'$  содержат крепкую азотную или серную кислоту, а части  $b$  — разведенную кислоту того же рода; соедините их затем проволоками, стержнями или пластинками только из одного металла, хотя бы меди, железа, серебра, олова, свинца или любого

<sup>1</sup> Philosophical Transactions, 1801, стр. 397. Также Journals of the Royal Institution, 1802, стр. 51, и Nicholson's Journal, в восьмую долю листа, 1802, I, стр. 144.

<sup>2</sup> Quarterly Journal of Science, VIII, стр. 177; или Annales de Chimie, XI, стр. 190 (1819).

из таких металлов, которые становятся положительными и отрицательными в кислоте при различном разведении последней (1979 и сл.). Такое устройство даст действенную батарею.

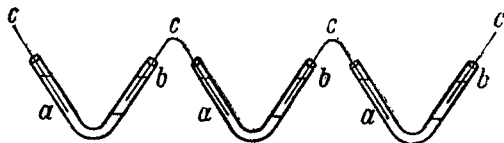


Рис. 162.

2026. Если кислота будет серная, а в качестве металла будет взято железо, то возникший ток будет одного направления, а именно на чертеже — справа налево; но если металлом будет олово, результирующий ток будет обратного направления, т. е. слева направо.

2027. В крепком и слабом растворах едкого кали в таких же трубках каждый из следующих металлов: цинк, свинец, медь, олово и кадмий (1981), взятых по одиночке, даст подобную же батарею.

2028. Если цепи будут устроены, как на рис. 163, где сосуды 1, 3 и т. д. содержат крепкую серную кислоту, а сосуды 2, 4 и т. д. — разведенную серную кислоту; и если

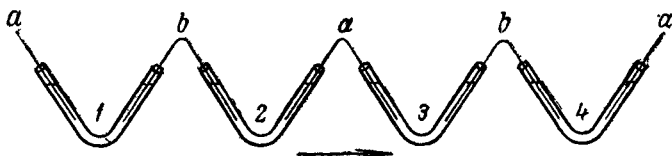


Рис. 163.

металл *a, a, a* — олово, а *b, b* — железо (1979), то электрический ток будет появляться в направлении стрелки. Если металлы будут переставлены один на место другого, кислоты же останутся на месте, или если переставлены будут кислоты, а металлы останутся на месте, то направление тока изменится на противоположное.

## ГЛАВА VIII

*Соображения о достаточности химического действия*

2029. Таким образом, имеется достаточное число случаев, когда химическое действие одно производит гальванические токи (2017), и, если мы будем каждый раз пристально наблюдать за соответствием, которое должно существовать между химическим действием и производимым током, то мы найдем, что чем дальше его проследить, тем точнее оно становится; для иллюстрации этого будет достаточно следующих примеров.

2030. *Химическое действие на самом деле развивает электричество.* Это было многократно доказано Беккерелем и де ля Ривом. Беккерелев прекрасный гальванический прибор из кислоты и щелочи<sup>1</sup> является наилучшим доказательством того, что химическое действие более чем достаточно для возбуждения электрических явлений. Большое количество результатов, описанных в настоящих статьях, доказывает то же самое.

2031. *Там, где химическое действие имеется, но ослабляется или прекращается, ослабляется или прекращается и электрический ток.* Случаи олова (1882, 1884), свинца (1885), висмута (1895) и кадмия (1905) в растворе сернистого калия являются превосходными примерами справедливости этого положения.

2032. Если кусок зернистого олова положить в крепкую азотную кислоту, оно обычно не вызывает действия из-за пленки окиси, образующейся на нем от нагревания во время размельчения. Затем можно опустить в кислоту две платиновых проволоки, соединенных гальванометром, и одну из них прижать к куску олова, не вызывая этим, однако,

---

<sup>1</sup> Annales de Chimie, 1827, XXXV, стр. 122; Bibliothèque Universelle, 1838, XIV, стр. 129, 171.

электрического тока. Но если, пока все находится в таком положении, поцарапать олово под кислотой стеклянной палочкой или другим непроводящим предметом, способным нарушить его поверхность, то кислота начнет действовать на свежее открывшийся металл и даст ток; но через одно-два мгновения действие прекращается из-за образования окиси олова и от истощения приставшей пленки раствора (1918), и ток прекращается вместе с ним. Каждая новая царапина на поверхности олова производит этот ряд явлений вновь.

2033. Пример железа в крепкой азотной кислоте, которое в первый момент действует и производит ток (1843, 1951, 2001), но теряет благодаря этому действию активность как химическую, так и электрическую, тоже подходит сюда.

2034. Если свинец и олово спарить в соляной кислоте, то в первый момент свинец будет положителен по отношению к олову, а затем станет положительным олово и таким будет оставаться. Это изменение я приписываю тому обстоятельству, что образующийся хлористый свинец покрывает отчасти этот металл и препятствует продолжению действия; но хлористое олово, как гораздо более растворимое по сравнению с хлористым свинцом, переходит гораздо легче в раствор, так что действие не прекращается, и металл непрерывно проявляет положительное состояние.

2035. Сюда же относятся: действие приставшей пленки жидкости, на которое я уже указывал в случаях с оловом (1919) и кадмием (1918), некоторые результаты с двумя металлами в горячей и холодной кислоте (1966) и, наконец, те случаи, в которых металл в нагретой кислоте становился отрицательным по отношению к этому же металлу в холодной кислоте (1953 и сл.). Последнее явление может быть прекрасно иллюстрировано двумя кусками свинца в разведенной азотной кислоте: если их оставить на короткое время, то стрелка будет стоять почти на  $0^{\circ}$ , но если подогреть один конец, металл станет там отрицательным до  $20^{\circ}$

или более, и это будет продолжаться до тех пор, пока продолжается нагревание. При охлаждении этой стороны и нагревании другой, тот кусок свинца, который был раньше положительным, теперь станет в свою очередь отрицательным. Опыт можно повторить любое число раз.

2036. При изменении химического действия изменяется и ток. Это можно показать на примере с двумя кусками одного и того же активного металла в одной и той же жидкости. Так, если два куска серебра соединить друг с другом в пару в крепкой соляной кислоте, то вначале положительным будет один из них, а затем другой; изменения в направлении тока будут не замедленные, как бы от постепенного действия, а чрезвычайно резкие и внезапные. Еще пример: если серебро и медь соединить в пару в разведенном растворе сернистого калия, медь будет химически активна и положительна, а серебро останется чистым — до тех пор, пока внезапно медь не перестанет действовать, и тогда серебро мгновенно покроется сернистым налетом, указывая этим на начало химического действия на нем, а стрелка гальванометра перескочит на  $180^\circ$ . Два куска серебра или меди в растворе сернистого калия производят такое же действие.

2037. Если опыт производится с металлами, которые неактивны в обычно употребляемых жидкостях, а последние не испытывают изменений с течением времени от других причин — таких как нагревание и т. д. (1838, 1937), — то никаких токов и, конечно, никаких изменений в их направлении не происходит.

2038. Там, где нет химического действия, не возникает и тока. По отношению к обычным твердым проводникам это — хорошо известный факт как при металлах, так и при других веществах (1867). Было показано, что это верно и тогда, когда опыты производились с жидкими проводниками (электролитами) — во всех случаях, когда они не оказывали химического действия, хотя

брались такие различные вещества, как кислоты, щелочи и сульфиды (1843, 1853, 1825, 1829). Это весьма поразительные факты.

2039. Но ток возникает в тот момент, когда начинается химическое действие. Это положение может быть хорошо иллюстрировано следующим опытом. Постройте такой прибор, как на рис. 164: обе трубки наполнены одной и той же чистой, светлой крепкой азотной кислотой; две платиновых проволоки  $p, p$  соединены друг с другом через гальванометр, а проволока  $i$  — железная.

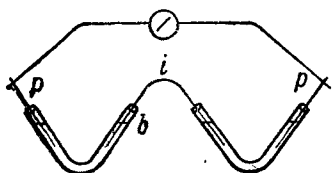


Рис. 164.



Рис. 165.

Прибор является только другой формой простого прибора, изображенного на рис. 165, где так же, как в одном из прежних опытов (889), две пластины из железа и платины помещены параллельно, и на каждом конце разделены каплей крепкой азотной кислоты. Пока все находится в этом состоянии, ни в одном из приборов не возникает тока; но если у  $b$  (рис. 165) добавить одну каплю воды, то начинается химическое действие и возникает сильный ток, хотя тут нет ни нового металлического, ни какого-либо другого дополнительного контакта. Чтобы наблюдать это в приборе, изображенном на рис. 164, у  $b$  была введена капля воды. Вначале не было ни химического действия, ни электрического тока, несмотря на то, что там имелась вода; таким образом контакт с водой ничего не давал; затем воду и кислоту помешали концом проволоки  $i$ ; через несколько мгновений наступила настоящая химическая реакция; железо в месте действия стало выделять азотистый газ; одновременно в этом же месте оно приобрело положительное состояние и вызвало сильный электрический ток.

2040. Когда химическое действие, которое производило или могло бы произвести ток в одном направлении, меняет последнее (или прекращается), ток тоже меняет направление (или прекращается).

2041. Это — принцип или результат, который особенно поразительно подтверждает химическую теорию гальванического возбуждения; он иллюстрируется многими важными фактами. Вольта в 1802 г.<sup>1</sup> показал, что кристаллическая *перекись марганца* сильно отрицательна по отношению к цинку и подобным ему металлам, давая, согласно его теории, электричество цинку в точке их контакта. Беккерель тщательно изучал этот вопрос в 1835 г.<sup>2</sup> и пришел к заключению, высказанному, правда, сдержанно, что факты благоприятствуют теории контакта. В следующем году тот же вопрос<sup>3</sup> исследовал де ля Рив и показал, к моему большому удовольствию, что перекись в это время подвергается химическому изменению и теряет кислород, — изменению, находящемуся в полном соответствии с направлением тока, который оно производит.

2042. Перекись, взятая в соединении с платиной в зеленой азотистой кислоте, дает ток и отрицательна по отношению к платине, теряя в то же время кислород и превращая азотистую кислоту в азотную; это изменение легко обнаружить обычным химическим опытом. В азотной кислоте окись отрицательна по отношению к платине, но ее отрицательное состояние сильно возрастает, если к кислоте прибавить немного спирта, так как это вещество помогает восстановлению окиси. Когда она образует цепь с платиной в растворе едкого кали, небольшое добавление спирта особенно благоприятствует усилению тока по той же причине. Если перекись и платина образуют цепь с раствором сернистого калия,

<sup>1</sup> Annales de Chimie, 1802, XL, стр. 224.

<sup>2</sup> Там же, 1835, LX, стр. 164, 171.

<sup>3</sup> Там же, 1836, LXI, стр. 40; и Bibliothèque Universelle, 1836, I, стр. 152, 158.

перекись, как и можно было ожидать, становится сильно отрицательной.

2043. В 1835 г. г. Мунке<sup>1</sup> заметил поразительную способность перекиси свинца вызывать такие же явления, как и перекись марганца, а г. де ля Рив в 1836 г. не замедлил установить их связь с соответствующими химическими изменениями.<sup>2</sup> Г-н Шенбейн не признает этого заключения; на явлениях, даваемых этим веществом, и на его неактивности с азотной кислотой<sup>3</sup> он основывает свое представление о «токах тенденции». Мои собственные результаты подтверждают результаты г. де ля Рива, ибо прямым опытом я нахожу, что такие вещества, как азотная кислота, действуют на перекись. Едкое кали и чистая крепкая азотная кислота при кипячении с перекисью свинца легко растворяли ее, образуя протонитрат свинца. Разведенная азотная кислота была приготовлена и разделена на две порции; одна была испытана раствором сероводорода и не дала признаков свинца; другая была смешана с небольшим количеством перекиси свинца (1822) при обычной температуре, а через час профильтрована и испытана таким же способом; при этом оказалось, что она содержит свинец в изобилии.

2044. Перекись свинца отрицательна по отношению к платине в растворах простой соли и едкого кали, т. е. в веществах, о которых можно было бы думать, что они на нее химически не действуют. Но прямые опыты показывают, что они действуют на нее в степени, достаточной для того, чтобы давать все явления. Быстрое уменьшение силы развиваемого тока сейчас же после погружения является дальнейшим доказательством того, что в гальванической цепи, построенной из этих тел, ток имеет химическое происхождение.

<sup>1</sup> Bibliothèque Universelle, 1836, I, стр. 160.

<sup>2</sup> Там же, I, стр. 154, 162.

<sup>3</sup> Philosophical Magazine, 1838, XII, стр. 226, 311, и Bibliothèque Universelle, 1838, XIV, стр. 155.



2045. Весьма мощную цепь из перекиси свинца, платины и одной жидкости я получил, когда в качестве соединяющей жидкости пользовался раствором желтого сернистого калия. Чтобы с удобством производить эти опыты, я приготовлял из перекиси и небольшого количества дистиллированной воды тонкую мягкую пасту. При помощи стеклянной палочки я равномерно покрывал нижний конец платиновой пластинки этой пастой; ее слой должен был быть только такой толщины, чтобы покрыть всю пластинку. Затем пластинка высушивалась и, наконец, сравнивалась в испытуемом электролите с чистой платиновой пластинкой. Если платиновая пластинка была покрыта не вся, возникали местные электрические токи (1120), которые мешали результату. Таким путем легко показать, что перекись отрицательна по отношению к платине как в растворе сернистого калия, так и в азотной кислоте. Сурик давал те же результаты в обеих этих жидкостях.

2046. Пользуясь этим же сернистым раствором, можно получить такое же доказательство в пользу химической теории с протоксидами, как раньше с перекисями. Так, небольшое количество чистого протоксида свинца, полученное из нитрата с помощью нагревания и плавления, было нанесено на платиновую пластинку (2045) и оказалось сильно отрицательным по отношению к металлической платине в растворе сернистого калия. Белый свинец, испытанный таким же образом, принимал, как оказалось, такое же состояние. Любое из этих веществ при его сравнении с платиной в разведенном растворе азотной кислоты было, наоборот, сильно положительно.

2047. Такое же явление хорошо наблюдается при действии окисленного железа. Если железную пластинку окислить нагреванием и получить при этом окисел такой агрегации и такого состояния, что на него почти или даже совсем не действовал сернистый раствор, то ток очень мал или его совсем нет, т. е. такой окисел в растворе ведет

себя как платина (1840). Но если железную пластинку окислить на воздухе или смочить и просушить, или же смочить небольшим количеством разведенной азотной или серной кислоты, а затем промыть сначала в растворе аммиака или едкого кали, а потом в дистиллированной воде и просушить; или если ее смочить раствором едкого кали, нагреть на воздухе и затем хорошо вымыть в дистиллированной воде и высушить, то такое железо в паре с платиной и в сернистом растворе будет давать сильный ток до тех пор, пока весь окисел не восстановится; железо во все это время будет отрицательно.

2048. Кусок ржавого железа в том же растворе сильно отрицателен. Такова же и платиновая пластинка, покрытая протоксидом или перекисью, или природным карбонатом железа (2045).

2049. Этот результат является одним из тех эффектов, которых надо было остерегаться в описанных ранее опытах (1826, 1888). Если железную пластинку, которая на вид чиста, опустить в разбавленный раствор сернистого калия, то она будет сперва отрицательна по отношению к платине, затем нейтральна и, наконец, обычно — слабо положительна; если ее опустить в крепкий раствор, она будет сперва отрицательна, а затем станет нейтральной и такой останется. Ее нельзя очистить шкуркой настолько хорошо, чтобы она не становилась отрицательной при погружении, но чем ближе к опыту и чем лучше пластинка была вычищена, тем меньше времени продолжается это состояние. Это действие является следствием моментального окисления поверхности железа во время его кратковременного нахождения на воздухе и последующего восстановления этой окиси раствором. Тот, кто учитывает свойства железа, не может рассматривать этот результат как неестественный. Чистое губчатое железо самовоспламеняется на воздухе; а только что вычищенная пластинка, если ее погрузить в воду или подышать на нее, или просто выставить ее на воздух,

дает на один момент запах водорода. Тонкая пленка окиси, которая может образоваться за время мгновенной экспозиции на воздух, вполне достаточна поэтому для того, чтобы объяснить появление электрического тока.

2050. Для дальнейшего доказательства справедливости этих объяснений я погружал железную пластинку в раствор сернистого калия и тер ее там куском дерева, которое предварительно в течение некоторого времени вымачивалось в этом же растворе. Тогда железо оказывалось нейтральным или очень слабо положительным по отношению к платине в той же цепи. Пока оно было еще связано с платиной я опять потер его деревом, чтобы создать свежую поверхность контакта; оно не стало отрицательным, а продолжало оставаться в самой слабой степени положительным, показывая этим, что прежний отрицательный ток был лишь временным явлением; последнее объяснялось поверхностной пленкой окиси, которой железо обволоклось на воздухе.

2051. Никель, повидимому, подвержен тому же действию, что и железо, хотя в гораздо меньшей степени. Все явления протекали параллельно, и тот способ, которым я доказывал свое объяснение в случае железа (2050), был мною повторен и с никелем. Результат получился тот же.

2052. Итак, все эти явления с протоксидами и перекисями согласно объясняют производимый ток химическим действием; они показывают не только, что ток зависит от действия, но также и то, что направление тока зависит от *направления*, которое химическое сродство заставляет принять возбуждающий или электродвижущий анион. И я думаю, что наиболее поразительным обстоятельством является следующее: тела, которые производят ток, когда могут действовать и действуют химически, совершенно лишены этой силы в тех случаях, когда существует *один только контакт* (1869), хоть и являются превосходными проводниками электричества и могут легко передавать токи, вызванные другими, более действенными средствами.

2053. При таком множестве доказательств действительности и достаточности химического действия, какое было дано (1878, 2052), при таком большом количестве цепей с током без металлического контакта (2017) и при таком большом количестве цепей без тока, но с металлическим контактом (1867), какое же может быть основание для того, чтобы в случаях, когда одновременно встречаются и химическое действие и контакт, объяснять действие контактом или чем-либо другим, а не одной только химической силой? Подобное объяснение кажется мне в высшей степени ненаучным; это значит устранять доказанную и действительную причину для того, чтобы принять вместо нее другую, совершенно гипотетическую.

#### ГЛАВА IX

##### *Термоэлектрическое доказательство*

2054. Термоэлектрические явления — это прекраснейшее открытие Зеебека — неоднократно, вплоть до недавних дней, привлекались для доказательства электродвижущего влияния контакта между металлами и подобными им твердыми проводниками<sup>1</sup> (1809, 1867). Очень краткого рассмотрения вопроса будет, я думаю, достаточно, чтобы показать, какую слабую поддержку это явление оказывает теории, о которой идет речь.

2055. Если контакт металлов оказывает какое-либо возбуждающее влияние в гальванической цепи, тогда мы едва ли можем сомневаться, что термоэлектрические токи происходят от той же самой силы, т. е. от нарушения из-за местной температуры уравновешенных сил различных контактов в металлической или подобной цепи. Те, кто ссылаются на термоэффект как на доказательство действия контакта, должны, конечно, согласиться с этим мнением.

<sup>1</sup> См. слова Фехнера: *Philosophical Magazine*, 1838, XIII, стр. 206.

2056. Допуская силу контакта, мы можем затем принять, что нагревание либо увеличивает, либо уменьшает электродвижущую силу контакта. В самом деле, если на рис. 166  $A$  — сурьма и  $B$  — висмут, нагревание, производимое у  $x$ , вызывает ток, проходящий в направлении стрелки; если предположить, что висмут в контакте с сурьмой стремится стать положительным, а сурьма — отрицательной, тогда нагревание уменьшает эффект. Но если предположить, что у висмута имеется стремление стать отрицательным, а у сурьмы — стать положительной, тогда нагревание должно увеличивать эффект. Как решить, который из этих двух взглядов приемлем, — мне не ясно; ибо в области самых явлений термоэлектричества мы не найдем ни одного, которое позволило бы нам установить это посредством гальванометрических наблюдений.

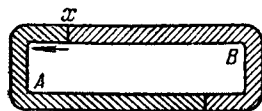


Рис. 166.

2057. Если для этой цели мы обратимся к гальванической цепи, то там положение сурьмы и висмута меняется в зависимости от того, какой проводящей жидкостью мы пользуемся (2012): сурьма отрицательна по отношению к висмуту с кислотами, но положительна по отношению к нему со щелочами и с сернистым калием; к тому же они, как оказывается, расположены *почти рядом* в ряду металлов. В термоэлектрическом ряду они, наоборот, занимают места на *противоположных концах* ряда; они настолько различаются друг от друга, или настолько противоположны друг другу, как это только возможно. Эта разница была давно указана профессором Каммингом;<sup>1</sup> как это согласовать с контактной теорией гальванического элемента?

2058. Далее, если составим термоцепь (рис. 167) из серебра и сурьмы и нагреем спай  $x$ , то возникнет ток, который пойдет от серебра к сурьме. Если построить термоцепь.

<sup>1</sup> Annals of Philosophy, 1823, VI, стр. 177.

из серебра и висмута (рис. 168) и нагреть спай  $x$ , то ток пойдет от висмута к серебру; и если предположить, что нагревание увеличивает силу контакта (2056), то эти результаты дадут направление контактной силы между нашими металлами *сурьма* ← *серебро* и *висмут* → *серебро*. Но в гальваническом ряду ток идет от *серебра* и к сурьме и к висмуту в их точках контакта при любой жидкости: при разведенной серной или азотной кислоте, при крепкой азотной кислоте, при растворе едкого калия (2012); так что металлический контакт, так же как и в термических цепях, играет здесь

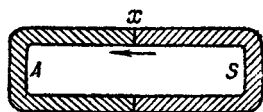


Рис. 167.



Рис. 168.

при всех обстоятельствах *весьма малую* роль. В желтом сернистом калии ток идет и от сурьмы и от висмута к *серебру* через их контакты: результат, столь же несогласный с термическим эффектом, как и предыдущий. Если воспользоваться для замыкания гальванической цепи бесцветным гидросульфидом, то ток в точках их контакта идет от висмута к серебру и от серебра к сурьме; в то же время с крепкой соляной кислотой получается как раз обратное направление, потому что тут ток идет от серебра к висмуту и от сурьмы к серебру.

2059. Затем в тепловых рядах медь дает ток по направлению к золоту; олово и свинец дают токи к меди, родию и золоту; цинк дает ток к сурьме, железу и к графиту; а висмут дает ток к никелю, кобальту, ртути, серебру, палладию, золоту, платине, родию и графиту; все — *в точке контакта* между металлами; но эти токи оказываются как раз противоположны тем, которые производятся этими же металлами, когда из них построены гальванические цепи с возбуждением обычными кислыми растворами (2012).

2050. Наряду с этим возникает и множество других противоречий при сравнении, согласно теории, действия термоконтакта и гальванических контактов; единственная возможность их разрешения заключается в том, чтобы предположить какое-то специфическое действие контакта воды, кислот, щелочей, сульфидов и других возбуждающих электролитов на каждый металл. Эта предполагаемая сила контакта совершенно не похожа на термо-металлический контакт, так как она не обладает уравновешенным состоянием в замкнутой цепи при одинаковых температурах; но, мало того, она не обнаруживает с ним родства и в отношении *порядка* между испытываемыми металлами. Так, у висмута и сурьмы, которые (в термоэлектрическом ряду) стоят друг от друга далеко, это особое свойство кислого контакта должно быть сильно развито в направлении противоположном [термоэлектрическому], чтобы превратить их в весьма слабую гальваническую пару при соединении друг с другом; а что касается серебра, которое стоит между оловом и цинком, то для него требуются не только такие же отступления; да, к тому же, как велико должно быть это действие его несурьманого контакта, чтобы он мог так полно, как это показывает опыт, пересилить и с силой обратить в противоположную сторону те разности, которые металлы (по теории контакта) стремятся произвести!

2061. Дальнейшее противоречие с подобным предположением мы усмотрим, если вспомним, что хотя ряд термоэлектрических тел отличается от обычного гальванического порядка (2012), однако он превосходно согласован внутри самого себя. Так, если железо и сурьма образуют друг с другом слабую термопару, а висмут с железом — сильную, то висмут даст сильную пару и с сурьмой. Далее, если электрический ток проходит у нагретого спая от висмута к родию, а также от родия к сурьме, то он гораздо сильнее пойдет у нагретого спая от висмута к сурьме. Чтобы в какой-то мере согласоваться с этим простым и верным соотношением,

серная кислота не должна быть столь энергичной с железом или оловом, не должна быть мало энергична в то же время с серебром, как это имеет место в гальванической цепи, поскольку эти металлы расположены в термическом ряду недалеко друг от друга; она не должна также быть гальванически почти одинаковой по отношению к платине и золоту, поскольку в терморяду они стоят друг от друга весьма далеко.

2062. Наконец, в термоцепи имеется такое отношение к теплу, которое показывает, что для каждого количества развитой электрической силы имеется соответствующее изменение другой силы или рода силы, именно тепла, способного обусловить его. Это показывают взятые совместно опыты Зеебека и Пельтье. Но контактная сила — это сила, которая должна произвести что-то из ничего; впрочем, этот результат теории контакта можно будет лучше показать немного далее (2069, 2071, 2073).

2063. Какое же тогда доказательство простого конкретного возбуждения можно вывести из данных о термоэлектричестве, если, как мы видели, силу приходится относить на счет служившей для опыта кислоты или другого электролита (2060) и если ее приходится не только заставлять неопределенно меняться для каждого металла, но и меняться притом именно в полном соответствии с изменениями химического действия (1874, 1956, 1992, 2006, 2014)?

2064. Сторонники теории контакта считают, видимо, что на защитников химической теории ложится обязанность объяснить явления термоэлектричества. Я не могу понять, какое отношение имеет цепь Зеебека к гальваническому элементу, и думаю, что исследования Беккереля<sup>1</sup> вполне достаточны для того, чтобы считать это заключение обоснованным.

---

<sup>1</sup> Annales de Chimie, 1829, XLI, стр. 355; XLVI, стр. 275.



## ГЛАВА X

*Неправдоподобность предположения о контактной природе силы*

2055. Итак, я представил некоторое количество экспериментальных фактов и вытекающих из них выводов, способных, как мне кажется, содействовать разъяснению спорного вопроса в дополнение к утверждениям и доводам великих людей, которые уже ранее высказывали свои заключения и мнения в пользу химической теории возбуждения в гальваническом элементе и против теории контакта. Я хочу напоследок привести еще один довод, основывающийся на ненаучности, по моему, той силы, с которой связывает эти явления контактная теория.

2056. Теория предполагает (1802), что там, где соприкасаются два различных металла (или вообще тела), разнородные частицы действуют одна на другую и возбуждают противоположные состояния. Я не отрицаю этого, а, напротив, думаю, что такое взаимодействие между смежными частицами имеет место во многих случаях, например, как подготовка к действию в обычных химических явлениях, а также как подготовка к тому акту химического соединения, который в гальванической цепи вызывает ток (1833, 1743).

2067. Но контактная теория исходит из мысли, что эти частицы, которые таким образом, благодаря своему взаимодействию, приобрели противоположные электрические состояния, могут разряжать эти состояния друг на друга, оставаясь, однако, в том же состоянии, в котором они были первоначально, и что все происшедшее оставило их *во всех отношениях* совершенно неизменными. Она предполагает также, что эти частицы, сделавшись благодаря своему взаимодействию положительными или отрицательными, могут, пока находятся под эгим индуктивным действием, передавать свой заряд частицам одинаковой с ними материи и таким образом производить ток.

2068. Это ни в каком отношении не согласуется с известными действиями. Будем говорить о химических явлениях: возьмем два вещества, например кислород и водород; можем себе представить, что их частицы, по одной каждого вещества, помещенные вместе и подвергнутые нагреванию, индуцируют на своих противолежащих поверхностях противоположные состояния, согласно, может быть, взглядам Берцелиуса (1739), и что эти состояния, возбуждаясь все более и более, приводят в конце концов к взаимной разрядке сил, а частицы оказываются вполне соединенными и неспособными к повторению действия. Пока они находятся под индуктивным влиянием и до наступления окончательного действия, они не могут сами собой потерять это состояние, однако, устраняя *причину* этого возросшего индуктивного влияния, именно тепло, можно понизить и самое явление, вплоть до первоначального состояния. Если действующие частицы входят в состав электролита, то они могут производить движение силы (921, 924) пропорционально количеству израсходованной химической силы (868).

2069. Но теория контакта, которая вынуждена в согласии с фактами допускать, что действующие частицы не изменяются (1802, 2067) (потому что иначе это была бы химическая теория), принуждена допустить также, что сила, которая способна заставить две частицы принять известное состояние друг относительно друга, неспособна заставить их *удержать* это состояние; таким образом она отрицает в сущности великий принцип естествознания, который гласит, что причина и следствие равны друг другу (2071). Положим, что частица платины, соприкасаясь с частицей цинка, добровольно отдает часть своего электричества цинку, потому что последний своим присутствием заставляет платину принять отрицательное состояние; спрашивается, почему же частица платины станет брать электричество от какой-либо другой частицы платины, позади себя, раз это будет только способствовать разрушению того самого состояния, к которому

цинк ее только что принудил? Не так происходит дело в случае обычной индукции (а Марианини допускает, что контактное действие может происходить через воздух и через измеримые расстояния<sup>1</sup>); ибо в этом случае шар, сделавшийся благодаря индукции отрицательным, не будет брать электричества от окружающих тел, как бы мы ни нарушали его изоляцию; а если мы станем принуждать электричество войти в него, то оно будет как бы отталкиваться от него с силой, эквивалентной силе индуцирующего тела.

2070. Или предположим лучше, что частица цинка своим индуктивным действием стремится сделать частицу платины положительной, а последняя, находясь в соединении с землей через другие платиновые частицы, заберет с них электричество и таким образом примет положительное состояние; зачем же ей передавать это состояние цинку, тому самому веществу, которое, заставляя платину принять это состояние, должно, конечно, быть способным его поддерживать? И если цинк стремится сделать платиновую частицу положительной, почему электричество не перейдет к платине от цинка, который находится в таком же контакте с ней, как и соседние платиновые частицы? А если частица цинка в контакте с платиной стремится стать положительной, почему электричество не протекает к ней из частиц цинка, находящихся позади нее, так же как из платины?<sup>2</sup> Никакой достаточно правдоподобной или научно обоснованной причины предполагаемого действия не указывается; не дается объяснения, почему не может происходить то или другое из последующих

<sup>1</sup> *Memorie della Società Italiana in Modena*, 1827, XXI, стр. 232, 233 и т. д.

<sup>2</sup> Я рассуждал для простоты таким образом, как будто один металл активен, а другой пассивен при возбуждении этих индуцированных состояний, а не так, как предполагает теория, т. е. что оба они как бы взаимно подчиняются друг другу. Но это не уменьшает силы доводов, тогда как если бы мы попытались дать полное изложение одновременных изменений на обеих сторонах, это затемнило бы возникающие возражения, которые, впрочем, одинаково сильны при любой точке зрения.

явлений, упомянутых выше; и, как я уже много раз говорил, я не знаю ни одного факта, ни одного случая контактного тока, на который теория при отсутствии такой правдоподобной причины могла бы опереться.

2071. В самом деле, контактная теория допускает, что сила, способная преодолеть мощное сопротивление, например сопротивление проводников, хороших или дурных, через которые проходит ток, а также сопротивление электролитического действия, когда последним разлагаются тела, — что эта сила может, будто бы, возникнуть из ничего, что без всякого изменения действующей материи или без расхода какой-либо производящей силы может производиться ток, который будет вечно идти против постоянного сопротивления и может быть остановлен только (как в гальванической ванне) продуктами разрушения, нагромождающимися благодаря его действию на его же собственном пути. Это было бы поистине сотворением *силы*, и это не похоже ни на какую другую силу в природе. Мы имеем много процессов, при которых форма силы может претерпеть такие изменения, что происходит явное *превращение* ее в другую. Так, мы можем превратить химическую силу в электрический ток или ток в химическую силу. Прекрасные опыты Зеебека и Пельтье показывают взаимную превращаемость теплоты и электричества; а опыты Эрстеда и мои собственные показывают взаимную превращаемость электричества и магнетизма. Но ни в одном случае, даже с электрическим угрем и скатом (1790), нет чистого сотворения силы; нет производства силы без соответствующего израсходования чего-либо, что питает ее.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> (Примечание, 20 марта 1840 г.). К сожалению, я не знал раньше об очень важном подтверждении этого философского довода, которое содержится в мнении д-ра Роджета, высказанном в его трактате о гальванизме (в Library of Usefull Knowledge) и датированном январем 1829 г. Д-р Роджет, основываясь на научных фактах, поддерживает химическую теорию возбуждения; то замечательное заявление, которое я хочу привести, содержится в § 113 статьи о гальванизме. Говоря о вольтовой теории контакта, он пишет: «Если для ее опровержения нужны еще

2072. Необходимо всегда помнить, что химическая теория исходит из силы, существование которой доказано, и затем следит за изменениями этой силы, редко прибегая к таким гипотезам, которые не опирались бы на тот или иной соответствующий случаю простой химический факт. Контактная же теория исходит из гипотезы, к которой она добавляет другие, по мере того как этого требуют отдельные факты, вплоть до того, что в конце концов контактная сила перестает быть чем-то устойчивым и неизменным, какой первоначально мыслил ее Вольта, и становится столь же изменчивой, как и сама химическая сила.

2073. Если бы все было иначе, чем оно есть на самом деле, и если бы теория контакта была истинна, тогда, как мне представляется, пришлось бы отвергнуть равенство причины и следствия (2063). Тогда вечное движение также стало бы истиной; и было бы совсем не трудно с помощью первого попавшегося электрического тока, полученного одним контактом, создать электромагнитный прибор, который по сугубо дела давал бы механические эффекты вечно.

*Королевский институт.*

*29 декабря 1839 г.*

какие-либо доводы, то сильное доказательство можно почерпнуть из следующих соображений. Положим, что действительно существует сила, обладающая тем свойством, которое приписывается ей этой гипотезой, а именно способностью непрерывно давать некоторой жидкости импульс в одном и том же направлении, не истощаясь собственным действием. Тогда эта сила существенно отличалась бы от всех других известных сил природы. Когда силы и источники движения, с функционированием которых мы знакомы, производят свойственные им действия, то все они расходуются в прямой пропорциональности к произведенным действиям; и отсюда проистекает невозможность получить в результате их деятельности вечное действие, или, другими словами, вечное движение. Но электродвижущая сила, которую Вольта приписывает металлам, находящимся в контакте, — это такая сила, которая — покуда открыт свободный путь приводимому ею в движение электричеству — никогда не иссякает и, непрестанно возбуждаемая с неумещающей мощностью, дает непрекращающийся эффект. Подобное предположение лишено какого-то бы то ни было вероятия» (*Роджет*).

2074. *Примечание.* В одной из предыдущих работ (925 и сл.) я высказался против мнения, что некоторая часть электричества в гальваническом элементе вызывается соединением окиси цинка с серной кислотой, и утверждал, что, — тут я соглашался с сэром Гемфри Дэви, — кислоты и щелочи не развивают при своем соединении больших количеств электричества, если не являются составными частями электролитов.

Я хотел бы внести поправку: элемент Беккереля является, на мой взгляд, превосходным доказательством того, что при соединении кислоты и щелочи появляется электрический ток.<sup>1</sup>

Я полагаю, что д-р Мор из Кобленца показал, — думается мне, — что из всех кислот одна только азотная может производить электрический ток при своем соединении со щелочами.<sup>2</sup>

Я со своей стороны сделал исключение для гидрокислот (929), из теоретических соображений. Я допустил также, что кислородные кислоты, находясь в растворах, могут давать слабые электрические токи (928 и *примечание*); а Якоби говорит, что в усовершенствованном кислотно-щелочном элементе Беккереля проявляется в виде тока только тридцатая доля всей мощности. Но теперь я хочу сказать следующее: я не думаю, чтобы в гальванической батарее, сила которой зависит от окисления цинка, количество электричества вообще увеличивалось или чтобы на него влияло соединение окиси с кислотой (933, 945), но все же последнего обстоятельства нельзя совсем не принимать во внимание. Исследования г. Даниэля о природе сложных электролитов<sup>3</sup> связывают друг с другом электролизацию соли и ту воду, в которой она растворяется, в такой мере, что почти доказывают существование такой же связи в тех случаях, когда в месте возбуждения гальванической цепи *образуется* соль; и я почти не сомневаюсь в том, что соединенные действия воды, кислот и оснований в батарее Беккереля, в электролизах Даниэля и на цинке в обычном действующем элементе в принципе тесно связаны друг с другом.

---

<sup>1</sup> Bibliothèque Universelle, 1838, XIV, стр. 129, 171, Comptes Rendus, I, стр. 455; Annales de Chimie, 1827, XXXV, стр. 122.

<sup>2</sup> Philosophical Magazine, 1838, XIII, стр. 382; или Poggendorf's Annalen, XLII, стр. 76.

<sup>3</sup> Philosophical Transactions, 1839, стр. 97.

---

# ВОСЕМНАДЦАТАЯ СЕРИЯ

---

*Раздел 25. Об электричестве, развивающемся при трении воды и пара о другие тела.*

Поступило 26 января. Доложено 2 февраля 1843 г.

## РАЗДЕЛ 25

### Об электричестве, развивающемся при трении воды и пара о другие тела

2075. Два года тому назад г. Армстронг и др.<sup>1</sup> описали опыт, который показывал, что при выходе на воздух струи пара под высоким давлением обильно производится электричество. Источник электричества установлен не был. Но было предположено, что явление вызывается испарением или переменой состояния воды, и что оно имеет прямое отношение к атмосферному электричеству. С мая последнего года, в различные периоды времени, я работал над этим вопросом, и хоть вижу, что г. Армстронг в недавних своих сообщениях опередил меня, опубликовав некоторые результаты, полученные и мною, однако Королевское общество сочтет все же, может быть, достойным своего внимания краткий отчет о моих результатах и выводах, которые затрагивают еще много других важных вопросов.

2076. Прибор, которым я пользовался, не мог давать мне больших количеств пара или высокого давления, но я счел его достаточным для моей задачи; таковой являлось иссле-

---

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1840, XVII, стр. 370, 452 и др.

дование явления и его причины, а вовсе не увеличение электрической отдачи. Г-ну Армстронгу, как это видно из его недавней статьи, хорошо удалось последнее.<sup>1</sup> Кипятильник, которым я пользовался, принадлежал Лондонскому институту; он вмещал около десяти галлонов воды и допускал испарение пяти галлонов. К нему была приделана трубка длиной в четыре с половиной фута, на конце которой был большой кран и металлический шар (рис. 169) емкостью в тридцать два кубических дюйма; я буду называть его

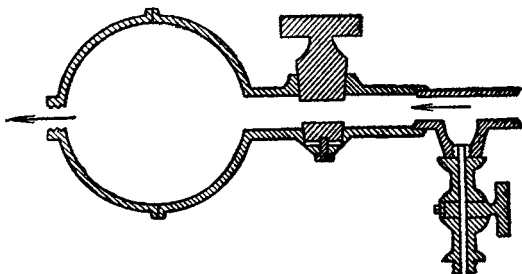


Рис. 169. Паровой шар (2076), главный паровой кран и отводной кран для выпуска воды, сконденсировавшейся в трубке. Струя пара и т. д. проходит по направлению стрелки.

*паровым шаром*; к нему при посредстве патрубков можно было присоединять различного рода приборы, дававшие выход выделявшемуся пару.<sup>2</sup> Так, к паровому шару можно было прикрепить кран, служивший экспериментальным выводом для пара; или в него можно было ввинтить деревянную трубку или хорошую пробку, а в последнюю вставить небольшую металлическую или стеклянную трубку (рис. 174). В этих случаях паропровод шара и трубка, ведущая к кипятильнику, были так широки, что их можно было рассматривать как часть кипятильника, а упомянутые выпускные

<sup>1</sup> Philosophical Magazine, 1843, XXII, стр. 1

<sup>2</sup> Этот шар и части прибора представлены [на рисунках] в масштабе одна четверть.



приспособления — как препятствия, которые, задерживая выход пара, создавали более или менее значительное трение.

2077. Другая выпускная часть состояла из металлической трубки с металлической воронкой на конце и конуса, вдвигавшегося в воронку при помощи винта то более, то менее, с тем чтобы пар, вырываясь наружу, ударялся о конус (рис. 170). Конус мог быть либо электрически соединен с воронкой и кипятильником, либо изолирован.



Рис. 170. Конусный прибор (2077), одна из его форм. Конус можно было двигать вперед и удалять посредством нарезанной головки и винта.

2078. Другой наконечник состоял из трубки с краном и питательной трубкой, прикрепленной к верхней ее части — с помощью этого наконечника можно было вводить любую жидкость в проход, из которого она затем захватывалась паром (рис. 171).

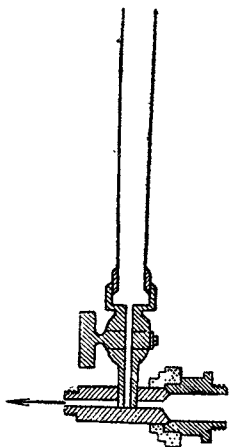


Рис. 171. Питательный прибор (2078). Питателем служили стеклянная трубка или голая реторта, вставленные на пробке в головку питательного крана. Другие приборы, показанные на рис. 170, 173, 174, можно было присоединять к данному прибору при помощи соединительной части.

2079. В последнем наконечнике была построена небольшая цилиндрическая камера (рис. 172), в которую можно было вводить различные жидкости, так что, когда краны были открыты, пар, выходящий из паро-

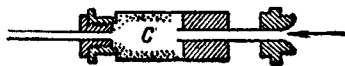


Рис. 172. Камера С (2079), присоединяемая на пробке к металлической трубе, предварительно ввинченной в паровой шаб; снабжена металлической трубкой и регулирующей частью, которые ввинчены в ее отверстие. Другие части, как конус (рис. 2) или деревянные, или стеклянные трубки (рис. 5, 6), можно было соединять с этой камерой.

вого шара (2076), попадал в эту камеру и захватывал с собой то, что в ней находилось; дальше все вместе попадало к вы-

ходу или к конусу (2077), смотря по тому, как был скомбинирован прибор. Эту небольшую камеру я буду всегда называть камерой С.

2080. Я работал с давлением пара от восьми до тринадцати дюймов ртути, т. е. около двух пятых атмосферы, не выше.

2081. Кипятильник был изолирован на трех небольших брусках из шеллака, а дымоход присоединялся при помощи воронкообразной трубки, которую можно было по желанию убирать. Топливом служили кокс и древесный уголь; изоляция была настолько хороша, что если я намеренно заряжал кипятильник и присоединял его к электрометру с золотыми листками, то расхождение листков не изменялось ни при наличии большого огня, ни при обильном отходе продуктов сгорания.

2082. Если выходящий пар возбуждает электричество, то есть два способа изучать это явление: можно наблюдать либо за изолированным кипятильником, либо за паром, но их состояния всегда противоположны друг другу. Я присоединял к кипятильнику как электрометр с золотыми листками, так и разрядный электрометр. Первый отмечал наличие заряда, недостаточного для искры, а второй — по числу искр в данный промежуток времени — производил измерение образующегося электричества. Для того чтобы наблюдать состояние пара, можно либо прогонять его через широкую изолированную трубку, в которой находится несколько перегородок из проволочной сетки, служащих для разрядки пара, либо направлять клубы пара ближе к электрометру, на который он действует через индукцию; либо класть на его пути проволоки и пластинки из проводящего материала и таким образом разряжать его. Изучать состояние кипятильника или вещества, у которого пар возбуждается, гораздо удобнее, как заметил г. Армстронг, чем гоняться за электричеством в самом паре; в этой статье, во всех случаях, не оговоренных особо, я буду описывать состояние первого.

2083. Переходя к причине возбуждения, я прежде всего должен заявить, что оно, как я убедился, не вызывается ни испарением, ни конденсацией: ни то, ни другое на него не влияет. Пусть в некоторый момент пар достиг полного давления; если внезапно поднять и вынуть клапаны, в кипятильнике не возбуждается электричества, хоть испарение становится временно очень большим. Далее, если зарядить кипятильник от натертой смолы, а затем открыть клапан, открытие клапана и последующее испарение не оказывают на этот заряд никакого влияния. Я научился устраивать выводные отверстия для пара так, что они давали его в любом состоянии: в положительном, отрицательном или нейтральном (2102, 2110, 2117); присоединяя их к паропроводу, я по желанию мог делать кипятильник тоже либо положительным, либо отрицательным, либо нейтральным при том же паре и при том же испарении. Таким образом ясно, что возбуждение электричества не зависит от испарения или от изменения состояния.

2084. Выход *одного пара* недостаточен для развития электричества.<sup>1</sup> Чтобы иллюстрировать это, я могу сказать, что прибор с конусом (2077) является прекрасным возбудителем: а также и трубка из буксового дерева (2102, рис. 173), смоченная водой и ввинченная в паровой шар. Если при наличии одного из этих приспособлений паровой шар (рис. 169) не будет содержать воды и потому будет улавливать и задерживать ту воду, которая конденсируется из пара, тогда, после первого момента (2089) и пока прибор горяч, выходящий пар не будет возбуждать электричества; но когда паровой шар полон настолько, что остаток конденсирующейся воды увлекается вместе с паром, электричество



Рис. 173. Трубка из буксового дерева (2102).

<sup>1</sup> Г-н Армстронг тоже установил, что для большого выхода электричества существенна вода. *Philosophical Magazine*, XXII, стр. 2.

появляется в избытке. Если затем вылить воду из шара, электричество прекращается; но если наполнить шар до нужной высоты, оно немедленно появляется в полной силе. Так, при применении питательного прибора (2078), пока в проходной трубе не было воды, не было и электричества; но, если пустить в нее воду из питателя, электричество немедленно возбуждается.

2085. Электричество вызывается всецело трением увлекаемых паром частиц воды об окружающее твердое вещество прохода или о то, которое, как конус (2077), нарочно поставлено на их пути, и по своей природе такое электричество подобно тому, какое встречаем в любом, самом обыкновенном случае возбуждения трением. Как будет показано впоследствии (2130, 2132), очень малое количество воды может произвести весьма ощутимое количество электричества, если она надлежащим образом трется о препятствующее ему или поставленное на его пути тело.

2086. Из многих обстоятельств, влияющих на такое выделение электричества, имеются одно или два, о которых я должен здесь упомянуть. Повышение давления (как хорошо показано опытами г. Армстронга) сильно увеличивает действие — просто потому, что от этого возрастает сила трения между двумя возбуждающимися веществами. Повышение давления иногда изменяет положительную силу выходного приспособления



Рис. 174. Стекла́нная или тонкая металличе́ская труба (2076), присоеди́няемая на пробке к отверстию в паровом шаре.

на отрицательную — не потому, что оно само по себе обладает способностью изменять качество этого приспособления, но, как увидим вскоре (2108), по другой причине: оно отводит то, что давало положительную силу; никаким увеличением давления, насколько я мог заметить, невозможно изменить отрицательную силу данного приспособления на положительную. В других явлениях, которые будут описаны далее (2090, 2105), увеличение давления,

несомненно, будет иметь свое влияние; и действие, уменьшенное или даже уничтоженное (как, например, добавлением веществ к воде в паровом шаре или к выходящему потоку воды и пара) путем увеличения давления, может быть, без сомнения, снова возбуждено и усилено.

2087. Вид и форма возбуждающего проходного приспособления оказывают сильное влияние, так как в большей или меньшей степени способствуют контакту и последующему отрыву частиц воды от твердого вещества, о которое они трутся.

2088. При своем прохождении через трубку или кран (2076) смесь воды и пара может, выходя, издавать либо свистящий и мягкий, либо хриплый и резкий звук;<sup>1</sup> при конусном приспособлении (2077, рис. 170) и при трубке определенной длины чередование этих звуков происходит внезапно. При мягком звуке возбуждается мало электричества или его не возбуждается вовсе, а при хрилом звуке — очень много. Неравномерное, резкое колебание, сопровождаемое хриплым звуком, гораздо сильнее и эффективнее ударяет воду о вещество прохода и вызывает лучшее возбуждение. Я превратил конец прохода в паровой свисток, но это не принесло пользы.

2089. Если в паровом шаре нет воды (2076), то при открытии парового крана возникает весьма явно выраженный *первичный эффект*; происходит хорошее возбуждение электричества, но оно вскоре прекращается. Оно вызывается водой, сконденсированной в холодных проходах; от ее трения о последние и происходит возбуждение. Так, если проходом служит кран, то, пока он холоден, он возбуждает электричество, и может показаться, что это производится одним только паром; но если его нагреть, выделение электричества прекращается. Если затем, пока через кран выходит пар,

---

<sup>1</sup> Г-да Армстронг и Шафгейтль оба заметили совпадение между определенными звуками или шумами и развитием электричества.

его охладить изолированной струей воды, он вновь приобретает свою силу. Если же, с другой стороны, перед впуском пара он будет нагрет спиртовкой, начального действия не получится. На этом принципе я построил возбуждающий проход, окружив одну часть выходной трубки небольшим резервуаром и наполняя его винным спиртом или водой.

2090. Итак, мы находим, что когда струя пара заставляет частицы воды тереться о посторонние тела, они развивают электричество. Однако для этого необходима не просто вода, а вода *чистая*. При работе с питательным прибором (2078), который подавал трущуюся воду внутрь прохода для пара, я нашел, как сказано было раньше, что одним только паром электричества не добыть. При впуске дистиллированной воды электричество появлялось в изобилии. Если же кинуть в воду кристаллик сульфата натрия или обыкновенной поваренной соли, выделение электричества прекращается совершенно. Но если вновь взять дистиллированную воду, электричество опять появляется; при пользовании обыкновенной водой, которой снабжается Лондон, оказалось, что она не способна производить электричество.

2091. Далее, паровой шар (2076) и трубка из буксового дерева (2102) возбуждают хорошо, если пропускать перетоняемую из кипятивника воду вместе с паром; но когда я клал в паровой шар с водой маленький кристаллик сульфата натрия, простой соли или селитры или же вводил туда самую малую каплю серной кислоты, прибор совершенно переставал действовать и никакого электричества возбуждать не удавалось. По удалении такой воды и при замене ее дистиллированной водой, возбуждение опять становилось превосходным; при добавлении очень малого количества любого из вышеуказанных веществ оно прекращалось; но оно возобновлялось по введении вновь чистой воды.

2092. Простая вода в паровом шаре была неспособна к возбуждению. Небольшое количество едкого кали, добавленного к дистиллированной воде, отнимало у нее всю силу; совершенно так же действовало добавление *любого* из тех солевых или других веществ, которые придают воде проводимость.

2093. Явление, очевидно, обусловлено водой, которая становится настолько хорошим проводником, что при ее трении о металл или о другое тело, развившееся электричество может немедленно снова разряжаться, — точно так, как если бы мы попытались возбуждать шеллак или серу не сухой, а влажной фланелью. Это ясно показывает, что возбуждающий эффект, когда он происходит, обусловлен водой, а не проходящим паром.

2094. Так как аммиак увеличивает проводящую способность воды лишь в слабой степени (554), то я заключил, что и в настоящем случае он не будет отнимать у нее возбуждающую силу; соответственно, при введении его в небольшом количестве в чистую воду в шаре, электричество продолжало развиваться несмотря на то, что струя пара и воды была способна окрашивать смоченную куркумовую бумажку. Но добавление очень небольшого количества разведенной серной кислоты, образуя сульфат аммония, отнимало всю силу.

2095. Когда в одном из этих случаев паровой шар содержал воду, которая не могла возбуждать электричества, было интересно наблюдать, как после открытия крана, вставленного в паровую трубку перед паровым шаром (рис. 169) (назначением крана был отвод воды, сконденсировавшейся в трубке, до проникновения ее в паровой шар), электричество тотчас же начинало развиваться, однако стоило пару пройти всего несколько дюймов, как он оказывался совершенно бессильным вследствие небольшого изменения в качестве воды, поверх которой он проходил и которую захватывал с собой.

2096. Когда в качестве возбуждающего прохода служила деревянная или металлическая труба (2076), смачивание раствором солей наружной поверхности и конца трубы ни в какой степени не влияло на возбуждение. Но когда для той же цели служил деревянный конус (2077), смоченный растворами, то при начале впуска пара не возникало возбуждения, и только после того, как раствор оказывался смыт, способность появлялась вновь, достигая вскоре своей полной меры.

---

2097. Установив эти положения касательно необходимого участия воды и ее чистоты, надлежало прежде всего исследовать влияние вещества, о которое трется струя пара и воды. Для этой цели я вначале пользовался конусом (2077) из различных материалов, либо изолированных, либо нет, причем нижеследующие, а именно: латунь, буксовое дерево, буковое дерево, слоновая кость, полотно, казмир, белый шелк, сера, каучук, клеенка, лакированная кожа, плавленые каучук и смола, — все становились отрицательными, заставляя поток пара и воды становиться положительным. Ткани натягивались на деревянные конуса. Расплавленный каучук намазывался на всю поверхность буксового или полотняного конуса, а смоляной конус был сделан из полотняного конуса, для чего последний погружался в крепкий раствор смолы в спирту, а затем высушивался. Деревянный конус, погруженный в скипидар, другой конус, смоченный оливковым маслом, и латунный конус, покрытый спиртовым раствором смолы и высушенный, вначале не действовали, а затем постепенно становились отрицательными, и при этом оказывалось, что скипидарное масло, оливковое масло и смола были совершенно унесены с участков, о которые ударялась струя пара и воды. Конус из казмира, который погружался в спиртовой раствор смолы и высушивался последовательно два или три раза, действовал весьма неправильно, становясь то положительным, то отрицательным;



на первый взгляд это трудно объяснимо, но в дальнейшем станет вполне понятно (2113).

2098. Конец палочки из шеллака был на мгновение сунут в струю пара, а затем поднесен к электрометру с золотыми листками; он оказался заряженным отрицательно — совершенно так же, как при натирании его куском фланели. Угол пластинки из серы дал при испытании этим же способом такое же явление и такое же состояние.

2099. Другой способ испытания натираемых веществ состоял в том, чтобы их в виде проволок, нитей или обрезков держать при помощи изолированной рукоятки в струе, присоединив их в то же время к электрометру с золотыми листками. Таким путем были испытаны следующие вещества:

платина,	конский волос,	древесный уголь,
медь,	медвежья шерсть,	азбест,
железо,	флинтглас,	цианит,
цинк,	зеленое стекло,	красный железняк,
сернистая медь,	птичье перо,	горный хрусталь,
полотно,	слоновая кость,	аурипигмент,
хлопок,	шеллак на шелке,	сульфат бария,
шелк,	сера на шелке,	сульфат извести,
шерсть,	сера в кусках,	карбонат извести,
дерево,	графит,	плавиковый шпат.

Все эти вещества становились отрицательными, хоть и не в одинаковой степени. Это видимое различие в степени зависит не *только* от специфической склонности становиться отрицательным, но также от проводящей способности самого тела, благодаря которой оно передает заряд электрометру, от его склонности становиться влажным (которая весьма различна, например, у шеллака и у птичьего пера или у стекла и у полотна), что влияет на его проводящую способность, а также от его размера и формы. Тем не менее я мог различить, что медвежья шерсть, птичье перо и

слоновая кость обладали по сравнению с другими веществами очень слабой способностью возбуждать электричество.

2100. Могу поделиться здесь одним или двумя наблюдениями относительно введения тел в струю. Во избежание конденсации на веществе, я при помощи изолированной гальванической батареи накалил добела платиновую проволоку и ввел ее в струю: температура ее была быстро понижена струей пара и воды до  $212^{\circ}$ , но, конечно, никак не могла спуститься ниже точки кипения. Никакой разницы между действием в первый момент введения и в последующие моменты заметно не было. Проволока во всех случаях мгновенно электризовалась и притом отрицательно.

2101. Нити, которыми я пользовался, были натянуты на вилках из жесткой проволоки, и в струю пара вводилась середина нити. В этом случае струна или нить, если держать ее точно посредине струи и смотреть на нее вдоль по направлению нити, оказывалась в покое, но если ее чуть-чуть сместить вправо или влево от оси струи, она (весьма естественно) начинала дрожать или, вернее, вертеться, описывая прекрасный круг, которому ось потока служила касательной; интересно было наблюдать, что, когда нить вертелась, как бы путешествуя вместе с потоком, электричество развивалось слабо или его совсем не развивалось, но когда нить была почти или совсем неподвижна, появлялось большое количество электричества, иллюстрируя таким образом действие трения.

2102. Различие в качестве вышеописанных веществ (2099) дает ценные возможности для различных установок у струи. Так, если для выхода пара взять металлическую, стеклянную или деревянную трубку<sup>1</sup> (2076), то кипятильник станет резко отрицательным, а пар — сильно положительным. Но если взять полое гусиное перо или, еще лучше, трубку из

<sup>1</sup> Трубка буксового дерева длиной в три дюйма при внутреннем диаметре в одну пятую дюйма, хорошо смоченная дистиллированной водой и ввинченная в паровой шар, является великолепным возбудителем

слоновой кости, то кипяtilьник почти не получит заряда и поток пара будет тоже находиться в нейтральном состоянии. Этот результат полезен не только как доказательство того, что электричество происходит не от испарения; он весьма ценен также и для экспериментальной практики. Именно в такой нейтральной струе пара и воды было получено описанное выше (2099) возбуждение тел.

2103. Вещества поэтому можно держать либо в нейтральной струе у горла трубки из слоновой кости, либо в положительной струе у горла деревянной или металлической трубки. В последнем случае происходили явления, которые, если не разобраться в них, привели бы к большой путанице. Так, изолированную проволоку ставили в потоке, выходящем из стеклянной или металлической трубки, примерно на расстоянии в полдюйма от ее горла, и она оказалась не возбужденной; при небольшом перемещении ее в направлении от трубки она становилась положительной, при противоположном перемещении, т. е. при приближении к трубке, она становилась отрицательной. Это происходило просто потому, что, находясь вблизи трубки, в сильной струе, она возбуждалась и становилась отрицательной, делая пар и воду более положительными, чем раньше. Но когда она была отодвинута дальше, в более спокойную часть потока, она действовала исключительно как разрядник электричества, возбужденного в выводной трубке, и оказывалась в одинаковом с последней состоянии. Платину, медь, струну, шелк, дерево, графит и вообще каждое из веществ, указанных выше (2099), за исключением пера, слоновой кости и медвежьей шерсти, можно было таким путем заставить принять либо то, либо другое состояние, в зависимости от того, как ими пользоваться: как возбуждителями или как разрядниками; при этом различие определяется их местом в потоке. Кусок тонкой проволочной сетки, поставленный поперек выходящей струи, прекрасно выясняет вышеописанное явление: разница в одну восьмую дюйма в ту

или другую сторону от нейтрального положения изменяет состояние сетки.

2104. Если пользоваться не возбуждающей струей пара и воды (2103), а струей в нейтральном состоянии, выходящей из трубки слоновой кости (2102), то уже нельзя заставить проволоки и др. принимать оба состояния. Их можно возбуждать и делать отрицательными (2099), но ни на каком расстоянии они не могут стать разрядителями или проявлять положительное состояние.

2105. Мы уже видели, что присутствие весьма малого количества вещества, способного придать воде проводящую способность, отнимало у нее всякую способность к возбуждению (2090 и сл.), вплоть до самой высшей степени давления, т. е. механического трения, которое я применял (2086); теперь надо было установить, будет ли это справедливо для всех тел, натираемых потоком, и не будет ли при этом обнаруживаться количественных различий. Поэтому я снова подверг все эти тела испытанию; при этом один раз я прибавил около двух гранов сульфата натрия к четырем унциям воды, которые постоянно содержались в паровом шаре при регулярной работе, а в другой раз — менее одной четверти этого количества серной кислоты (2091). И в том и в другом случаях все вещества (2099) оставались совершенно невозбужденными и нейтральными. Очень возможно, что сильное увеличение давления могло бы произвести некоторое действие (2086).

2106. Я пользовался трубками и конусами из цинка с разведенной серной кислотой от самой слабой до значительной кислотности, но не мог получить ни следа электричества. Таким образом химическое действие, повидимому, совсем не причастно к возбуждению электричества струей пара.

2107. Описав таким образом опыты над трением пара и воды о большое количество тел, я могу здесь отметить то замечательное обстоятельство, что вода положительна по отношению ко всем этим телам. Вполне возможно, что ее

место окажется выше всех других веществ, даже кошачьей шерсти и оксалата извести (2131). Мы найдем в дальнейшем, что обладаем возможностью не только помешать струе пара и воды стать положительной, как, например, при пользовании трубкой из слоновой кости (2102), но и понизить ее собственную силу, пропуская ее через такие вещества, как дерево, металл, стекло и т. д., или около них. Удастся ли нам при такой ослабленной струе найти среди тел, названных выше (2099), такие, которые могут сделать струю положительной, и другие, которые могут сделать ее отрицательной,— это вопрос, еще ждущий ответа.

2108. При дальнейшем исследовании надо было установить, как будут вести себя другие тела, кроме воды, если их частицы будут увлекаться струей пара. С этой целью был установлен питательный аппарат (2078), который был заполнен скипидаром; последний можно было по желанию впускать в выходной проход для пара. Вначале питательный кран был закрыт и выходящий пар с водой давали кипятивнику отрицательный заряд. При впуске скипидара это положение мгновенно менялось, кипятивник становился сильно положительным, а струя пара и т. д. — столь же сильно отрицательной. При прекращении доступа скипидара это состояние постепенно спадало, и через полминуты паровой котел становился отрицательным, как прежде. Введение следующей порции скипидара мгновенно делало его положительным, и т. д.; явления вполне следовали желанию экспериментатора.

2109. При удалении питательного аппарата и при работе с одним только паровым шаром и деревянной выходной трубкой (2076) получался тот же прекрасный результат. Когда в шаре находилась чистая вода, кипятивник был отрицателен, а выходящий пар и т. д. — положителен; но при введении в паровой шар с водой одной-двух капель скипидара кипятивник мгновенно делался положительным, а выходящий поток — отрицательным. При употреблении

небольшой промежуточной камеры С (2079) результаты оставались столь же определенными. Кусок чистой новой парусины был скручен в кольцо, смочен скипидаром и помещен в камеру; до тех пор, пока след жидкости оставался в камере, кипятильник был положителен, а выходящий поток — отрицателен.

2110. Таким образом положительное или отрицательное состояние может быть по желанию придано либо натираемому веществу, либо натирающему потоку. Что касается этого вещества, т. е. скипидара, то он быстро и полностью рассеивается, если продолжать прохождение пара; вследствие этого новое действие вскоре прекращается, но восстановить его можно в одно мгновение.

2111. С оливковым маслом характер наблюдаемых явлений был таков же, т. е. оно делало поток пара и т. д. *отрицательными*, а натираемые ими вещества — *положительными*. Но из-за сравнительно малой летучести масла состояние было гораздо более устойчивым, и весьма малое количество масла, введенного в паровой шар (2076) или в камеру С (2079), или в выходную трубу, делало кипятильник положительным на долгое время. Требовалось, однако, располагать это масло в таком месте, чтобы струя пара, пройдя через него, терлась затем о другое вещество. Так, если опыт делался с деревянной трубкой (2076, 2102) в качестве возбудителя и масло вводилось в ее внутренний конец, т. е. в тот, через который в нее входил пар, то трубка становилась положительной, а выходящий пар — отрицательным; но если масло вводилось во внешний конец трубки, то она сохраняла свое обычное отрицательное состояние, как и с чистой водой, а выходящий пар был положителен.

2112. Вода существенна при таком возбуждении нелетучим маслом, потому что, когда в паровом шаре не было воды, но в нем и в проходе все же оставалось масло, возбуждения не было. Правда, вначале (2089) возбуждение наблюдалось и делало кипятильник положительным, но это

происходило от совместного действия воды, осевшей в проходе, и масла. Позднее, когда все прогрелось, выделения электричества не наблюдалось.

2113. Я испробовал много других веществ с камерой С и с приборами другого вида; местом возбуждения и веществом, производившим возбуждение струи пара, была влажная деревянная трубка (2102). Свиной жир, спермацет, пчелиный воск, касторовое масло, смола в спиртовом растворе, — все они в соединении с оливковым маслом, скипидаром и лавровым маслом делали кипятыльник положительным, а выходящий пар отрицательным. Из веществ, которые, повидимому, обладали противоположным свойством, вряд ли какое-либо было сильнее воды. Иногда казалось, что сероуглерод, нафталин, сера, камфора и плавленый каучук оказывались веществами, резко противоположными указанным выше, так как они делали кипятыльник сильно отрицательным, но если сразу же после них испытать воду, то оказывалось, что она делает то же и с меньшей силой. Некоторые из последних веществ иногда давали изменчивые результаты с керосином, нефтью и каучуком, и создавалось впечатление, что это имеет причиной какие-то непостоянные и сложные явления. На деле же легко понять, что вещество либо прилипнет к натираемому телу, либо будет увлекаться проходящим потоком; в зависимости от этого оно изменит свое механическое действие; ибо будет то натираемым телом, то натирающим; оно будет давать и различные действия, как было, мне кажется, в случае конуса и смолы, о котором упоминалось выше (2097).

2114. Действие солей, кислот и т. д., которые, присутствуя в воде, разрушают ее действия, я уже описывал (2090 и сл.). В дополнение я могу заметить, что серный эфир, пироксильный спирт и борная кислота действовали так же.

2115. Спирт в первую минуту, казалось, делал кипятыльник положительным. Спирт, разбавленный наполовину водой,

делал кипятильник отрицательным, но в гораздо меньшей степени, чем чистая вода.

2116. Следует учесть, что вещество, обладающее свойствами, противоположными воде, но в значительно меньшей степени, может проявлять эти свойства в виде одного только ослабления свойств воды. Такое ослабление резко отличается по своей причине от того, которое зависит от увеличения проводимости воды, например солями (2090), но внешнее проявление обоих будет одинаково.

2117. Если требуется сделать выходящую струю постоянно отрицательной, то этого легко достигнуть. Небольшое количество масла или воска, введенное в паровой шар (2076), или толстое кольцо из веревки или парусины, пропитанное воском или раствором смолы в спирту и вставленное в камеру *C* (2079), сделают все, что требуется. Пользуясь этим приемом сильнее или слабее, легко нейтрализовать силу воды так, чтобы выходящая струя пара не была наэлектризована и не электризовала того тела, о которое она трется.

2118. Итак, мы нашли три способа сделать струю пара с водой нейтральной, а именно: употребление трубки из слоновой кости или пера (2102), присутствие веществ в воде (2090 и сл.) и нейтрализация ее естественной способности противоположной силой масла, смолы и т. д. и т. д.

2119. В опытах, подобных описанным, опасно пользоваться трубкой из слоновой кости с кислотами и щелочами в паровом шаре, потому что они своим химическим действием на вещество трубки, выделяя, например, или растворяя ее маслянистое вещество, меняют ее состояние и делают очень непостоянной ее особую способность к возбуждению. Разные другие условия тоже иногда сильно влияют на нее (2144).

2120. Незначительное количество масла в проходах, подвергающихся трению, оказывает сильное влияние, и это служило вначале источником больших затруднений, постоянно давая неожиданные результаты; небольшая порция



его может по неделям скрываться в нарезке ни в чем не подозреваемого винта и, однако, будет достаточна для того, чтобы испортить результаты всех опытных установок. Обработка и промывка слабым раствором щелочи и устранение всяких протирок, загрязненных маслом, — вот лучший способ избежать подобного зла в этих тонких опытах. Я случайно нашел, что один проход, который упорно оставался слабо отрицательным от небольшого количества расплавленного каучука или положительным от масла, смолы и т. д., можно было вполне очистить, продувая через него скипидар; на некоторое время он принимал положительное состояние, но после того как струя пара убирала это последнее (2110), проход оказывался вполне чистым и исправным и приходил в свое нормальное состояние.

2121. Далее я испытал действие масла и т. д. в том случае, когда к воде в паровом шаре было добавлено небольшое количество соли или кислоты (2090 и сл.), и нашел, что если вода находилась в таком состоянии, когда она не имеет своей собственной силы, то скипидар, масло или смола в камере *C* проявляли свое свойство делать в соединении с такой водой кипятыльник положительным, но сила их оказывалась пониженной: повышение силы пара, как и во всех других случаях, без сомнения, повысило бы ее вновь. Если в паровом шаре находилась щелочь, масло и смола теряли большую часть своей силы, а скипидар — очень малую. Этот факт будет важен для дальнейшего (2126).

2122. Мы видели, что действие таких тел, как масло, при введении их в струю пара изменяло ее силу (2108), и только опытным путем мы могли устанавливать, достаточно ли велико это изменение для того, чтобы переменить электричество у некоторых или многих из тел, о которые терся поток пара. С оливковым маслом в камере *C* все ранее перечисленные изолированные конусы (2097) становились положительными. С уксусной кислотой в паровом шаре все

становилось нейтральным (2091). Со смолой в камере С (2113) все вещества предыдущего списка (2099) без единого исключения делались положительными.

2123. Итак, масло, скипидар, смола и т. д., находясь в очень малых количествах, способны изменять возбуждающую силу воды, хотя некоторые из них (2112) совсем неактивны без воды; да будет мне дозволено высказать несколько теоретических соображений о способе их действия. Прежде всего, повидимому, один пар не может возбуждать электричества трением, но мельчайшие капельки воды, которые он несет с собой, ударяются о натираемое тело (2085), трутся о него и отрываются от него и тем самым возбуждают его, возбуждаются сами, подобно тому, как это происходит при трении рукой о стержень из шеплака; когда присутствует оливковое масло или скипидар, то эти капельки, мне кажется, фактически превращаются в капельки из этих веществ, и тогда уже не вода, а новые жидкости трутся о натираемые тела.

2124. Основания для подобного мнения таковы: если к поверхности воды прикоснуться деревянной лучинкой, смоченной в оливковом масле или скипидаре, то пленка из этого вещества моментально устремляется на поверхность воды и распространяется по ней. Значит, почти наверное, каждая капля воды, проходя через камеру С, содержащую оливковое масло или скипидар, покрывается пленкой. Далее, если металлическую, деревянную или другую чашку весов *хорошо вычистить и смочить* водой и затем наложить на поверхность чистой воды, налитой на блюдо, а другую чашку нагрузить так, чтобы она почти, но все же не совсем, могла оторвать первую чашку от воды, то это дает грубую меру силы прилипания воды. Если затем промасленной деревянной щепкой дотронуться до поверхности воды в любом месте на блюде, масло не только распространится по всей поверхности, но и заставит чашку оторваться от воды,

а если чашку опустить вновь, то вода на блюде уже не сможет больше удерживать ее. Отсюда видно, что масло позволяет производить разъединение воды на части при помощи такой механической силы, которой иначе было бы недостаточно, и что оно обтягивает эти части пленкой из своего вещества.

2125. Все это в значительной мере должно происходить и в паровом проходе: каждая частица воды должна покрываться там пленкой из масла. Возражением против такого предположения не может служить то, что пленка очень тонка, потому что действие возбуждения, несомненно, происходит на поверхности, где мы предполагаем наличие пленки, и такая капля, хотя она почти целиком состоит из воды, может действовать точно так, как масляный шарик; своим трением она будет делать дерево и т. д. положительным, а сама будет становиться отрицательной.

2126. Итак, вода, которую небольшое количество соли или кислоты сделало неспособной к действию, все же способна проявлять действие масляной пленки (2121), прилипшей к ней; это вполне согласуется с изложенным взглядом. То же можно сказать и про следующий, еще более поразительный факт: подщелоченная вода (2092), не имея собственной силы, глубоко поражает силу оливкового масла или смолы, но едва затрагивает силу скипидара (2121), потому что оливковое масло и смола будут в ней растворяться, и оттого не будут больше в состоянии образовать на ней пленку, а скипидар, наоборот, сохранит способность образовать пленку.

2127. То, что смола производит сильное действие, а сера нет, тоже понятно, потому что смола, как я установил, плавится в горячей кипящей воде и действует на весы (2124) так же, как масло, хотя медленнее; но сера не может этого сделать, так как ее точка плавления слишком высока.

2128. Вполне вероятно, что когда о дерево, стекло и даже о металл трется такой маслянистый поток, можно

считать, что масло трется не просто о дерево и т. д., но и о воду, которая теперь оказывается на положении натираемого тела. В этих условиях вода гораздо сильнее притягивается к натираемому дереву, чем масло, потому что в потоке пара холст, дерево и т. д., которые раньше тщательно и долго пропитывались маслом, быстро теряют его и оказываются насыщенными водой. В этом случае результатом будет усиление положительного состояния натираемого вещества и отрицательного состояния выходящей струи.

2129. Таким образом, опыты с паром привели меня к выводу, что пар не действует сам по себе, а просто служит механическим средством, увлекающим вместе с собой трущиеся частицы; тогда я перешел к опытам со сжатым воздухом.<sup>1</sup> Для этой цели я воспользовался медным ящиком емкостью в сорок шесть кубических дюймов, с двумя кранами; через один из них всегда нагнетался воздух, а другой служил выходным отверстием. Ящик был очень тщательно вычищен едким кали. Были приняты (это и требовалось) чрезвычайные предосторожности, чтобы удалить и избежать масла, воска или смолы около выходного отверстия. Воздух вгонялся в ящик нагнетательным насосом, а в некоторых случаях, когда мне требовался сухой воздух, в ящик закладывалось четыре или пять унций литого едкого кали в палочках; сжатый воздух оставлялся в соприкосновении с ним на десять-пятнадцать минут. Среднее количество воздуха, которое выпускалось и потреблялось за одну подачу, составляло сто пятьдесят кубических дюймов. Очень трудно было отнять у этого воздуха запах масла, который он приобретал при прокачивании через нагнетательный насос.

2130. Сначала я буду говорить о невысушенном обычном воздухе: если такой сжатый воздух внезапно выпустить на-

<sup>1</sup> Г-н Армстронг тоже применял воздух и в значительно больших количествах: *Philosophical Magazine*, 1841, XVIII, стр. 133, 328.

встречу латунному или деревянному конусу (2077), он делает его отрицательным, совершенно так же, как это делали пар и вода (2097). Я приписывал это частицам воды, которые внезапно конденсировались из расширявшегося и охлаждавшегося воздуха и терлись о металл или дерево: такие частицы были хорошо заметны в виде появлявшегося тумана; они вызывали также увлажнение поверхности дерева и металла. Возбуждаемое здесь электричество совершенно сходно с тем, которое возбуждают пар и вода. Но мысль о том, что электризация вообще обусловлена испарением, находится в разительном противоречии с наблюдаемой здесь на самом деле конденсацией.

2131. Однако, когда обычный воздух выпускался навстречу льду, последний вновь и вновь делался положительным, чередуясь с отрицательным возбуждением дерева и металла. Это находится в полном соответствии с высоким положительным уровнем, которое ранее было отведено воде (2107).

2132. Я перешел к опытам с сухим воздухом (2129) и нашел, что ни в одном случае он не способен возбуждать электричество у конусов дерева, серы или латуни (2077, 2097); однако, если я во время этих опытов выпускал порцию воздуха сейчас же после его сжатия, не давая ему высохнуть, то он делал натираемое дерево или латунь отрицательными (2130). Это является, по-моему, достаточным доказательством того, что в предыдущем случае действие происходило от образовавшейся воды, и что ни воздух, ни пар, взятые отдельно, не могут возбуждать эти тела — дерево, латунь и т. д. — и производить то действие, которое мы исследуем.

2133. В следующем опыте к этому прибору для воздуха была присоединена камера С, и опыты производились с различными веществами, вводимыми в нее (2108); переносным средством служил тогда обыкновенный воздух.

2134. Когда в камере находилась дистиллированная вода, металлический конус время от времени становился отрица-

тельным, но чаще никакого действия не получалось. Отсутствие постоянной струи воздуха сильно мешало установить подходящую добавку воды к выходящему потоку.

2135. С обыкновенной водой (2090) или очень разведенным соевым раствором, или очень разведенной серной кислотой (2091), или аммиаком я ни разу не мог получить никаких следов электричества.

2136. Когда в камере *C* находился только скипидар, металлический конус становился положительным; когда же туда вводились и дистиллированная вода и скипидар вместе, конус становился очень положительным и притом в гораздо большей степени, чем раньше. Направленные навстречу льду, они делали последний положительным.

2137. Равным образом оливковое масло и вода в *C*, смола в спирту и вода в *C* делали конус положительным совершенно так же, как если бы эти вещества переносились струей пара.

---

2138. Поскольку исследование касалось струи пара, его можно было бы считать на этом законченным; но у меня явилось желание поставить в связи с этим вопросом несколько опытов со струей воздуха и сухими порошками. Сера в порошке (возоженная) делала и металл, и дерево, и даже конус из серы отрицательным, и только один раз она сделала металл положительным. Смола в порошке обычно делала металл отрицательным, а дерево положительным, но проявляла непостоянство и часто давала то то, то другое состояние в одном и том же опыте; вначале она разводила лепестки электрометра, но в конечном итоге оставляла их незаряженными. Резина давала непостоянные и двойственные результаты, подобно смоле. Крахмал делал дерево отрицательным; кремнезем, т. е. или мелко толченый горный хрусталь, или полученный действием воды из фтористокремниевой кислоты осадок, давал очень постоянные и сильные

результаты; при этом как металл, так и дерево становились сильно положительными, а кремнезем, уловленный на влажный изолированный картон, при исследовании оказывался отрицательным.

2139. Эти опыты с порошками дают повод к двум или трем замечаниям. Прежде всего, сильное трение, происходящее между частицами, увлекаемыми вперед паром или воздухом, было хорошо видно из того, что происходило с серой; оказалось, что она вбивается в поставленный на ее пути конус из сухого буксового дерева с такой силой, что ее нельзя было ни смыть, ни стереть, а приходилось соскабливать. Затем очень замечательно двукратное возбуждение. Часто в одном и том же опыте золотые листки вначале сильно расходились, а затем так же внезапно мгновенно спадались, хотя струя продолжалась и при этом оставалась в конце концов либо нейтральной, либо слабо положительной или отрицательной; это в особенности наблюдалось в случаях резины и смолы. Кроме ряда других обстоятельств, эти переменные результаты вызываются осаждением на дереве некоторых частиц, выходящих вначале вместе со струей, и конденсацией влаги при расширении воздуха.

2140. Сера дает почти постоянные результаты, а кремнезем даже очень постоянен, однако их состояния противоположны тем, которых следовало ожидать. Сера кусковая становится отрицательной при трении как о дерево, так и о любые из металлов, которые я испытывал; она делает их *положительными* (2141); однако в вышеупомянутых опытах она почти всегда делала и дерево и металлы отрицательными. Кремнезем в виде кристалла при трении о дерево или металлы делает их *отрицательными*, но в таких опытах, как указанные выше, он постоянно делал их сильно положительными. Должна существовать естественная причина для таких изменений, которые в настоящее время можно рассматривать только как несовершенные результаты,

потому что я еще не имел времени для исследования этого вопроса.

2141. Для иллюстрации действия, которое производят пар и вода, ударяясь о посторонние тела, я тер попарно эти тела друг о друга, чтобы установить их порядок; он оказался следующим:

1. Кошачья и медвежья шерсть.
2. Фланель.
3. Слоновая кость.
4. Перо.
5. Горный хрусталь.
6. Флинтглас.
7. Хлопчатобумажная ткань.
8. Полотно, парусина.
9. Белый шелк.
10. Рука.
11. Дерево.
12. Шеллак.
13. Металлы
 

{	железо, медь, латунь, олово, серебро, платина.
---	---
14. Сера.

Каждое из них становилось отрицательным при трении о вещество, стоящее выше, и положительным при трении о вещество, стоящее ниже. Однако из этого общего правила есть много исключений: так, одна часть кошачьей шерсти бывает сильно отрицательна по отношению к другой и даже к горному хрусталу; различные куски фланели тоже очень сильно отличаются друг от друга.

2142. В некоторых случаях различные способы натирания также дают различные результаты; неясно, почему это



происходит; ведь частицы, которые трутся, должны, казалось бы, всегда давать одну и ту же разность. Если слегка ударить пером о сухую парусину, то перо становится сильно отрицательным; однако то же перо, проташенное под некоторым давлением между складками той же парусины, становится сильно положительным: эти действия могут следовать одно за другим, так что, производя трение различной силы, легко прекращать одно состояние и получать другое. Если разрезать кусок фланели пополам и проташить один кусок по другому, они приобретут различные состояния, но не постоянные; бывает, что один и тот же кусок в различных местах оказывается в различных состояниях. Иногда же оба куска оказываются отрицательными. В этом случае, очевидно, положительное состояние приобрел воздух, который затем рассеялся.

2143. Замечательна по своим свойствам слоновая кость. Ее очень трудно возбуждать трением о металлы — гораздо труднее, чем полотно, бумажную ткань, дерево и др., которые расположены ниже ее (2141) и к тому же являются гораздо лучшими проводниками; по этим двум обстоятельствам следовало бы, наоборот, ожидать, что слоновая кость при трении о металл будет возбуждаться лучше, чем они. По всей вероятности эта особенность и сообщает паровому проходу из слоновой кости способность не возбуждаться (2102).

2144. Прежде чем заключить эту статью, я хочу упомянуть о том, что употреблявшаяся во многих опытах с маслом, смолой и т. д. тонкая трубка из слоновой кости, укрепленная в пробке (2076), приобрела в конце концов такое состояние, при котором она не просто оказывалась для пара невозбуждающим проходом, но оказывала на него нейтрализующее действие, ибо струя из пара и воды, пройдя через нее, не производила больше возбуждения тел, установленных против нее, как это было в предыдущих случаях (2099). Трубка была по виду совершенно чистой и впослед-

ствии была вымочена в спирту для удаления всяких следов смолы, но все же сохранила свое особое состояние.

2145. Из всего изложенного следует, что причиной образования электричества при освобождении запертого пара является не испарение; далее, так как, по моему мнению, этой причиной является трение, то оно не может иметь значения при возбуждении электричества в атмосфере и вообще не связано с последним. И, наконец, насколько я мог установить, чистые газы, т. е. газы, не смешанные с твердыми и жидкими частицами, не возбуждают электричества трением о твердые или жидкие вещества.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Указание статей в *Philosophical Magazine*, 1840—1843: Armstrong, *Phil. Mag.*, XVII, стр. 370, 452; XVIII, стр. 50, 133, 328; XIX, стр. 25; XX, стр. 5; XXII, стр. 1; Pattinson, *Phil. Mag.*, XVII, стр. 375, 457; Schafhaeuti, *Phil. Mag.*, XVII, стр. 449; XVIII, стр. 14, 95, 265. См. также в *Phil. Mag.*, 1843, XXIII, стр. 194, сообщение Армстронга о гидроэлектрической машине.