
С Е Д Ъ М А Я С Е Р И Я

*Раздел 11. Об электрохимическом разложении (продолжение).*¹ Предварительные соображения. Глава IV. О некоторых общих условиях электрохимического разложения. Глава V. О новом приборе для измерения гальванического электричества. Глава VI. О первичном или вторичном характере выделяющихся у электродов химических веществ. Глава VII. Об определенной природе и о размерах электрохимического разложения. *Раздел 13. Об абсолютном количестве электричества, связанном с частицами или атомами материи.*

Поступило 9 января.

Доложено 23 января, 6 и 13 февраля 1834 г.

РАЗДЕЛ 11

Об электрохимическом разложении (продолжение)

Предварительные соображения

661. Теория, которую я считаю правильно освещающей факты электрохимического разложения, и которая поэтому подробно изложена мною в одной из предшествующих серий настоящих исследований, настолько противоречит выдвигавшимся ранее теориям, что я встречаю большие затруднения при правильном, с моей точки зрения, изложении результатов, поскольку я должен ограничиваться общепринятыми терминами, которые употребляются во вполне определенном значении. Таков термин *полюс*, с его прилагательными обозначениями *положительный* и *отри-*

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

цательный, и связанные с ним представления о притяжении и отталкивании. Согласно общепринятой терминологии положительный полюс *притягивает* кислород, кислоты и т. д. или, выражаясь более осторожно, заставляет их выделяться на своей поверхности, а отрицательный полюс точно таким же образом действует на водород, воспламеняющиеся вещества, металлы и основания. С моей же точки зрения, производящая эти явления сила заключена *не* в полюсах, а *внутри* разлагаемого вещества; кислород и кислоты выделяются у *отрицательного* конца этого вещества, а водород, металлы и т. д. — у его *положительного* конца (518, 524).

662. Поэтому, во избежание неясности и неопределенности, а также ради большей точности выражений, чем та, которой я мог бы достигнуть другим путем, я тщательно обсудил этот вопрос с двумя друзьями и в дальнейшем предполагаю применять другие, составленные при их помощи и содействии термины, определение которых я сейчас дам.

Полюсы, как их обычно называют, представляют собой лишь ворота, или пути, через которые электрический ток входит и выходит из разлагаемого вещества (556); соприкасаясь с этим веществом, они, естественно, являются границами его протяжения в направлении тока. Этот термин обычно применялся к металлическим поверхностям, соприкасающимся с разлагаемым веществом; сомнительно, однако же, стали ли бы ученые применять его также к поверхностям воздуха (465, 471) и воды (493), у которых мне удалось производить электрохимическое разложение. Вместо термина полюс я предлагаю применять термин *электрод*,¹ под которым я разумею то вещество или, скорее, ту поверхность — все равно воздуха, воды, металла или какого-либо другого тела, — которая ограничивает протяжение разложения этого вещества в направлении электрического тока.

663. Поверхности, у которых, согласно обычной терминологии, электрический ток входит в разлагаемое вещество и

¹ ἤλεκτρον — янтарь и ὁδός — путь.

из него выходит, являются весьма важными местами действия, и их необходимо отличать от полюсов, с которыми они чаще всего соприкасаются, и от электродов, с которыми они соприкасаются всегда. В поисках естественного указателя электрического направления, которым я мог бы воспользоваться для обозначения поверхностей, — такого, который выражал бы различия между ними и в то же время не зависел бы ни от каких теоретических предпосылок, я полагал, что таким указателем может служить земля. Если магнетизм земли обусловлен обтекающими ее электрическими токами, то последние должны быть, по теперешней терминологии, постоянно направлены с востока на запад, или, что легче запомнить, в направлении кажущегося движения солнца. Если мы примем, что при некотором электро-разложении разлагаемое вещество расположено таким образом, что проходящий через него ток параллелен и одинаково направлен с тем током, который мы предполагаем существующим в земле, то поверхности, у которых электричество входит в это вещество и из него выходит, будут иметь неизменную ориентировку и проявлять постоянное соотношение свойств. На основании этого представления мы предлагаем назвать ту поверхность, которая направлена на восток — *анодом*,¹ а ту, которая направлена на запад, — *катодом*,² какие бы изменения ни претерпевали наши взгляды на природу электричества и электрического действия, они должны отразиться на упомянутом *естественном указателе* в одинаковом направлении и в одинаковой степени, как и на любом разлагаемом веществе, к которому эти термины могут быть применены; а потому, повидимому, нет оснований ожидать, что они приведут к недоразумениям или будут каким-нибудь образом способствовать ложным представлениям. *Анод*, следовательно, есть та поверхность, около которой электрический ток, согласно нашей нынешней терминологии, входит; он представляет собой *отрицательный* конец разлагаемого тела;

¹ ἄνω — вверх и ὁδός — путь; место, где солнце восходит.

² κατὰ — вниз, ὁδός — путь; место, где солнце заходит.

именно около него выделяются кислород, хлор, кислоты и т. д., и он находится около положительного электрода, или, иначе, обращен к нему лицом. *Катод* есть та поверхность, около которой ток покидает разлагаемое тело; он является его *положительным* концом; горючие вещества, металлы, щелочи и основания выделяются около катода, и он находится в соприкосновении с отрицательным электродом.

664. В настоящих исследованиях мне представится случай классифицировать тела также по некоторым соотношениям, выводимыми из их электрических действий (822). Чтобы дать выражение этим соотношениям, не вводя в то же время самым выражением каких-либо гипотетических представлений, я намерен употреблять следующие названия и термины. Многие вещества непосредственно разлагаются электрическим током, причем их элементы освобождаются; эти вещества я предлагаю называть электролитами.¹ Вода, значит, является электролитом. Вещества, которые, подобно азотной и серной кислотам, разлагаются во вторичной реакции (752, 757), не включаются в это понятие. Затем, вместо слова *электрохимически* разложенный, я часто буду употреблять образованный таким же путем термин *электролизированный*, который предполагает, что данное вещество разделяется на свои составляющие под влиянием электричества; этот термин по смыслу и созвучию сходен с термином анализированный, который образован подобным же путем. Термин *электролитический* понятен без дальнейших пояснений: соляная кислота обладает электролитическими свойствами, борная — не обладает ими.

665. Наконец, мне требуется термин для обозначения тех веществ, которые могут переноситься к *электродам*, или, как их обычно называют, полюсам. Вещества часто называют *электроотрицательными* или *электроположительными*, в зависимости от того, переносятся ли они в результате предполагаемого влияния непосредственного притяжения к положительному или от-

¹ ἤλεκτρον и λύω — растворяю. Отсюда существительное — электролит и глагол — электролизировать.

рицательному полюсу. Однако в эти термины вкладываю слишком много, чтобы пользоваться ими так, как я предполагаю; хотя, может быть, лежащие в их основе представления и правильны, но они являются лишь гипотетическими и могут оказаться ложными, и в этом случае они в силу весьма незаметного, но все же очень опасного влияния — опасного потому, что оно действует непрерывно, — наносят большой ущерб науке, суживая и ограничивая привычные взгляды посвятивших себя науке людей. Я предлагаю различать эти вещества, называя *анионами*¹ те, которые переносятся к *аноду* разлагаемого тела и *катионами* —² те, которые переносятся к *катоду*; когда же мне придется говорить вместе о тех и других, я буду называть их *ионами*. Так, например, хлористый свинец является *электролитом* и выделяет при *электролизе* два иона: хлор и свинец, причем первый является *анионом*, а второй — *катионом*.

666. Если раз навсегда дать точное определение этих терминов, это поможет мне, как я надеюсь, пользуясь ими, избегать многословия и двусмысленности выражений. Я не намерен пользоваться ими чаще, чем это необходимо, так как я вполне отдаю себе отчет, что названия — это одно, а наука — другое.³

667. Следует заметить, что сейчас я не высказываю никаких взглядов на природу электрического тока, кроме тех, которые высказывал ранее (283, 517), и что, если я и говорю, что ток идет от положительного места к отрицательному, то лишь в согласии с традиционным, хотя до некоторой степени молчаливым, соглашением, заключенным между учеными и обеспечивающим им постоянное, ясное и определенное средство для указания направления сил этого тока.⁴

¹ ἀνίων — то, что поднимается (причастие среднего залога).

² κατιών — то, что опускается.

³ С тех пор как была доложена эта работа, я видоизменил некоторые из предложенных первоначально терминов, чтобы пользоваться только такими, которые являются одновременно простыми по своей природе, ясными по смыслу и свободными от гипотез.

⁴ Параграф 668 у Фарадея пропущен. — Ред.

ГЛАВА IV

О некоторых общих условиях электрохимического разложения

669. Начиная с того момента, когда электрохимическое разложение было произведено в первый раз и по настоящее время, наблюдалось, что те элементы, которые при обычных явлениях химического сродства являются наиболее резко противоположными по отношению друг к другу, и при соединении которых сила притяжения оказывалась наибольшей, в то же время с наибольшей легкостью выделяются у противоположных концов разлагаемых тел (549).

670. Если этот вывод был очевиден уже тогда, когда вода считалась существенной и присутствовала почти во всех случаях такого разложения (472), то он становится еще более очевидным теперь, когда показано и доказано, что вода может и не принимать участия в этих явлениях (474), и что имеются вещества, значительно превосходящие воду в отношении некоторых действий, которые считались присущими только этому веществу.

671. Вода, в силу своего строения и характера ее элементов, а также благодаря частому присутствию в электролитических явлениях, до сих пор стояла в этом отношении на первом месте. Хотя вода и представляет собой соединение, образующееся под действием очень сильного сродства, она, тем не менее, отдает свои элементы под влиянием очень слабого электрического тока, и является сомнительным, чтобы мог представиться такой случай электролиза, где участвующая в нем вода не разлагалась бы на свои первоначальные составляющие.

672. Различные окислы, хлориды, иодиды и соли, которые, как я показал, в жидком состоянии разлагаются электрическим током, подчиняясь тому же основному закону, что и вода (402), также убедительно иллюстрируют активность, проявляемую при подобных разложениях теми элементами, которые явно и сильно противоположны друг другу по химическим свойствам.

673. С другой стороны, вещества со слабым химическим сродством распадаются весьма редко. Взять, например, стекла: многие из них, состоящие из кремнекислоты, извести, щелочи и

окиси свинца, можно считать не более как растворами одних веществ в других. Если расплавить и подвергнуть действию гальванического элемента бутылочное стекло; то оно, повидному, совсем не разлагается (408). Если подвергнуть такому же действию флинтглас, который содержит более противоположные друг другу вещества, то он претерпевает некоторое разложение; а если произвести опыт над борно-свинцовым стеклом, которое представляет собой определенное химическое соединение, то оно легко отдает свои элементы (408).

674. Однако же результат, который бросается в глаза в приведенных случаях, совсем не подтверждается другими примерами, где можно было ожидать подобных же последствий. Согласно моей собственной теории электрохимического разложения, следовало бы ожидать, что под влиянием электрического тока все сложные химические соединения будут распадаться с легкостью, которая соответствует силе химического сродства между их элементами как более, так и менее близкими. Я не уверен в том, что именно это непременно следует из теории, но если мне скажут, что возражение вытекает из фактов, то я отвечу: не сомневаюсь в том, что оно исчезнет при более близком знакомстве и точном представлении о природе химического сродства и о характере действия на него электрического тока (518, 524); а кроме того, ко всякой другой теории электрохимического разложения может быть приложено такое же возражение и в той же мере, как и к той, которая выдвинута мною. В самом деле, если допустить, что вещества соединяются тем более интенсивно, чем они более противоположны друг другу в отношении их сил притяжения, как это обычно и имеет место, то это возражение в такой же мере применимо ко всем рассмотренным теориям электролиза и еще подкрепляет те возражения, которые выдвинуты мною против них ранее.

675. Среди устойчивых, не подвергающихся разложению соединений на первом месте стоит борная кислота (408). Далее, не разлагаются при обычных условиях иодид серы и хлориды серы, фосфора и углерода, хотя характер составляющих их элементов

и заставляет ожидать обратного. Химическое средство, под влиянием которого образуются хлорид сурьмы (402, 690), углеводороды, уксусная кислота, аммиак и многие другие, не разлагаемые гальваническим элементом вещества, повидимому, достаточно сильно, и это должно было бы указывать на то, что элементы настолько противоположны по своей природе, что можно ожидать разделения их гальваническим элементом, — тем более, что это разделение имеет место в некоторых случаях простого растворения (530, 544), где средство должно быть сравнительно слабо.¹

676. Не следует, однако, забывать, что большинство этих затруднений, а может быть и все они могут зависеть от отсутствия проводимости; если последняя отсутствует, то это препятствует прохождению тока и, естественно, предотвращает производимые им действия. Все известные химические соединения, являющиеся непроводящими в твердом, но проводящими в жидком состоянии, разлагаются, за единственным, может быть, исключением периодида ртути (679, 691);² и даже вода, которая с такой легкостью отдает составляющие ее элементы при прохождении тока, почти не претерпевает изменения, если она вполне очищена, так как становится при этом очень плохим проводником.

677. Если в дальнейшем будет доказано, что отсутствие разложения в тех случаях, где на основании химических соображений можно было его ожидать (669, 672, 674), обусловлено отсутствием или недостатком проводимости, то одновременно будет доказано также и то, что разложение *находится в зависимости* от проводимости, а не наоборот (413); для случая воды этот вопрос, повидимому, является почти решенным. С другой стороны, почти неоспоримо заключение, что в электролитах способность переносить электричество через вещество *обусловлена их спо-*

¹ Что касается растворения, то у меня появились некоторые основания считать, что это явление, может быть, и не является причиной переноса вещества, и я намерен при удобном случае вернуться к рассмотрению этого вопроса.

² См. пп. 1340, 1341. Дек. 1838 г.

способностью претерпевать разложение, ибо, перенос имеет место только в то время, пока идет процесс разложения вещества, и пропорционален количеству выделенных элементов (821). Однако в настоящее время я не могу задерживаться на обсуждении экспериментальной стороны этого вопроса.

678. Когда химическое соединение содержит такие элементы, о которых мы знаем, что они направляются к противоположным концам гальванической батареи, то количество, в котором они там присутствуют, повидимому, всегда тесно связано со способностью этого соединения подвергаться разложению или же ему противостоять. Так, протохлорид олова легко проводит ток и разлагается (402), а перхлорид не проводит тока и не разлагается (406). Протоиодид олова в жидком состоянии разлагается (402), а периодид не разлагается. Периодид ртути в расплавленном состоянии не разлагается (691), хотя и является проводником. Мне не удалось сопоставить это соединение с протоиодидом, так как последний при нагревании разлагается на ртуть и периодид ртути.

679. Эти существенные различия заставили меня поближе рассмотреть некоторые бинарные соединения с целью проверить, нельзя ли установить закон, управляющий разложимостью в соответствии с весовыми отношениями или эквивалентами элементов. Среди только что упомянутых соединений, разложимыми являлись только прото-соединения; если же обратиться к веществам, приводившимся для иллюстрации значения и общности открытого мною закона проводимости и разложения (402), то окажется, что все подчиняющиеся ему окислы, хлориды и иодиды, за исключением хлорида сурьмы и периодида ртути (к которым теперь, пожалуй, можно добавить сулему), являются также разложимыми, и наоборот, многие высшие соединения тех же элементов, не подчиняющиеся этому закону, оказываются неразложимыми (405, 406).

680. Наиболее резкое исключение из этого общего вывода представляют такие вещества, как кислоты: серная, фосфорная, азотная, мышьяковая и др.

681. При опытах с серной кислотой у меня не было оснований предполагать, чтобы сама по себе она являлась проводником электричества или разлагалась последним, хотя раньше я и придерживался такого мнения (552). Крепкая кислота является значительно худшим проводником, чем разбавленная.¹ Если в последнем случае подвергнуть ее действию мощной батареи, то кислород появляется у *анода*, или положительного электрода, хотя значительная часть его поглощается (728), а водород и сера появляются у *катода*, или отрицательного электрода. Водород у меня всегда был чистый, свободный от серы и оказывался в количестве, недостаточном по расчету на присутствующую серу, так что очевидно, что во время разложения должна была разлагаться вода. Я пытался произвести опыт с безводной серной кислотой, и мне показалось, что в расплавленном состоянии такая кислота не является проводником и не разлагается. Однако я не располагал достаточным количеством сухой кислоты для того, чтобы удовлетворительно разрешить этот вопрос. Я полагаю, что когда при действии гальванического элемента на серную кислоту появляется сера, то это есть результат вторичного действия, а сама по себе кислота не подвержена электролизу (757).

682. То же самое, я полагаю, относится и к фосфорной кислоте, но решить этот вопрос было невозможно из-за трудностей обращения с расплавленной безводной фосфорной кислотой. Раз получивши воду, фосфорная кислота не может быть освобождена от нее одним нагреванием. При нагревании водная кислота улетучивается. Расплавленная в проволочной петельке фосфорная кислота (401), подвергнутая действию гальванического прибора, становилась проводящей и разлагалась. Но у отрицательного электрода всегда выделялся газ, который, по моему мнению, представлял собой водород, и провод не подвергался химическому изменению, как это имело бы место при выделении фосфора. У положительного электрода также выделялся газ. На основа-

¹ Де ля Рив.

нии всех этих фактов я заключаю, что разлагалась вода, а не кислота.

683. Мышьяковая кислота. Это вещество проводило ток и разлагалось; но оно содержало воду, а у меня не было тогда времени *продлить* исследование, чтобы проверить, можно ли получить плавкую безводную мышьяковую кислоту. Таким образом эта последняя к настоящему моменту не является исключением из общего правила.

684. Азотистая кислота, полученная отгонкой из нитрата свинца над крепкой серной кислотой, оказалась проводящей ток и медленно разлагалась. Однако при ближайшем рассмотрении выявились сильные доводы в пользу предположения, что в ней присутствовала вода, которой и были обусловлены разложение и проводимость. Я пытался приготовить порцию совершенно безводной кислоты, но не располагал временем, необходимым для получения не возбуждающих сомнения результатов.

685. Азотная кислота представляет собой вещество, которое, по моему мнению, непосредственно электрическим током не разлагается. Так как мне факты эти понадобятся для иллюстрации различия, существующего между первичным и вторичным разложениями, то здесь я только упомяну о них (752).

686. То обстоятельство, что вышеупомянутые минеральные кислоты облегчают проводимость и разложение воды, еще не доказывает, что они могут способствовать этим действиям и претерпевать их в себе самих. Борная кислота действует так же, хотя и является неразложимой. Г-н де ля Рив указал, что и хлор обладает этой способностью; но поскольку хлор мы считаем элементарным веществом, то эту способность нельзя отнести за счет его разложимости.

687. Хлорид серы не проводит тока и не разлагается. Входящие в него элементы находятся в отношении один к одному, но это не значит, что он представляет собой исключение из правила (679), которое вовсе не утверждает, что *все* соединения с таким отношением входящих в них элементов являются разложимыми, а только то, что все разложимые вещества обладают таким составом.

688. Протохлорид фосфора не проводит и не разлагается.

689. Протохлорид углерода не проводит и не претерпевает разложения. Наряду с этим веществом я подвергал действию электрического тока гидрoхлорид углерода, полученный из маслородного газа и хлора, однако это вещество также не проводило электричества и не отдавало своих элементов.

690. Что касается исключений (679), то при более близком рассмотрении некоторые из них отпадают. Свежеприготовленный хлорид сурьмы (соединение из одного эквивалента сурьмы и полутора эквивалентов хлора) был помещен в трубку (рис. 61)



и в расплавленном состоянии подвергнут действию тока, причем положительный электрод был графитовый. Электричество не проходило, и видимых проявлений разложения сначала не было; однако, при сильном сближении положительного и отрицательного электродов в хлориде сурьмы возникало слабое действие и проходил слабый ток. Весь эффект был настолько ничтожен (хотя и вполне соответствовал приведенному выше закону (394)) и настолько непохож на разложение и проводимость, возникающие во всех других случаях, что я его припи-

Рис. 61. сываю присутствию ничтожного количества воды (последнюю этот и многие другие хлориды жадно поглощают, образуя гидратированные хлориды) или, может быть, присутствию чистого протохлорида, отвечающего отношению (695, 796) один к одному.

691. При изучении таким же образом периодида ртути было вполне определенно установлено, что последний является изолятором в твердом и проводником в жидком состоянии, в согласии с законом *проводимости в жидком состоянии* (402); однако никаких признаков разложения не было. Не появлялось ни иода у *анода*, ни ртути или иного вещества у *катода*. Этот случай, следовательно, не представляет собой исключения из правила, согласно которому разложимыми являются только соединения, отвечающие отношению один к одному; но случай этот представляет исключение — и, я полагаю, единственное — из того поло-

жения, что все вещества, подчиняющиеся закону проводимости в жидком состоянии, являются разложимыми. Я, однако, склоняюсь к предположению, что в периодиде ртути оставалось растворенным небольшое количество протохлорида ртути, медленным разложением которого и обусловлена обнаруживаемая слабая проводимость. У анода в результате вторичного процесса образовался бы тогда периодид ртути, а ртуть у катоды также могла, путем вторичного процесса, давать протоиодид ртути. Оба эти вещества могли смешиваться с жидкой массой, и, таким образом, несмотря на продолжавшееся разложение, окончательного разделения не было бы.

692. Перхлорид ртути, подвергнутый действию гальванического тока, не проводил в твердом и проводил в жидком состоянии. Я полагаю также, что в последнем случае он разлагался; однако в этом случае имеется целый ряд посторонних явлений, которые необходимо исследовать, прежде чем делать какое-либо определенное заключение.

693. Когда подвергается действию гальванического тока обыкновенный протоксид сурьмы в расплавленном состоянии, он также разлагается, хотя по другим причинам (402, 801); действие это скоро прекращается. Этот окисел состоит из одного эквивалента сурьмы и полутора эквивалентов кислорода и является поэтому исключением из принятого общего правила. Однако, работая с этим окислом и с хлоридом, я наблюдал факты, которые заронили во мне подозрение, не содержат ли часто соединения, обычно называемые протохлоридами и протоксидами, других соединений, отвечающих отношению один к одному; последние тогда являются чистыми прото-соединениями и, присутствуя в окисле, могут вызывать вышеописанное разложение.

694. Обыкновенная сернистая сурьма считается соединением, содержащим наименьшее количество серы и аналогичным по составу обыкновенному протоксиду. Однако я нашел, что при

1 Что касается перхлорида и периодида ртути, см. пп. 1340, 1341. Дек. 1838 г.

расплавлении ее с металлической сурьмой образуется другое сернистое соединение, содержащее значительно больше металла, чем первое, и при расплавлении отчетливо отделяющееся как от чистого металла, так и, с другой стороны, от обыкновенного серого сернистого соединения сурьмы. В некоторых грубых опытах количество металла, поглощаемого таким образом обыкновенной сернистой сурьмой, было равно половине того, которое содержалось раньше в сернистом соединении, а в таком случае новое соединение должно отвечать отношению *один к одному*.

695. Когда это новое сернистое соединение растворялось в соляной кислоте, то, правда, выделялось немного сурьмы, но мне все же казалось, что получался настоящий протохлорид сурьмы, отвечающий отношению *один к одному*; и из него с помощью щелочей и т. д. можно получить настоящий протоксид, отвечающий также отношению один на один. Однако я не имел времени строго проверить это обстоятельство анализом.

696. Я полагаю, однако, что такой окисел существует, что он часто присутствует в переменных отношениях в том, что обыкновенно называется протоксидом, создавая неопределенность в результатах анализа последнего и вызывая вышеописанное разложение.¹

697. В общем представляется вероятным, что все те двойные соединения, которые, в соответствии с законом проводимости в жидком виде (394), способны подвергаться электролизу в жидком и не способны к этому в твердом состоянии, состоят из элементарных составных частей, взятых в отношении один к одному. Возможно, что борная кислота, аммиак, перхлориды, периодиды и многие другие простые соединения элементов являются неразложимыми именно вследствие их отступления от такого простого состава.

¹ В связи с этим и тремя предыдущими, а также с 801-м параграфом, — см. поправку Берцелиуса относительно природы предполагаемого нового сернистого соединения и окиси: *Philosophical Magazine*, 1836, VIII, стр. 476. Что касается вероятного объяснения действий, полученных с протоксидом, см. пп. 1340, 1341. *Дек. 1838 г.*

698. Что касается солей и соединений сложных тел, то здесь эти простые отношения, повидимому, не имеют силы. Я не мог решить этого вопроса при помощи бисульфатов щелочей, так как каждый раз, как в соединении оставался второй эквивалент кислоты, с ней оставалась и вода. Расплавленные соли оказывались проводящими и разлагались, но у отрицательного электрода всегда появлялся водород.

699. Я приготовил нагреванием и плавлением аммоний-фосфата натрия бифосфат натрия. В этом случае расплавленная двойная соль проводила электричество и разлагалась, но у отрицательного электрода появлялось небольшое количество газа; и хотя я и полагаю, что электролизу подвергалась самая соль, но все же не вполне уверен в том, что совершенно отсутствовала вода.

700. Затем был изготовлен биборат натрия, который, по моему мнению, представляет собой бесспорный случай. По расплавлении соль оказалась проводящей; она разлагалась, и у обоих электродов появлялся газ; даже в том случае, когда содержание борной кислоты было повышено до трех эквивалентов, имело место то же явление.

701. Итак, этот класс сложных химических соединений, повидимому, не подчиняется тому простому закону, которому подчиняются двойные соединения первого типа. Может быть, их можно считать просто растворами соединений, отвечающих отношению один к одному, в избытке кислоты. Но найдется ли для такого предположения достаточно оснований, это вопрос, решение которого надо предоставить будущим исследованиям. Несколько бесспорных исключений мы имеем среди сернистых соединений.

702. При каждом исследовании таких вопросов следует принимать все возможные меры предосторожности для удаления воды, так как в ее присутствии настолько часто происходят вторичные действия, что нередко получается ошибочное впечатление о наличии электроразложения в веществе, когда в действительности такого явления нет (742 и т. д.).

703. Очевидно, что во всех тех случаях, в которых разложение *не возникает*, это *может быть* обусловлено недостаточной проводимостью (677, 413). Однако это вовсе не умаляет того интереса, который возникает у нас при виде огромного различия в действии, зависящего от изменения не самой природы элементов, а лишь их соотношений. Особенно интересно это при всякого рода попытках объяснить и истолковать предложенную сэром Гемфри Дэви¹ и развитую далее Берцелиусом и другими выдающимися учеными прекрасную теорию, по которой обычное химическое сродство является лишь следствием электрических притяжений между частицами вещества.

ГЛАВА V

О новом приборе для измерения гальванического электричества

704. Когда я пытался установить общую меру для обыкновенного и гальванического электричества (377), и еще раз, когда я предлагал свою теорию электрохимического разложения (504, 505, 510), я уже указывал, что химически разлагающее действие тока является *постоянным при постоянном количестве* электричества, несмотря на самые большие изменения источников электричества, напряжения последнего, размеров служащих для опыта *электродов*, характера проводников (или непроводников) (307), через которые электричество проходит, и других условий. Решающие доказательства справедливости этого утверждения будут даны далее (783 и т. д.).

705. На основе этого закона я решил построить прибор для измерения проходящего через него электричества, чтобы он, будучи включен в цепь тока при любом частном опыте, служил по желанию либо для *сравнительной* оценки действия, либо для *положительного измерения* этого тончайшего агента.

706. Нет вещества, которое при обычных условиях было бы более пригодно в качестве индикатора в таком приборе, чем вода.

¹ Philosophical Transactions, 1807, стр. 32, 39, а также 1826, стр. 387, 389.

В самом деле, если увеличить ее проводимость добавлением кислот или солей, то вода легко разлагается; ее элементы во многих случаях могут быть получены и собраны без помех со стороны вторичного действия; будучи газообразными, они представляют наилучшие условия для своего разделения и измерения. Поэтому подкисленная серной кислотой вода является тем веществом, к которому я буду обычно прибегать, хотя в особых случаях или при особых видах опытов может оказаться целесообразным пользоваться другими веществами (843).

707. Первая предосторожность, необходимая при постройке



Рис. 62.

этого прибора, заключалась в том, чтобы избежать обратного воссоединения выделившихся газов, которое, как было установлено, легко имеет место у положительного электрода (571). С этой целью для разложения применялись приборы различного устройства. Прибор первого рода состоял из прямых трубок, содержащих каждая платиновые пластинку и проволоку, спаянные золотом и укрепленные в стекле на закрытом конце

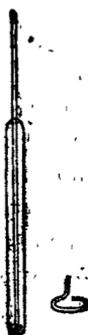


Рис. 63.

трубки (рис. 62). Трубки были градуированы, имели в длину приблизительно восемь дюймов, а в диаметре — 0,7 дюйма. Платиновые пластинки были приблизительно в один дюйм длиною и такой ширины, какую только позволяли размеры трубок; они были установлены настолько близко к отверстиям последних, насколько это было совместимо с надежным улавливанием выделяющихся газов. В некоторых случаях, когда требовалось по возможности уменьшить ту поверхность, на которой выделяются газы, металлические окончания состояли не из пластинок, а из согнутой в виде кольца проволоки (рис. 63). Когда эти трубки служили для измерений, их наполняли разбавленной серной кислотой, опрокидывали в сосуд с той же жидкостью (рис. 64) и помещали в наклонном положении, рас-

полагая их открытые концы близко друг к другу, чтобы между ними находилось как можно меньше разлагаемого вещества; при этом платиновые пластинки находились в вертикальных плоскостях (720).

708. На рис. 64 изображен прибор другого типа. Трубка в середине изогнута, один конец ее закрыт, и в этом конце укреплены провод и пластинка *a*, опущенная вниз настолько, чтобы она в положении, изображенном на рисунке, оказывалась возможно



Рис. 64.

ближе к изгибу трубки; это сделано для того, чтобы весь выделяющийся у пластинки газ мог собираться в закрытом конце трубки. Плоскость этой пластинки также вертикальна (720). Другой металлический конец *b* вводится в тот момент, когда должно быть произведено разложение, и подводится возможно ближе к изгибу трубки, но так, чтобы выделяющийся у него газ совершенно не попадал в закрытый конец прибора. Выделяющемуся у этого конца газу дают уйти в воздух.

709. В приборе третьего типа оба электрода заключены в одной и той же трубке; таким образом перенос электричества и обусловленное этим разложение происходят значительно быстрее, чем в отдельных трубках. Образующийся газ представляет собой сумму тех количеств, которые выделяются у обоих электродов, и прибор этот лучше всех предыдущих приспособлен для изме-

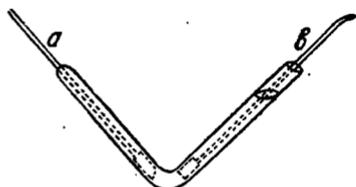


Рис. 65.

рения количеств гальванического электричества, переносимого в обычных случаях. Прибор состоит из прямой градуированной, закрытой на верхнем конце трубки (рис. 66), через стенки которой проходят платиновые проволочки (впаянные в стекло), которые соединены с находящимися внутри двумя пластинками. Трубка шлифована к одному из горлышек двугорлой склянки.

Если последнюю наполовину или на две трети наполнить разбавленной серной кислотой (706) и затем наклонять весь прибор, то кислота будет протекать в трубку и наполнит ее. При пропускании через прибор электрического тока выделяющиеся у пластинки газы собираются в верхней части трубки и не подвергаются воссоединяющему действию платины.

710. Прибор еще другого устройства представлен на рис. 67.

711. Прибор пятого типа изображен на рис. 68. Этот последний я нашел исключительно пригодным для опытов, продолжающихся непрерывно в течение нескольких дней, когда надо было собрать большие количества служащего для измерения газа. Прибор укреплен на тяжелом основании и имеет вид небольшой реторты, содержащей оба электрода; горлышко ее узко и достаточно длинно для того, чтобы выходящий из нее газ переходил в сосуд, помещенный над небольшой пневматической ванной. Электродная камера, герметически запаянная в той части, которая укреплена на стойке, имеет пять дюймов в длину и 0,6 дюйма в диаметре;

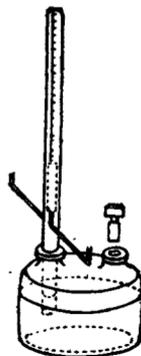


Рис. 66.

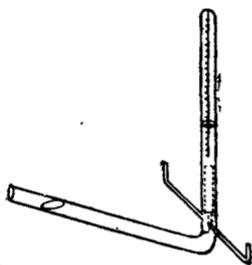


Рис. 67.

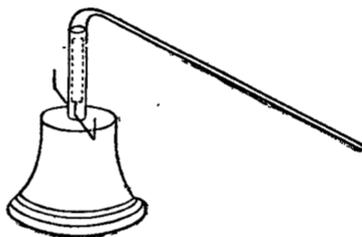


Рис. 68.

длина горлышка равна приблизительно девяти дюймам, а внутренний диаметр его — 0,4 дюйма. Рисунок дает полное представление о конструкции.

712. Едва ли приходится указывать, что при пользовании прибором любого из этих типов как самые приборы, так и провода, соединяющие их с тем веществом, которое одновременно подвергается действию того же самого электрического тока, должны быть тщательно изолированы; иначе не будет уверенности в том, что все электричество, которое проходит через одно вещество, будет пропускаться и через другое.

713. Наряду с предосторожностями, которые приходилось принимать, чтобы улавливаемые газы, когда они смешаны, не соприкасались с платиной, возникала необходимость проверить, по крайней мере для воды, закон *определенности электролитического действия* при самых разнообразных условиях; чтобы вместе с уверенностью в его правильности ознакомиться также с источниками ошибок, против которых приходится принимать меры предосторожности на практике.

714. Прежде всего был исследован вопрос о том, оказывает ли влияние или безразлично изменение в широких пределах размеров электродов; для этого служили приборы, подобные описанным выше (709, 710, 711). Пластинки одного из них имели в ширину 0,7 дюйма, а в длину почти четыре дюйма; другой имел пластинки шириной всего в 0,5 дюйма и длиной в 0,8 дюйма, проволочки третьего были в три дюйма длиной и в 0,02 дюйма диаметром, а в четвертом такие же проволочки были длиной только в полдюйма. Тем не менее, когда эти приборы были наполнены разбавленной серной кислотой и соединены последовательно, так что через них проходил один и тот же ток электричества, то во всех них выделилось почти одинаковое количество газа; иногда получалась разница в пользу одного или другого прибора, но в основном результаты сводились к тому, что наибольшее количество газов выделялось на самых маленьких электродах, именно на тех, которые состояли из одних только платиновых проволочек.

715. Подобные же опыты были произведены с прямыми трубками, содержащими по одной пластинке (707), а также с изогну-

тремя трубками (708); результаты были одинаковы. Когда те и другие располагались различным образом вместе с прежними трубками и проверялось равенство действия больших и малых металлических поверхностей, то, если они отдавали и получали один и тот же ток электричества, результат неизменно получался одинаковый. В виде примера приводим следующие числовые данные. Прибор с двумя проволочками выделял 74,3 объема смешанных газов; другой прибор с пластинками выделял 73,25 объема; сумма кислорода и водорода в двух отдельных трубках составляла 73,65 объемов. В другом опыте эти объемы равнялись 55,3; 55,3 и 54,4.

716. Однако в этих опытах наблюдалось, что в трубках с одной пластинкой (707) водорода у отрицательного электрода выделялось больше, чем это соответствовало количеству кислорода у положительного электрода, и обычно также больше, чем это соответствовало количеству кислорода и водорода в трубке с двумя пластинками. При более внимательном изучении этих явлений я пришел к убеждению, что они, равно как и различия между проволочками и пластинками (714), обусловлены растворимостью газов, особенно у положительного электрода.

717. Когда у положительного и отрицательного электрода поверхности одинаковы, то пузырьки, поднимающиеся от них в разбавленной серной кислоте, всегда различны по характеру. Пузырьки от положительной пластинки чрезвычайно малы и отделяются мгновенно со всех участков поверхности металла ввиду его идеальной чистоты (633); вследствие своей многочисленности и малости они придают жидкости мутный вид, легко отходят вниз течением и, таким образом, не только представляют значительно большую поверхность соприкосновения с жидкостью, чем более крупные пузырьки, но и остаются в смеси с ней в течение значительно более продолжительного времени. В то же время пузырьки у отрицательной поверхности значительно менее многочисленны, хотя их объем и превосходит объем газа у положительного электрода вдвое. Они не поднимаются сплошь со всей поверхности, а как бы берут начало в отдельных точках;

несмотря на то, что они много крупнее, они как бы прилипают к металлу, отделяясь от него с трудом, а, отделившись, мгновенно поднимаются к поверхности жидкости. Поэтому, если бы даже кислород и водород обладали одинаковой растворимостью в воде или одинаковой способностью соединяться с ней при одинаковых обстоятельствах, то все же при имеющихся условиях кислород был бы значительно более способен растворяться; если же добавить к этому известное свойство кислорода вступать с водой в соединение, то не будет удивительным, что такое соединение будет в небольших количествах получаться у положительного электрода; и в самом деле, отбеливающая способность, которую некоторые ученые наблюдали в растворе у этого электрода при тщательном устранении хлора и подобных ему веществ, вероятно, обусловлена образованием там таким путем перекиси водорода.

718. То обстоятельство, что в опытах с проволочками накоплялось газа больше, чем в опытах с пластинками, я приписываю тому, что, поскольку в равные промежутки времени выделялось равное количество газа, постольку около проволочек пузырьки образуются быстрее, чем у остальных частей поверхности и потому должны были быть значительно крупнее; поэтому они обладали значительно меньшей поверхностью соприкосновения с жидкостью и соприкасались с ней в течение гораздо более короткого промежутка времени, чем пузырьки у пластинок; отсюда меньшее растворение и большее количество собранного газа.

719. Наблюдалось также, особенно при больших электродах, и другое явление, которое являлось следствием, а вместе с тем и доказательством растворения части образовавшегося газа. При исследовании собранного газа было найдено, что в нем содержится небольшое количество азота. Это я приписываю присутствию в служившей для разложения кислоте растворенного воздуха. Известно, что когда пузырьки газа, лишь слегка растворимого в воде или в растворах, проходят через них, то та часть газа, которая растворяется, вытесняет часть того, который раньше был соединен с жидкостью, и таким образом в рассматриваемых примерах разложения кислород, поскольку он растворяется,

вытесняет часть воздуха или, по крайней мере, азота, соединившегося ранее с кислотой; это явление наблюдается в *очень больших размерах* при больших пластинках, потому что выделяющийся у них газ находится в условиях, особенно благоприятных для растворения.

720. Чтобы избежать, насколько возможно, этого растворения газов, я располагал разлагающие пластинки вертикально (707, 708), чтобы пузырьки могли быстро уходить кверху, и чтобы нисходящие потоки в жидкости не встречались с восходящими потоками газов. Я нашел, что такая предосторожность сильно способствует получению постоянных результатов, особенно в приводимых далее опытах, в которых я пользовался не разбавленной серной кислотой, а другими жидкостями, как, например, раствором поташа.

721. Неточность в показаниях предлагаемого прибора, притекающая от только что упомянутой растворимости газов, лишь незначительна и может быть целиком исправлена сравнением результатов двух или трех опытов. Можно также почти совершенно устранить неточность, выбрав такой раствор, который меньше всего ей благоприятствует (728), или еще, собирая и применяя в качестве индикатора один водород, так как он менее растворим, чем кислород, выделяется с вдвое большей скоростью и более крупными пузырьками, а потому может быть собран более полно и в более чистом виде.

722. Из предшествующих и многих других опытов следует, что *изменение в размерах электродов не влечет за собой изменений в химическом действии на воду данного количества электричества.*

723. Следующим фактором, в отношении которого был проверен принцип постоянства электрохимического действия, было *изменение напряжения*. Прежде всего были повторены предыдущие опыты, но при этом брались батареи хотя с *одним и тем же* числом пластин, но заряженные *сильно или слабо*; однако результаты получались одинаковые. Затем опыты были повто-

рены с батареями, содержащими иногда сорок, а иногда только пять пар пластин, но результаты и теперь получались одинаковые. Следовательно, *изменения напряжения*, обусловленные различием в силе заряда или в числе взятых для опыта пар, *не вызывали изменений, т. е. действие больших и малых электродов оставалось одинаковым.*

724. Однако эти результаты еще не доказывают, что изменение напряжения тока не сопровождалось соответствующим изменением электрохимических действий, так как действие могло усиливаться и ослабевать у всех поверхностей одновременно. Но этот пробел в доказательстве прекрасно восполняется предыдущими опытами с электродами различных размеров, так как при изменении последних должно получаться изменение напряжения. Если проводники, по которым проходит ток, одинаковы по природе, качеству и длине, то напряжение тока, вероятно, пропорционально количеству электричества, проходящему через данное, перпендикулярное току, сечение проводника, деленному на время (360, примечание). Поэтому, когда мы сравниваем большие пластинки и проволоки, отделенные друг от друга одним и тем же самым разлагаемым проводником одинаковой длины (714), и когда через оба прибора проходит один и тот же ток электричества, это электричество между пластинками и между проволоками должно находиться в весьма различных состояниях в отношении *напряжения*; тем не менее, химические результаты были одинаковы.

725. Различие в напряжении при описанных условиях можно легко показать на опыте, если взять два прибора для разложения, расположить их, как показано на рис. 69, и подвергать в них одну и ту же жидкость разлагающему действию одного и того же тока электричества; этот ток проходит тогда в сосуде *A* между большими платиновыми пластинками, а в сосуде *B* — между маленькими проволочками. Если к проводам *a* и *b* рис. 69 присоединить третий прибор для разложения, вроде изображенного на рис. 68 (711), то степень возникающего в нем разложения будет давать достаточно хорошие указания о том,

каково относительное состояние двух пластинок в смысле их напряжения. Если затем таким же образом присоединить этот прибор к проводам a' и b' , чтобы ознакомиться с их состоянием, то по усилению разложения в приборе мы увидим, насколько напряжение в этом случае больше, чем между точками a и b . Соединения точек P и N с гальванической батареей должны, конечно, сохраняться все время.

726. Третье видоизменение опыта, в котором для проверки принципа равенства химического действия, я также добивался различия напряжения, заключалось в том, что три вольта-электромметра располагались таким образом, что электрический ток, пройдя через один из них, разветвлялся на две части, каждая из которых проходила через один из оставшихся приборов, а затем разветвленные токи вновь соединялись. Сумма продуктов разложения в обоих последних сосудах всегда была равна количеству вещества, разложенного в первом сосуде. *Напряжение же разветвленного тока не могло быть таким же, как в первоначальном состоянии, а, следовательно, изменение напряжения не оказывает влияния на результаты, если количество электричества остается одинаковым.* Этот опыт в сущности сводится просто к увеличению размеров электродов (725).

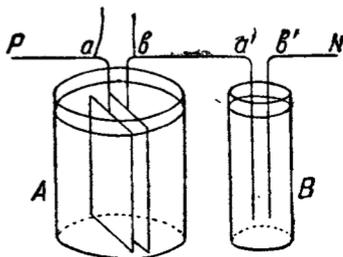


Рис. 69.

727. Третьим фактором, в отношении которого был проверен принцип равенства электрохимического действия, скажем, воды, было *изменение крепости раствора*, которым я пользовался. Для сообщения воде проводимости, к ней добавлялась серная кислота (707); казалось вполне правдоподобным, что эта последняя, наравне со многими другими веществами, сможет повысить разложимость воды, если количество электричества останется постоянным. Это, однако, не подтвердилось. Разбавленная серная

кислота различной крепости вводилась в различные приборы для разложения и подвергалась одновременно действию одного и того же электрического тока (714). Как и ранее, наблюдались небольшие отклонения то в ту, то в другую сторону, но в окончательном результате *одно и то же количество электричества во всех растворах разлагало в точности одно и то же количество воды*, хотя в некоторых растворах количество серной кислоты было в семьдесят раз больше, чем в других. Крепость, которой я пользовался, соответствовала удельному весу 1,495 и ниже.

728. При кислоте с удельным весом около 1,336 получались очень однородные результаты и весьма постоянное отношение между количествами кислорода и водорода (716). Под действием одного и того же тока такая кислота давала газа больше, чем более разбавленная, — повидимому, потому, что она обладала меньшей растворяющей способностью. При очень крепкой кислоте наблюдалось заметное исчезновение кислорода; так, кислота, приготовленная смешиванием двух частей крепкого купоросного масла и одной части воды, давала сорок два объема водорода и всего двенадцать объемов кислорода. Количество водорода очень близко подходило к тому, которое выделялось из кислоты с удельным весом 1,232. У меня еще не было времени подробно изучить обстоятельства, сопровождающие в этом случае исчезновение кислорода, но мне кажется, что оно объясняется образованием перекиси водорода, чему, как показал Тенар, благоприятствует присутствие кислоты.

729. Хотя для практического применения описываемого мною прибора это и не являлось необходимым, но так как это было связано с важным вопросом о постоянстве электрохимического действия на воду, то я исследовал затем действия, производимые электрическим током при прохождении через водные растворы кислот, солей и соединений, сильно отличающихся друг от друга по своей природе, и нашел, что они дают изумительно однородные результаты. Впрочем, многие результаты — те, которые связаны с вторичным действием, — будет более полезно описать позже (778).

730. При действии электрического тока на растворы едкого кали или натра, сульфата магнезии или натра, из них выделялось почти столько же водорода и кислорода, сколько из разбавленной серной кислоты, с которой производилось сравнение. При опытах с раствором аммиака, проводимость которого увеличивалась прибавлением сульфата аммония (554), а также в опытах с раствором субкарбоната кали *водород* выделялся в таком же количестве, как из разбавленной серной кислоты, с которой эти вещества сравнивались. Следовательно, *изменения в природе раствора не нарушают постоянства электрохимического действия на воду.*

731. По вопросу о больших и малых электродах я уже указывал, что изменение в порядке их расположения не меняет основного результата (715). Так же обстояло дело с различными растворами и при различных напряжениях, и результаты опыта, независимо от изменения его условий, оказывались чрезвычайно согласными, подтверждая этим, что электрохимическое действие было все то же.

732. Я считаю, что предыдущее исследование в достаточной степени доказывает чрезвычайно важный принцип в отношении воды, а именно, что *количество воды, разложенной под влиянием электрического тока, в точности пропорционально количеству прошедшего электричества*, несмотря на изменение на тысячи ладов тех обстоятельств и условий, в которые вода в данный момент поставлена; и далее, что если приняты меры против вредного влияния известных вторичных действий (742 и т. д.), против растворения или же обратного соединения газов и выделения воздуха, *то продукты разложения могут быть собраны с такой точностью, что дают превосходное и ценное средство для измерения электричества, участвующего в их выделении.*

733. Из приведенных мною типов приборов, изображенные на рис. 66, 67 и 68 (709, 710, 711), вероятно, окажутся наиболее пригодными и полезными, так как объем газов, которым они указывают количество электричества, имеет наибольшую величину, и так как они представляют наименьшее препятствие про-

хождению тока. В отношении жидкостей мой опыт заставляет предпочесть серную кислоту с удельным весом, примерно, в 1,336 или от 1,336 до 1,25; но весьма существенно, чтобы в ней не было органических веществ, каких-либо растительных кислот и других тел, которые могут взаимодействовать с выделяющимися у электродов кислородом и водородом (773 и т. д.) и тем вызвать уменьшение их количества или добавить к ним другие газы.

734. Во многих случаях, когда прибор служит в качестве *сравнительного* или даже в качестве *измерительного*, может оказаться желательным собирать только водород, так как он менее кислорода подвержен поглощению или исчезновению другими путями, и в то же время его объем настолько велик, что делает его хорошим и чувствительным индикатором. В таких случаях я пользовался приборами первого и второго типов — рис. 64, 65 (707, 708). Даваемые ими показания были весьма постоянны, и отклонения получались значительно меньше, чем в приборах тех типов, в которых собирают оба газа. Подобные показания могут быть получены в сравнительных опытах с такими растворами, которые не выделяют кислорода или же выделяют лишь продукты его вторичного действия; но эти же растворы не могут дать показаний, если собирать продукты, выделяющиеся у обоих электродов. Так обстоит дело при пользовании растворами аммиака, соляной кислоты, хлоридов и иодидов солей, уксусной и других растительных кислот и т. п.

735. В небольшом числе случаев, как, например, при действии на соли тяжелых металлов, которые легко восстанавливаются у отрицательного электрода, в качестве индикатора можно с успехом пользоваться кислородом. Это справедливо, например, для сульфата меди.

736. Таким образом имеется два основных типа прибора, которые я предлагаю для измерения количества электричества: в одном улавливаются оба газа, получающиеся от разложения воды (709, 710, 711), а в другом собирается только один газ, например водород (707, 708). При пользовании прибором для *сравнительных* измерений (я буду в дальнейшем пользоваться им

весьма широко) прибегать во время наблюдений к специальным предосторожностям приходится редко; если же пользоваться им для *абсолютных измерений*, то необходимо принимать в расчет барометрическое давление и температуру, а также озаботиться, чтобы градуировка приборов была однородна. Для этой цели можно пользоваться сотыми и более мелкими долями кубического дюйма, и сотую долю очень удобно назвать одним *градусом* электричества.

737. Едва ли необходимо описывать способ пользования прибором более подробно, чем это уже сделано. Его следует включить в цепь того электрического тока, действие которого должно проявляться в другом месте, и измерить в один (а если требуется, в несколько) приемов 60° — 70° электричества; этот ток, независимо от силы, надо поддерживать до тех пор, пока газ в трубке не займет указанное количество делений, т. е. сотых долей кубического дюйма. Далее, если нужно измерить количество электричества, способное произвести определенное действие, то надо получить это действие, а затем произвести отсчет. При точных опытах в полученную величину объема газа необходимо ввести поправку на изменение температуры, давления и, особенно, влажности.¹ В этом отношении изображенный на рис. 68 вольт-электрометр является наиболее точным, так как в нем газ может быть измерен над водой, тогда как в остальных приборах он находится над кислотой или растворами солей.

738. Я, не колеблясь, ввел термин *градус* (736) по аналогии с применением его по отношению к другому весьма важному невесомому агенту, а именно — к теплу; и подобно тому как там использовано определенное расширение воздуха, воды, ртути и т. п. для измерения тепла, так здесь столь же определенное выделение газов служит для той же цели в отношении электричества.

739. Этот прибор представляет собой единственный *действительный измеритель* гальванического электричества, какой в на-

¹ Я беру на себя смелость указать мои «*Chemical Manipulation*», 1830, стр. 376 в качестве простой таблицы поправок на влажность.

стоящее время имеется в нашем распоряжении. В самом деле, на него не оказывают никакого влияния ни время, ни изменения напряжения или самого тока, какого бы они ни были характера и происхождения; даже перерывы действия на него не влияют, и поэтому он в точности отмечает прошедшее через него количество электричества и дает его в результате простого отсчета. Поэтому я назвал его *вольта-электрометром*.

740. Во многих случаях для измерения гальванического электричества можно с успехом пользоваться другим способом, основанным на измерении количества металлов или других веществ, выделившихся в качестве первичных или вторичных продуктов разложения. Я не стану, однако, подробнее останавливаться на таком использовании этих продуктов, покуда не будут полностью установлены те принципы, на которых основано их постоянство (791, 843).

741. С помощью указанного прибора мне удалось установить определенность электрохимического действия в наиболее общем смысле этого слова, и я убежден, что это обстоятельство окажется чрезвычайно полезным при том развитии науки, которое вызвано будет этими взглядами. Я не претендую на то, что изучил электрохимическое действие во всех его деталях, и думаю лишь, что доказал правильность самого принципа и выгоду его применения.¹

ГЛАВА VI

О первичном или вторичном характере выделяющихся у электродов химических веществ

742. Прежде чем стало возможным применить *вольта-электрометр* для установления *общего закона* постоянства электро-разложения, оказалось необходимым исследовать уже ранее обна-

¹ Еще в 1811 г. гг. Гей-Люссак (Gay Lussac) и Тенар применяли химическое разложение для измерения электричества гальванического элемента. См. *Recherches physico-chimiques*, стр. 12. Правила и предосторожности, при наличии которых это измерение становится точным, тогда, конечно, были неизвестны. Дек. 1838 г.

руженное учеными различие между продуктами этого действия, а именно: их первичный или вторичный характер, а также по возможности установить с помощью какого-либо правила или принципа, когда они носят тот или другой характер. В дальнейшем будет показано, что смешение этих двух типов продуктов разложения приводило к большим ошибкам в отношении электрохимического действия и его последствий.

743. Когда разлагаемое вещество выделяет у электродов неизменными и не вступившими в новые соединения те вещества, на которые оно распалось под влиянием электрического тока, то их можно считать первичными продуктами, даже если сами они являются сложными телами. Так, кислород и водород представляют собой первичные продукты разложения воды, и таковы же кислота и щелочь (сами по себе сложные тела), выделяющиеся из сульфата натра. Когда же разделенные токами вещества перед своим выделением претерпевают у электродов изменение, тогда они дают начало вторичным продуктам, хотя во многих случаях выделяющиеся тела представляют собой элементы.

744. Эти вторичные продукты образуются двумя путями: иногда в результате взаимодействия между выделившимся веществом и материалом электрода, а иногда — вследствие действия первого на вещества, заключенные в самом разлагаемом теле. Так, в том случае, когда положительным электродом служит уголь в разбавленной серной кислоте, около него вместо кислорода иногда появляются окись углерода и угольная кислота, так как кислород, действуя на вещество электрода, образует эти вторичные продукты. Другой пример: если положительным электродом служит платина в растворе нитрата или ацетата свинца, то около нее появляется перекись свинца, являющаяся в такой же мере вторичным продуктом, но-образующаяся в данном случае действием кислорода на вещество в растворе. Далее, при разложении аммиака с помощью платиновых электродов, у *анода*¹ появляется азот, который, хотя и является *простым*

¹ Annales de Chimie, 1804, LI, стр. 167.

веществом, но в данном случае представляет собой вторичный продукт, будучи результатом химического действия электрически выделенного кислорода на аммиак в *окружающем растворе* (554). Точно так же при разложении током водных растворов солей металлов, выделяющиеся у *катода* металлы, хотя и являются элементами, но *всегда* представляют собой вторичные продукты, а не непосредственные результаты разлагающей способности электрического тока.

745. Многие из этих вторичных продуктов являются крайне ценными; таковы, например, все те интересные соединения, которые с помощью слабых токов получал г. Беккерель (Becquerel); однако все они по существу химического происхождения, и в теории электролитического действия их необходимо тщательно отличать от тех веществ, которые образуются непосредственным действием электрического тока.

746. Природа выделившихся веществ часто приводит к правильному суждению об их первичном или вторичном характере, но одной ее недостаточно для решения данного вопроса. Так, например, утверждают, что азот притягивается иногда положительным, а иногда отрицательным электродом, в зависимости от того, с каким веществом он соединен (554, 555); в таких случаях его, очевидно, считают первичным продуктом,¹ но я рассчитываю показать, что выделенный у положительного электрода, или, вернее, *анода*, он является вторичным продуктом (748). Таким же образом сэр Гемфри Дэви,² а с ним и большинство химиков (включая и меня) появление у отрицательного электрода меди, свинца, олова, серебра, золота и т. п. под действием гальванического тока на водные растворы этих элементов приводили в качестве *доказательства того*, что все металлы притягиваются этой поверхностью, тем самым предполагая, что в каждом из этих случаев металл является первичным продуктом. Однако я надеюсь доказать, что все они представляют собой вто-

¹ Annales de Chimie, 1804, LI, стр. 172.

² Elements of Chemical Philosophy, стр. 144, 161.

ричные продукты и являются просто результатами химического действия, отнюдь не доказывая существования притяжения, а также высказанного относительно их месторасположения закона.¹

747. Однако, если мы обратимся к закону *постоянства электрохимического действия*, который уже доказан для воды (732) и который я надеюсь удовлетворительным образом распространить на все вещества (821), и если будем иметь в виду не только *природу* освобождающихся веществ, но и их *количества*, то, вообще говоря, можно составить себе правильное суждение о первичном или вторичном характере продуктов разложения. Это чрезвычайно важный вопрос, столь существенный для теории электролиза, ибо он устанавливает, какие частицы находятся под непосредственным влиянием электрического тока (в отличие от тех, которые не поддаются влиянию последнего), и каких результатов разложения можно ожидать, — этот вопрос может быть решен таким образом с достаточной степенью определенности, что освободит эту отрасль знания от бесчисленных двусмысленностей и сомнительных рассуждений.

748. Применим эти положения к случаю аммиака и к предполагаемому тяготению азота к тому или другому *электроду* (555, 554). Чистый крепкий раствор аммиака является столь же плохим проводником и так же мало подвержен электролизу, как и чистая вода. Но если в нем растворен сульфат аммония, то все вместе становится проводящим; у анода выделяется азот, почти чистый, а иногда и совершенно чистый, а у катода — водород; отношение объемов первого ко второму колеблется, составляя приблизительно от 1 : 3 до 1 : 4. Отсюда, на первый взгляд,

¹ Замечательно, что вплоть до 1804 г. было принято мнение, что металлы восстанавливаются под влиянием водорода в момент выделения. В этом году этот взгляд был опровергнут Гизингером (Hisinger) и Берцелиусом (Berzelius. *Annales de Chimie*, LI, стр. 174), которые установили, что металлы выделяются непосредственно электричеством, с каковым мнением с тех пор, повидимому, согласился и Дэви (*Philosophical Transactions*, 1826, стр. 388).

казалось бы, что электрический ток вызвал разложение аммиака и направил азот к положительному электроду. Однако когда с помощью вольта-электрометра (707, 736) было измерено количество прошедшего электричества, то оказалось, что количество водорода точно соответствовало тому, что дало бы разложение воды; для азота же нельзя было установить определенного или постоянного соотношения. С увеличением числа опытов было обнаружено, что, взяв более крепкий или более слабый раствор или более или менее сильную батарею, мы находим, что выделяющийся около *анода* газ представляет собой смесь кислорода и азота, меняющуюся как по абсолютному количеству, так и по своему относительному составу, в то время как количество водорода у *катода* остается неизменным; и тогда не оставалось места для сомнения в том, что азот у *анода* является вторичным продуктом, зависящим от химического действия на находящийся в растворе аммиак кислорода в момент выделения, — кислорода, направляемого к этой поверхности электрическим током. Таким образом электролизу подверглась вода, а не аммиак. Далее, опыт не дает фактических указаний на стремление элемента азота к тому или другому электроду; мне не известны также никакие опыты с азотной кислотой или другими соединениями азота, которые бы указывали на стремление этого элемента перемещаться под влиянием электрического тока вдоль его пути в том или другом направлении.

749. В качестве еще одной иллюстрации образования вторичных продуктов можно привести действие электрического тока на раствор ацетата кали. Когда я брал очень крепкий раствор, у *анода* газ выделялся в большем количестве, чем у *катода*, примерно в отношении четырех к трем, причем газ у *анода* представлял собой смесь окиси углерода и угольной кислоты, а газ у *катода* — чистый водород. При значительно более слабом растворе, у *анода* газа выделялось меньше, чем у *катода*; кроме окиси углерода и угольной кислоты, он теперь содержал углеводороды. Это образование углеводородов у положительного электрода является совершенно аномальным, если рассматри-

вать его как непосредственное следствие разлагающей способности тока. Но это вещество, подобно окиси углерода и угольной кислоте, представляет собой только *вторичный продукт*, так как разложение претерпевает одна лишь вода, а те вещества, которые в конечном итоге появляются у электрода, создаются кислородом, освобождающимся у *анода* и действующим на искусственную кислоту, в среде которой он выделяется. Это полностью подтверждено опытами с вольта-электрометром (707); в самом деле, в этом случае масса водорода, выделившегося у *катода* из ацетата, всегда оказывается определенной, в точности соответствующей количеству прошедшего через раствор электричества и в точности равной количеству водорода, выделяющегося в самом вольта-электрометре. Появление у положительного электрода углерода в соединении с водородом и отсутствие его у отрицательного электрода представляет любопытный контраст с теми результатами, которых можно было бы ожидать, исходя из принимаемого обычно закона, указывающего место элементов в конце опыта.

750. Если находящаяся в растворе соль представляет собой ацетат свинца, то продукты разложения у обоих электродов оказываются вторичными и не могут служить для оценки и определения суммарного электрохимического действия, разве что косвенным образом (843). Вместо кислорода, и даже вместо упомянутых выше газов (749), у положительного электрода в этом случае появляется перекись свинца, а у отрицательного — просто свинец. При опытах с другими растворами солей тяжелых металлов, например с растворами, содержащими перекиси — скажем, меди — в соединении с той или другой способной разлагаться кислотой, получают еще более сложные продукты. Если рассматривать выделяющиеся вещества как непосредственные продукты электрохимического действия, то в их соотношениях наблюдается полная путаница. Если же считать их вторичными продуктами, то они представляются вполне простыми и согласными, а по своим соотношениям соответствуют кислороду и водороду, выделяющимся из воды под действием определенного количества электричества:

751. Я подвергал опыту множество веществ с целью определить, являются ли продукты их разложения первичными или вторичными, и был поражен, какое большое число в обычных случаях принадлежит последнему классу, и как часто, когда считают, что распадаются другие вещества, единственным претерпевшим электролиз веществом является вода. Некоторые из этих выводов я приведу сколь возможно кратко.

752. А з о т н а я к и с л о т а. Очень крепкая кислота проводила хорошо и выделяла у положительного электрода кислород. У отрицательного электрода газа не появлялось, но здесь шло образование азотистой кислоты и, повидимому, окиси азота, которая, растворяясь, окрашивала кислоту в желтый или красный цвет и, в конце концов, вызывала ее вскипание в результате спонтанного выделения двуокиси азота. При разбавлении кислоты равным или большим объемом воды у отрицательного электрода появлялся газ. Количество его можно было изменять, изменяя либо крепость кислоты, либо силу гальванического тока; действительно, кислота, от которой при слабой батарее газ у *катода* не выделялся, при более сильной батарее выделяла газ; равным образом батарея, которая не выделяла газа у *катода* в случае применения крепкой кислоты, вызывала его выделение из кислоты более разбавленной. Газ у *анода* всегда представлял собой кислород, а у *катода* — водород. При измерении продуктов разложения с помощью вольт-электрометра (707) оказывалось, что как из крепкой, так и из слабой кислоты водород получался в таком же относительном количестве, как из воды. И в том случае, когда кислота была разбавлена до удельного веса 1,24 и меньше, водород также получался в том же количестве, как из воды. Отсюда я заключаю, что электролиз претерпевает не азотная кислота, а одна лишь вода, что кислород у *анода* всегда представляет собой первичный продукт, но что продукты разложения у *катода* часто являются вторичными и образуются действием водорода на азотную кислоту.

753. С е л и т р а. Раствор этой соли дает весьма разнообразные результаты в зависимости от формы трубки и от размеров

электродов. Иногда у отрицательного электрода можно собрать весь водород из разложенной воды, иногда же, вследствие быстрого образования вторичных продуктов, — только часть его. Раствор является прекрасным проводником электричества.

754. Н и т р а т а м м о н и я в водном растворе дает начало образованию вторичных продуктов, очень разнообразных и неопределенных по составу.

755. С е р н и с т а я к и с л о т а. Чистая, жидкая сернистая кислота не проводит гальванического тока¹ и не распадается под влиянием его, но если растворить ее в воде, то раствор становится проводящим и разлагается, выделяя кислород у *анода* и водород и серу у *катода*.

756. Раствор, содержащий, кроме сернистой, также и серную кислоту, представляет собой несколько лучший проводник. Он давал у каждого электрода очень небольшое количество газа, причем газ у *анода* оказывался кислородом, а у *катода* — чистым водородом. От *катода*, кроме того, поднималась белая мутная струя, состоящая из серы во взвешенном состоянии, так что вскоре весь раствор делался похожим на молоко. Не наблюдалось никакого правильного отношения между объемами газов и теми количествами, которые выделялись из воды в вольтметре. Я прихожу к заключению, что во всех этих случаях электрический ток не оказывал никакого влияния на сернистую кислоту, и что единственным веществом, претерпевавшим разложение, являлась присутствующая вода; что у *анода* полученный из воды кислород превращал сернистую кислоту в серную, а у *катода* выделившийся под действием электрического тока водород разлагал сернистую кислоту, соединяясь с ее кислородом и освобождая ее серу. Я заключаю, что сера у отрицательного электрода являлась лишь вторичным продуктом; и действительно, когда для опыта брались слабые растворы сернистой кислоты, сера совсем не соединялась с тем небольшим количеством водорода, который в этом случае уходил в воздух.

¹ См. также де ля Рив. *Bibliothèque Universelle*, XL, стр. 205, или *Quarterly Journal of Science*, XXVII, стр. 407.

757. **С е р н а я к и с л о т а.** Я уже приводил свои основания в пользу того, что серная кислота не подвержена электролизу, т. е. что она непосредственно не разлагается электрическим током, но иногда подвергается вторичным действиям со стороны выделяющегося у *катода* водорода (681). В 1800 г. Дэви высказывал мнение, что сера, получающаяся из серной кислоты, является результатом действия водорода в момент выделения.¹ В 1804 г. Гизингер и Берцелиус установили, что она является непосредственным результатом действия гальванического элемента,² — мнение, к которому с того времени, повидимому, присоединился и Дэви, и которое с тех пор стало общепринятым. Ввиду того, что и я изменил свое мнение, мне следует внести поправку в то, что мною уже говорилось о разложении серной кислоты в одной из предыдущих серий настоящих «Исследований» (552). В настоящее время я не думаю, чтобы появление серы у отрицательного электрода являлось непосредственным следствием электролитического действия.

758. **С о л я н а я к и с л о т а.** Крепкий раствор давал водород у отрицательного электрода и один только хлор у положительного; часть последнего действовала на платину, а часть растворялась. Оставались небольшие пузырьки газа: это был не кислород, а, по всей вероятности, находившийся ранее в растворе воздух.

759. Важно было определить, являлся ли хлор первичным результатом или же только вторичным продуктом, происшедшим вследствие действия выделившегося из воды у *анода* кислорода на соляную кислоту, т. е. подвержена ли соляная кислота электролизу, и если это так, то являлось ли это разложение *определенным*.

760. Соляная кислота постепенно разбавлялась. Одна часть кислоты с шестью частями воды давала у *анода* только хлор. Одна часть кислоты с восемью частями воды выделяла только

¹ Nicholson's Quarterly Journal, IV, стр. 280, 281.

² Annales de Chimie, 1804, LI, стр. 173.

хлор; при девяти частях воды вместе с хлором появлялось немного кислорода, но присутствие или отсутствие кислорода при этих разбавлениях зависело частью от силы, взятой для опыта батареи. При пятнадцати частях воды у *анода* выделялось немного кислорода с большим количеством хлора. Так как теперь раствор становился уже плохим проводником, то к нему была добавлена серная кислота; это вызывало более быстрое разложение, но заметно не изменяло относительных количеств хлора и кислорода.

761. После этого к соляной кислоте был добавлен стократный объем разбавленной серной кислоты. Все же она выделяла у *анода* большое количество хлора, смешанного с кислородом, и результат оставался одинаковым, независимо от того, из скольких пар состояла батарея: из 40 или же всего из 5 пар пластин. При кислоте такого разбавления отношение объемов выделявшегося у *анода* и *катода* кислорода и водорода было равно 17 : 64, и таким образом хлора должно бы оказаться 30 объемов, если бы он не растворялся в жидкости.

762. Теперь по вопросу о количестве выделяющихся элементов: с помощью вольта-электрометра было найдено, что независимо от того, бралась ли для опыта самая крепкая или самая слабая кислота и появлялся ли у *анода* один хлор или же хлор, смешанный с кислородом, — все равно, количество выделившегося у *катода* водорода оставалось постоянным, т. е. тем же самым, что и количество водорода, которое было выделено тем же самым количеством электричества из воды.

763. Это постоянство не дает указания на то, подвергается ли соляная кислота электролизу или нет, хотя и доказывает, что если подвергается, то обязательно в определенном количественном отношении с подействовавшим количеством электричества. Для решения этого вопроса можно, однако, привлечь другие соображения. Аналогия между хлором и кислородом в их отношении к водороду настолько велика, что создает почти уверенность, что в соединении с этим элементом они в процессе электроразложений будут вести себя одинаково. Оба они соеди-

няются с водородом в отношении один на один или в эквивалентных отношениях, а так как количество эквивалентов находится, повидимому, в тесной и важной связи с разложимостью вещества (697), то соотношение составляющих в соляной кислоте, так же как и в воде, является наиболее благоприятным или, пожалуй, даже необходимым для разложения. И в случае других двойных соединений хлора, где нет той неопределенности, которая вызывается одновременным наличием хлора и кислорода, хлор под действием электрического тока также выделяется непосредственно у *анода*. Так обстоит дело в случае хлорида свинца (395), который всецело можно сравнить с протоксидом свинца (402), и который находится в таком же отношении к нему, как соляная кислота к воде. Хлориды калия, натрия, бария и т. д. находятся в таком же отношении к протоксидам тех же металлов и под влиянием электрического тока дают такие же результаты (402).

764. На основании всех этих опытов, равно как и приведенных выше соображений, я прихожу к заключению, что соляная кислота разлагается под непосредственным влиянием тока, и что количество выделяющихся продуктов разложения, а, следовательно, и химическое действие определенного количества электричества является вполне определенным. В самом деле, хотя я не собирал и не измерял хлор у *анода* отдельно, однако не может быть сомнений в том, что количество его пропорционально водороду у *катода*, и таким образом результаты оказываются достаточными для того, чтобы установить общий закон *постоянства электрохимического действия* и для случая соляной кислоты.

765. Я прихожу к заключению, что в разбавленной кислоте (761) часть воды претерпевает электрохимическое разложение, обуславливая выделение кислорода, который и появляется у *анода* в смеси с хлором. Кислород можно рассматривать и как вторичный продукт, но я склонен полагать, что это не так, потому что в таком случае можно было бы ожидать, что более крепкая кислота дает его в более значительных количествах; на деле же наблюдается обратное. Это соображение, совместно

с другими, также приводит меня к заключению, что солимины кислота разлагается электрическим током с большей легкостью, чем вода, так как при разбавлении восьми- или девятикратным количеством этой жидкости распадается все же одна кислота, а вода остается неразложенной.

766. Хлориды. При растворах хлоридов в воде, как, например, хлорида натрия или кальция, выделение хлора имело место только у положительного электрода, а у отрицательного электрода выделялся водород с окислами основания, скажем, натра и извести. Процесс разложения можно рассматривать как протекающий двумя или тремя путями, которые все приводят к одним и тем же результатам. Может быть проще всего принимать, что веществом, претерпевающим электролиз, является хлорид, причем входящий в его состав хлор стремится к *аноду* и выделяется у него, тогда как металл переходит к *катоду*, где, не встречая более хлора, он действует на воду, образуя в результате вторичной реакции водород и окисел. Поскольку дальнейшее обсуждение отвлекло бы меня от более существенных вопросов и не представляет непосредственного интереса, я в настоящий момент от него воздержусь. *Весьма важно*, однако, установить, что, пользуясь вольта-электрометром, я в обоих случаях получал определенное количество водорода; если эти результаты и не доказывают определенности разложения хлоридов (что будет доказано в другом месте — 789, 794, 814), то они ни в малейшей степени не противоречат этому заключению и являются подкреплением *общего закона*.

767. Иодисто-водородная кислота. Действие на раствор кислоты было одинаково с действием на соляную кислоту. Когда она была крепкая, у отрицательного электрода выделялся водород в определенном отношении к количеству прошедшего электричества, т. е. в том же количестве, в каком он был бы выделен тем же самым током из воды; у положительного электрода выделялся иод без всяких следов кислорода. Когда же кислота была разбавленная, у *анода* вместе с иодом появлялись небольшие количества кислорода; количество водорода у *катода* не менялось.

768. По причинам, приведенным ранее для соляной кислоты, (763, 764), я полагаю, что кислота в этом случае разлагается непосредственно.

769. И о д и д ы. Когда действию гальванического тока был подвергнут раствор иодида калия, то у положительного электрода появлялся иод (без всяких следов кислорода), а у отрицательного электрода — водород и свободная щелочь. В отношении характера разложения в этом случае можно привести те же замечания, которые были высказаны по поводу растворов хлоридов (766).

770. Ф т о р и с т о - в о д о р о д н а я к и с л о т а и ф т о р и д ы. Раствор фтористо-водородной кислоты не обнаружил признаков разложения под влиянием электрического тока; распалась, повидимому, вода. Расплавленные фториды претерпевали разложение, но так как при этом я получил в свободном состоянии фтор, то я полагаю, что лучше отложить вопрос до одной из дальнейших серий настоящих «Исследований», где я предполагаю дать более полный отчет о полученных результатах, чем это уместно здесь.¹

771. С и н и л ь н а я к и с л о т а в растворе является очень плохим проводником. У *катода* выделяется водород в вполне определенном количестве, равном тому, которое получается из воды; в то же время у *анода* выделялось небольшое количество кислорода, и, повидимому, имело место образование раствора синерода. Это действие в точности соответствовало действию на разбавленную соляную и иодисто-водородную кислоты. Когда я увеличивал проводимость синильной кислоты с помощью серной кислоты, получались такие же результаты.

Ц и а н и д ы. С раствором цианида калия получались точно такие же результаты, как с хлоридами и иодидами. У положительного электрода кислорода не выделялось, а появлял-

¹ Я не получил фтора при более строгом рассмотрении; мои ожидания, доходившие до полной уверенности, одно за другим отпадали; были получены некоторые весьма странные результаты, и об одном из них я упоминаю в п. 1340. Дек. 1838 г.

ся бурый раствор. По тем же причинам, которые были приведены для хлоридов (766), а также потому, что расплавленный цианид калия выделяет у положительного электрода¹ синерод, и склонен полагать, что цианид в растворе разлагается *непосредственно*.

772. Железисто-синеродистая кислота и железисто-синеродистые соли, так же как и сульфо-цианистая кислота и сульфо-цианиды, дали результаты, соответствующие только что описанным (771).

773. Уксусная кислота. Ледяная уксусная кислота, будучи расплавлена, не проводит электричества и не разлагается им. При добавлении к ней небольшого количества воды, никаких признаков действия все же не оказывалось; при добавлении большего количества воды она медленно действовала, и притом приблизительно так же, как чистая вода. Чтобы увеличить проводимость уксусной кислоты, к ней была добавлена разбавленная серная кислота; в этом случае у *катода* выделялось определенное количество водорода, а у *анода* — смесь кислорода, в относительно весьма малом количестве, с угольной кислотой, и немного окиси углерода. Отсюда явствует, что уксусная кислота не подвергается электролизу, но часть ее разлагается выделяющимся у *анода* кислородом, вызывающим образование вторичных продуктов, изменяющихся в зависимости от крепости кислоты, напряжения тока и других обстоятельств.

774. Ацетаты. Относительно одного из них уже говорилось в связи с уксусной кислотой: что она дает только вторичные продукты разложения (749). Для очень многих ацетатов металлов продукты разложения у обоих электродов являются вторичными (746, 750).

¹ Странно наблюдать, как в этом случае углерод и азот сильно стремятся к положительному полюсу гальванической батареи; однако это находится в полном согласии с выдвинутой мною теорией электрохимического разложения.

Плавленный и безводный ацетат натрия, являясь, как я полагаю, истинным электролитом, разлагается непосредственно и выделяет у *катода* и *анода* натр и уксусную кислоту. Однако существование их весьма непродолжительно, и они немедленно дают другие вещества; причем у катода выделяются древесный уголь, гидрид натрия и т. д. и, насколько я мог судить при этих условиях, смесь уксусной кислоты с окисью углерода, угольной кислотой и т. п. у анода.

775. **Виннокаменная кислота.** Чистый раствор виннокаменной кислоты является почти таким же плохим проводником, как и чистая вода. При добавлении серной кислоты виннокаменная кислота проводила хорошо, причем продукты разложения у положительного электрода являлись первичными или вторичными в различных пропорциях, в соответствии с изменениями крепости кислоты и мощности электрического тока (752). Щелочные тартраты давали большие количества вторичных продуктов у положительного электрода. Количество водорода у отрицательного электрода оставалось неизменным, если только опыты не производились с некоторыми тройными слоями металлов.

776. Затем один за другим были подвергнуты электролитическому действию гальванического тока растворы солей, содержащих другие растительные кислоты, как, например, соли бензойной кислоты, растворы сахара, смолы и т. п. в разведенной серной кислоте; растворы канифоли, белковых веществ и т. п. в щелочах. Во всех этих случаях у положительного электрода в большем или меньшем количестве получались вторичные продукты.

777. Заканчивая этот отдел настоящих исследований, невольно приходишь к мысли, что окончательные продукты действия электрического тока на помещенные между электродами вещества не всегда просты, а напротив, иногда весьма сложны. Эти вещества могут быть разлагаемы двояким образом: либо непосредственно действием электрического тока, либо под действием веществ, которые выделены этим током. Существует также два

способа образования новых соединений, а именно: путем непосредственно соединения выделяющихся веществ с веществами электродов в момент их выделения (658) или же путем их соединения с теми веществами, которые, входя в состав претерпевшего разложение тела или будучи связаны с ним, по этой причине обязательно присутствуют у *анода* и *катода*. Сложность еще усугубляется тем обстоятельством, что могут одновременно возникать два и более этих действий и в разных количественных отношениях друг с другом. Однако она может быть в значительной мере распутана с помощью приведенных выше правил (747).

778. При *водных* растворах веществ вторичные продукты разложения встречаются крайне часто. Даже тогда, когда вода присутствует не в большом количестве, а только в соединении, все же часто образуются вторичные продукты; очень возможно, например, что в разложении гидратов кали и натра, произведенном сэром Гемфри Дэви, часть полученного калия является результатом вторичного действия. Это является также частой причиной исчезновения кислорода и водорода, которые выделялись бы при других условиях; и когда в *водном растворе* водород *не* появляется у *катода*, то это, пожалуй, всегда указывает на то, что имело место вторичное действие. До сих пор я не наблюдал исключений из этого правила.

779. Вторичные действия *не ограничиваются водными растворами* или теми случаями, в которых присутствует вода. Например, в разнообразных хлоридах, когда они в расплавленном состоянии (402) подвергаются действию платиновых электродов, хлор электрически тяготеет к аноду. Во многих случаях, например в случае хлоридов свинца, калия, бария и т. п., хлор действует на платину и образует с ней соединения, которые растворяются. Но при протохлориде олова хлор у *анода* действует не на платину, а на находящийся уже там хлорид, образуя перхлорид олова, который испаряется (790, 804). Вот примеры вторичных действий обоого рода, происходящих в телах, не содержащих воды.

780. Получение бора из расплавленной буры (402, 417) также представляет собой случай вторичного действия; в самом деле. борная кислота не разлагается электричеством, и в описанном ранее опыте бор освобождается благодаря реакции выделяющегося у катода натрия с окружающей его борной кислотой, у которой он отнимает кислород.

781. В руках Беккереля вторичные действия уже дали много интересных результатов в смысле образования соединений; некоторые из них являются новыми телами, а другие воспроизводят тела, встречающиеся в природе.¹ Возможно, что они окажутся интересными и в смысле противоположных действий, т. е. представят нам примеры аналитического разложения. Подвергая такие вещества, как растительные кислоты и щелочи и вообще органические соединения, действию кислорода, водорода, хлора и т. п. в момент их выделения у электродов, можно, вероятно, получить много указаний в отношении состава этих веществ, а может быть, даже расположения их частиц. Эти действия представляются еще более многообещающими в связи с тем, что такие привходящие обстоятельства, как сила тока, размеры электродов, природа разлагаемого проводника, его крепость и т. п., находятся всецело в нашем распоряжении, и можно заранее предполагать, что все они оказывают соответствующее влияние на окончательный результат.

782. Я с большим удовлетворением отмечаю, что чрезвычайное разнообразие вторичных продуктов разложения не находится в противоречии с законом о постоянном и определенном электрохимическом действии, к специальному рассмотрению которого я теперь перейду.

ГЛАВА VII

Об определенной природе и о размерах электрохимического разложения

783. После того как в третьей серии настоящих исследований была доказана тождественность отдельных видов электри-

¹ *Annales de Chimie*, XXXV, стр. 113.

чества, получаемых из разных источников, и путем фастического измерения было показано, какое огромное количество электричества развивается весьма слабым гальваническим прибором (371, 376), я высказал там выведенный из опыта закон, который представлялся мне в высшей степени существенным для учения об электричестве вообще и, в частности, для той его отрасли, которая носит название электрохимии. Этот закон был формулирован таким образом: *химическое действие электрического тока прямо пропорционально абсолютному количеству проходящего электричества* (377).

784. В дальнейших исследованиях я часто имел случай обращаться к этому закону, и иногда при обстоятельствах, дающих веские подтверждения его справедливости (456, 504, 505); в настоящей серии было уже приведено множество случаев, в которых этот закон оправдывается (704, 722, 726, 732). В данный момент я ставлю себе целью более подробно рассмотреть это важное положение и развить некоторые вытекающие из него следствия. Для того чтобы сделать доказательства его более отчетливыми и более приложимыми, я приведу примеры разложения крайне простых, но зато весьма определенных по своей природе веществ, где вредные влияния вторичных реакций по возможности не велики.

785. Прежде всего, по моему мнению, в отношении разложения *воды* этот закон установлен с такой полнотой и при столь разнообразных условиях, которые могли бы оказать влияние на этот процесс (если такие условия вообще существуют), что я считаю себя вправе не затрагивать здесь дальнейших деталей, касающихся этого вещества, и не излагать полученных результатов даже вкратце (732). По этому вопросу я отсылаю интересующихся ко всему тому разделу этой серии «Исследований», в котором изложены данные о *вольта-электрометре* (704 и т. д.).

786. Далее я считаю, что в отношении *соляной кислоты* этот закон также установлен как опытами, так и теми соображениями, которые выдвигались ранее, когда об этом веществе говорилось

в разделе, относящемся к первичным и вторичным продуктам разложения (758 и т. д.).

787. Я считаю, что опытами и рассуждениями, выдвигавшимися в предшествующем разделе этой серии «Исследований», этот закон установлен также для иодисто-водородной кислоты (767, 768).

788. Из описанных выше и многих других не описанных опытов с фтористо-водородной, синильной, железо-синеродистой и сульфоцианистой кислотами (770, 771, 772) и на основании близкой аналогии между этими веществами и водородными кислотами хлора, иода, брома и т. п., я утверждаю, хотя уже не с прежней уверенностью, что они также подчиняются этому закону и дают добавочное доказательство его справедливости.

789. Принималось, что в предшествующих примерах, за исключением первого, вода не участвует в действии; однако, во избежание всякой обусловленной присутствием воды неясности, я стал разыскивать такие вещества, в которых вода отсутствовала бы совершенно. Опираясь на уже установленный выше закон проводимости (380 и т. д.), я вскоре отыскал множество таких веществ, среди которых первым был подвергнут разложению протохлорид олова. Опыт производился следующим образом: кусок платиновой проволоки был на одном конце свернут в виде маленького утолщения и после тщательного взвешивания был наглухо впаян в отрезок трубки из бутылочного стекла таким образом, чтобы утолщение приходилось на дне трубки, внутри нее (рис. 61 (690)). Посредством куска платиновой проволоки трубка была подвешена так, что ее можно было подогреть на спиртовой лампе. В трубку был введен свежерасплавленный протохлорид олова в таком количестве, чтобы в расплавленном состоянии он занимал примерно половину трубки. Проволока от трубки была присоединена к вольта-электрометру (711), который, в свою очередь, был соединен с отрицательным концом гальванической батареи; соединенная с положительным концом той же батареи платиновая проволока была погружена в расплавленный хлорид в трубке; при этом, однако, она была

изогнута таким образом, чтобы ни при каких сотрясениях руки или прибора она не могла коснуться отрицательного электрода на дне сосуда. Вся установка изображена на рис. 70.

790. При таких условиях хлорид олова разлагался: выделяющийся у положительного электрода хлор давал бихлорид олова (779), который улетучивался в виде дыма, а выделявшееся у отрицательного электрода олово соединялось с платиной, образуя сплав, который при той температуре, до которой была нагрета трубка, плавился; поэтому никогда не могло получиться металлического соединения через разлагаемый хлорид. После того как опыт длился достаточно долго и в вольта-электрометре

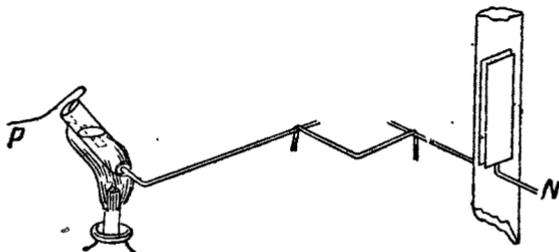


Рис. 70.

выделялось достаточное количество газа, соединения с батареей размыкались, положительный электрод удалялся, и трубке с оставшимся хлоридом давали остыть. Остывшую трубку разбивали, причем остаток хлорида олова и стекло легко отделялись от платиновой проволоки и от комочка сплава. После промывания проволоку вторично взвешивали, причем увеличение в весе давало вес восстановленного олова.

791. Я сейчас приведу результаты, полученные в одном из опытов; я хочу иллюстрировать ими тот метод, который был принят в этом и других опытах, результаты которых я буду иметь случай приводить в дальнейшем. Отрицательный электрод весил первоначально 20 гран; после опыта он вместе с комочком сплава весил 23,2 грана. Следовательно, олово, выделенное электрическим током на *катоде*, весило 3,2 грана. Количес-

во водорода и кислорода, собранных в вольт-электрометре, равняется 3,85 кубического дюйма. Так как можно считать, что 100 кубических дюймов кислорода и водорода, взятых в отношении, требуемом для образования воды, весят 12,92 грана, то 3,85 кубических дюйма будут весить 0,49742 грана. Это, следовательно, представляет собой вес воды, разложенной тем самым электрическим током, который способен разложить такое по весу количество протохлорида олова, из которого может выделиться 3,2 грана металла. Но 0,49742 так относится к 3,2 как 9 (эквивалент воды) к 57,9; последнее число, таким образом, дает эквивалент олова, если только опыт был произведен без ошибок, и если электрохимическое разложение является в этом случае также определенным. В некоторых трудах по химии для химического эквивалента олова дается цифра 58, в других — 57,9. Оба значения настолько близки к результату описанного опыта, а сам опыт настолько подвержен незначительным колебаниям (вследствие, например, поглощения газов в вольт-электрометре (716) и т. п.), что эти числа не оставляют никаких сомнений в том, что закон постоянства действия применим к этому и ко всем аналогичным случаям электроразложения.

792. Не так уже часто я получал такое близкое численное совпадение, как только что приведенное. С протохлоридом олова было произведено четыре опыта, причем количество выделившегося газа колебалось от 2,05 до 10,29 кубического дюйма. Для электрохимического эквивалента олова среднее из четырех опытов дало 58,53.

793. Оставшийся после опыта хлорид представлял собой чистый протохлорид олова, и никто не станет ни на момент сомневаться, что у анода выделялся один эквивалент хлора, образуя в качестве вторичного продукта бихлорид олова и затем улетучиваясь.

794. С хлоридом свинца были произведены опыты, вполне схожие с описанными, если не считать замену материала положительного электрода другим; так как выделяющийся у анода хлор не образует перхлорида свинца, а непосредственно

действует на платину, то, если пользоваться этим металлом, образуется раствор хлорида платины в хлориде свинца, а тогда часть платины может перейти к *катоду*, и результат получится неверный. Поэтому я искал — и нашел его в графите — другого вещества, которое можно было бы надежно брать в качестве положительного электрода в таких соединениях, как хлориды и иодиды и т. п. Хлор и иод на него не действуют, а выделяются в свободном состоянии, и при таких условиях графит не действует на расплавленные хлорид и иодид, в которые он погружен. Если бы даже вследствие нагревания или механического действия выделяющегося газа и отделилось несколько частиц графита, то они не могли бы проявить вредное действие в хлориде.

795. Среднее из трех опытов дает для эквивалента свинца число 100,85. Химический эквивалент его равен 103,5. Полученное в моих опытах отклонение я приписываю растворению части газа (716) в вольт-электрометре; но эти результаты не оставляют у меня сомнений в том, что в этом случае как свинец, так и хлор под действием определенного количества электричества выделяются в *определенных количествах* (814 и т. д.).

796. Х л о р и д с у р ь м ы. Именно при попытке определить электрохимический эквивалент сурьмы из хлорида я нашел основания для утверждения, что в нем присутствует вода; это утверждение было сделано мною в настоящих «Исследованиях» (690, 693 и т. д.) несколько ранее.

797. Я пытался произвести опыт с *окисью свинца*, полученной расплавлением и раскачиванием нитрата в платиновом тигле, но натолкнулся на значительные затруднения из-за высокой температуры, потребной для полного расплавления, и вследствие того, что это вещество, как оказалось, сильно действует, как пламень. Трубки из зеленого стекла неоднократно оказывались непригодными. Наконец, я расплавил окись в небольшом фарфоровом тигле, который я нагревал, поместив его целиком в пламя древесного угля, а так как было существенно, чтобы у катода свинец выделялся ниже поверхности, то отрицательный электрод был защищен трубкой из зеленого стекла, в которую

он был впаян так, чтобы внешнему действию подвергалось одно лишь платиновое утолщение на нижнем конце (рис. 71); этот конец можно было тогда погрузить под поверхность и таким образом предотвратить соприкосновение между воздухом или кислородом и восстановившимся там свинцом. Положительным электродом служила платиновая проволока, так как на этот металл выделяющийся у него кислород совершенно не действует. Установка изображена на рис. 72.

798. В одном из таких опытов для эквивалента свинца было получено число 93,17, которое слишком мало. Я полагаю, что это



Рис. 71.

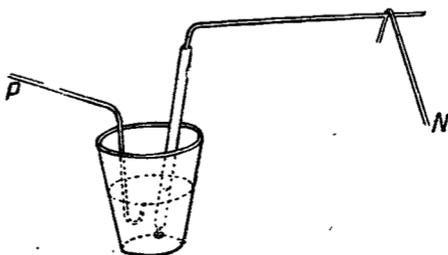


Рис. 72.

произошло из-за малого расстояния между электродами в окиси свинца; при таких условиях вполне правдоподобно, что часть пены и пузырьков, образуемых кислородом вблизи *анода*, могла случайно прийти в соприкосновение со свинцом, восстановленным на *катоде*, и снова его окислить. Когда я пожелал этому помочь увеличением количества массикота, то для сохранения всего этого количества в жидком состоянии потребовалось значительно больше тепла, которое быстро подействовало на тигель; последний скоро прогорел, и опыт был приостановлен.

799. В одном из таких опытов я взял борат свинца (408, 673). Это вещество под влиянием электрического тока выделяет у *анода* свинец, а у *катода* кислород, а так как при этом сама борная кислота не разлагается ни непосредственно (408), ни случайно, то я ожидал получить результаты, соответствующие

оксида свинца. Борат не является таким сильным плавиком, как окись свинца, но он требует более высокой температуры для полного расплавления; если он не очень сильно нагрет, то к положительному электроду прилипают пузырьки кислорода, задерживающие перенос электричества. Для свинца получилось число 101,29, что настолько близко к 103,5, что доказывает определенность действия тока.

800. Окись висмута. Я обнаружил, что это вещество требует слишком высокой температуры и как пламень действует чересчур сильно, так что для произведения с ним опытов потребовалось бы больше времени и тщательности, чем я мог бы уделить в данное время.

801. Обыкновенный протоксид сурьмы, состоящий из одного эквивалента металла и полутора эквивалентов кислорода, был подвергнут действию электрического тока в трубке из зеленого стекла (789), обернутой листовой платиной и подогреваемой в пламени древесного угля. Разложение наступало и сначала шло очень хорошо, повидимому, указывая, в соответствии с общим законом (679, 697), на то, что это соединение содержит такие вещества и в таких количественных отношениях, которые допускают действие на него электрического тока. Я уже приводил доводы в пользу предположения, что это действие обусловлено присутствием настоящего протоксида, отвечающего отношению один к одному (696, 693). Действие вскоре ослабевало, и, наконец, совсем прекращалось вследствие образования на положительном электроде высшего окисла этого металла. Это соединение, которое, вероятно, представляет собой пероксид, будучи не плавким и не растворимым в протоксиде, образовало вокруг положительного электрода кристаллическую корочку и, изолируя его, мешало тем самым прохождению электричества. Ввиду его отклонения от требуемого состава (697), сомнительно, разлагалось ли бы оно, если бы оно было плавким, но не смешивалось. Оно представляло собой весьма естественный вторичный продукт разложения у положительного электрода (779). После вскрытия трубки было обнару-

жено, что у отрицательного электрода выделилось немного сурьмы, но количество ее было слишком мало для того, чтобы можно было сделать какие-либо количественные выводы.¹

802. Иодид свинца. Опыты с этим веществом можно производить в трубках, нагреваемых на спиртовой лампе (789); однако я не получал с ними хороших результатов, независимо от того, каким положительным электродом я пользовался — платиновым или графитовым. В двух опытах вместо 103,5, для свинца получались числа 75,46 и 73,45. Я приписываю это образованию у положительного электрода периодида, который, растворяясь в массе жидкого иодида, приходил в соприкосновение с выделившимся у отрицательного электрода свинцом и отчасти растворял его, превращаясь снова в иодид. Такой периодид действительно существует, и очень редко удается расплавить полученный осаждением и хорошо промытый иодид свинца без того, чтобы из-за присутствия этого высшего соединения выделилось большое количество иода; кристаллизацией из горячего водного раствора также не удается освободиться от этого вещества. Даже при простом растирании в ступке небольшого количества протоиодида свинца и иода образуется некоторое количество периодида. И хотя при расплавлении и нагревании в течение нескольких минут до темнокрасного каления он разлагается и вся смесь превращается в протоиодид, тем не менее не исключена возможность, что небольшое количество периодида свинца, образующегося при большом избытке иода у *анода*, может вследствие быстрых потоков в жидкости прийти в соприкосновение с *катодом*.

803. Такое заключение было подкреплено третьим опытом, в котором расстояние между электродами было увеличено до одной трети дюйма; в самом деле, теперь вредные действия были значительно ослаблены, и для свинца получилось число 89,04; это полностью согласовалось с результатами, полученными в

¹ Этот параграф нуждается теперь в поправке, см. примечание к п. 696. Дек. 1838 г.

случаях *переноса*, которые будут описаны ниже (818). Таким образом опыты с иодидом свинца не представляют исключения из рассматриваемого *общего закона*, а наоборот, на основании общих соображений можно считать, что они ему подчиняются.

804. П р о т о и о д и д о л о в а. В расплавленном состоянии это вещество является проводником и разлагается электрическим током, причем у *анода* выделяется олово, а у *катода* в качестве вторичного продукта — периодид (779, 790). Температура, необходимая для его плавления, чересчур высока для того, чтобы можно было получить продукты разложения в количестве, допускающем взвешивание.

805. И о д и д к а л и я подвергался электрохимическому действию в трубке, подобной изображенной на рис. 61 (690). Отрицательным электродом служил свинцовый шарик; я надеялся этим путем удержать калий и получить такие продукты, которые можно было бы взвесить и сравнить с показаниями вольта-электрометра. Однако затруднения, связанные с требуемой высокой температурой, с действием на стекло, плавлением платины, вызываемым присутствием свинца, и другие обстоятельства воспрепятствовали получению таких результатов. Как и в предыдущих случаях, иодид разлагался с выделением иода у *анода* и калия у *катода*.

806. В некоторых из этих опытов несколько веществ было расположено последовательно и одновременно разлагалось одним и тем же электрическим током; так, одновременному действию подвергались протохлорид олова, хлорид свинца и вода. Нет необходимости указывать, что результаты получались сравнимые: олово, свинец, хлор, кислород и водород выделялись в *определенных количествах*, представлявших электрохимические эквиваленты каждого.

807. Обратимся к другого рода доказательству *определенности химического действия электричества*. Если про какие-нибудь обстоятельства можно предположить, что они способны оказать влияние на количество тех веществ, которые выде-

ляются во время электрохимического действия, то следовало бы ожидать, что эти обстоятельства будут налицо, если пользоваться электродами из различных материалов, обладающих весьма различным химическим сродством к разлагаемым веществам. Платина в разбавленной серной кислоте не обладает способностью входить в соединение с кислородом у анода, хотя кислород и появляется около нее в момент выделения. С другой стороны, медь немедленно соединяется с кислородом, как только электрический ток отделяет его от водорода, а цинк не только способен соединиться с ним, но может и без всякой помощи электричества непосредственно отнимать кислород от воды, выделяя при этом струю водорода. Тем не менее, когда эти три вещества были взяты в качестве положительных электродов в трех одинаковых порциях одной и той же разбавленной серной кислоты с удельным весом 1,336, то количество разложенной электрическим током воды было в точности одинаково, и у *катодов* этих трех растворов выделялось точь-в-точь одинаковое количество водорода.

808. Опыт проводился так: в три сосуда были налиты порции разбавленной серной кислоты. Такой же кислотой были наполнены три трубки вольта-электрометров, имевшие форму, изображенную на рис. 62,64; в каждый сосуд было опрокинуто по одной трубке (707). Цинковая пластинка, соединенная с положительным полюсом гальванической батареи, была погружена в первый сосуд, служа в нем положительным электродом; водород, обильно выделявшийся под непосредственным действием кислоты, мог свободно улетучиваться. Медная пластинка, погруженная в кислоту второго сосуда, была соединена с отрицательным электродом *первого* сосуда, а платиновая пластинка, погруженная в кислоту третьего сосуда, соединялась с отрицательным электродом *второго* сосуда. Отрицательный электрод третьего сосуда был присоединен к вольта-электрометру (711), а последний — к отрицательному концу гальванической батареи.

809. Немедленно по замыкании цепи во всех сосудах начиналось *электрохимическое действие*. От положительного цин-

кового электрода в первом сосуде поднимался, как и раньше, водород и, повидимому, в следуемом по закону количеству. У положительного медного электрода во втором сосуде кислород не выделялся, но там происходило образование сульфата меди; у положительного платинового электрода в третьем сосуде выделялся чистый кислород, самая же платина оставалась неизменной. Но во *всех* сосудах количество водорода, освобождавшегося у отрицательных платиновых электродов, было *одинаково* и равно объему водорода, выделявшегося в вольта-электрометре, что указывает на то, что во всех сосудах ток разлагал равные количества воды. Таким образом и в этом сложном случае химическое действие электричества было совершенно определенным.

810. Подобный же опыт был произведен с соляной кислотой, разбавленной равным объемом воды. Три положительных электродами служили цинк, серебро и платина. Цинк способен отнимать хлор и соединяться с ним без помощи тока; серебро может соединяться с хлором только в том случае, если последний выделен током, а платина почти совсем с ним не соединяется. Три отрицательными электродами, как и ранее, служили платиновые пластинки, укрепленные внутри стеклянных трубок. В этом опыте, как и в предыдущем, количество выделявшегося у *катода* водорода было для всех случаев одинаково и равнялось количеству водорода, выделявшегося в вольта-электрометре. Я уже приводил свои доводы в пользу предположения, что в этих опытах электричеством непосредственно разлагается именно соляная кислота (764), и эти опыты подтверждают, что разложенные таким образом количества веществ являются *совершенно определенными* и пропорциональны количеству прошедшего электричества.

811. В данном опыте получавшийся во втором сосуде хлорид серебра задерживал прохождение тока электричества в соответствии с описанным выше законом проводимости (394), так что в течение опыта хлористое серебро приходилось раза четыре или пять удалять; однако это не вызывало различия между результатами, получавшимися для этого или других сосудов.

812. В опытах как с серной, так и с соляной кислотой в качестве положительного электрода я брал древесный уголь (808, 810), но такая замена не влияла на результаты разложения. Положительный электрод из цинка в сульфате натрия или в растворе поваренной соли давал такое же постоянство действия.

813. Далее, подобные опыты были произведены с веществами, находящимися в совершенно ином состоянии, т. е. с *расплавленными* хлоридами и иодидами и т. д. Я уже описывал опыт с расплавленным хлоридом серебра, в котором электроды были из металлического серебра; тогда электрод, являвшийся положительным, увеличивался и удлинялся благодаря наращиванию металла, тогда как отрицательный растворялся и разъедался вследствие ухода металла. Этот опыт был повторен, причем в качестве электродов были взяты два взвешенных кусочка серебряной проволоки, и в цепь был введен вольт-электрометр. Принимались все меры к тому, чтобы отрицательный электрод вытягивать так аккуратно и бережно, чтобы кристаллы восстановленного серебра не могли образовать *металлического* соединения под поверхностью расплавленного хлорида. По окончании опыта положительный электрод был вновь взвешен, и была определена его потеря в весе. Смесь хлорида серебра и металла, снимаемая порциями с отрицательного электрода, была обработана в растворе аммиака для удаления хлорида, а остающееся металлическое серебро было также взвешено. У *катода* происходило восстановление, а у *анода* — в точности равное ему растворение металла, и обе порции были почти точно эквивалентны количеству воды, разложенной в вольт-электрометре.

814. То, что серебро при температуре опыта не плавилось, а также длина и ветвистый характер его кристаллов затрудняют постановку описанного опыта и делают результаты его ненадежными. Поэтому я произвел опыты с хлоридом свинца, пользуясь трубками из зеленого стекла, которым была придана форма, изображенная на рис. 73. Взвешенная платиновая проволока была вплавлена, как описано выше (789), в дно небольшой

трубки. Затем трубка была изогнута под углом, примерно на расстоянии полдюйма от закрытого конца, а часть ее между изгибом и концом была размягчена и вдавлена кверху, как изображено на рисунке, так что образовался мостик или, скорее, перемычка, а по обе стороны внутри трубки — два небольших углубления, или сосуда, *a* и *b*. Этот прибор, как и ранее, был подвешен помощью платиновой проволоки, и его можно было подогревать на спиртовой лампе; ему был придан такой наклон, чтобы при плавлении хлорида свинца воздух мог выходить из трубки. Положительным электродом служила платиновая проволока, конец которой был свернут узелком; на него в небольшой закрытой стеклянной трубке, которая в дальнейшем разбивалась, было наплавлено гранов двадцать металлического свинца. В таком виде проволока вместе со свинцом была взвешена, и вес ее был записан.

815. После этого в трубку был введен хлорид свинца, который затем был тщательно расплавлен. Электрод со свинцом также был введен в трубку, после чего металл на его конце быстро расплавлялся. В этот момент трубку до уровня *c* наполняли расплавленным хлоридом свинца; конец электрода, который должен был служить отрицательным, находился в углублении *b*, а электрод из расплавленного свинца оставался в углублении *a* и становился положительным вследствие соединения с соответствующим проводом гальванической батареи. В цепь был введен вольт-электромметр.

816. Немедленно по замыкании соединений с гальванической батареей начинал идти ток, и происходило разложение. Хлор у положительного электрода не выделялся, но так как расплавленный хлорид был прозрачен, то около *b* можно было наблюдать постепенное образование и рост комочка сплава; в то же время около *a* можно было видеть постепенное уменьшение количества свинца. По истечении некоторого промежутка

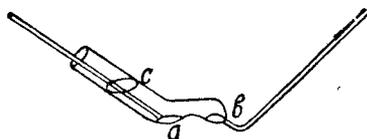


Рис. 73.

времени опыт был приостановлен, трубке дано было остынуть, после чего она была разбита; проволоки вместе с их наращенными были очищены и взвешены, и их изменение в весе было сравнено с показанием вольта-электрометра.

817. Положительный электрод в этом опыте потерял ровно столько свинца, сколько приобрел отрицательный (795), причем уменьшение и увеличение в весе были почти эквивалентны количеству разложенной в вольта-электрометре воды, давая для свинца значение 101,5. Таким образом из этого примера видно, что будем ли мы устраивать так, чтобы проявлялось сильное сродство вещества на аноде или сродства вовсе не будет (807), — это не произведет никаких изменений в определенном действии электрического тока.

818. Подобный же опыт был затем произведен с иодидом свинца, и таким образом были устранены все недоразумения, связанные с образованием периодида свинца (803). Иод не выделялся в течение всего опыта, и окончательная потеря свинца у *анода* была равна приросту его у *катода*, причем значение эквивалента, полученное сравнением с показаниями вольта-электрометра, было равно 103,5.

819. Затем, таким же путем действию электрического тока подвергался протохлорид олова, причем положительный электрод, конечно, был изготовлен из олова. Образования бихлорида олова теперь не было (779, 790). Исследование электродов показало, что положительный потерял в весе ровно столько же, сколько приобрел отрицательный, а сравнение с показаниями вольта-электрометра дало для эквивалента олова число 59.

820. В этих и подобных опытах совершенно необходимо исследовать внутренние части комочков сплава на концах проводящих проволок, так как иногда, особенно у тех проволок, которые являлись положительными, там имеются раковины, где отлагается часть служивших для опыта хлоридов и иодидов; последние перед окончательным определением веса должны быть удалены. Это со свинцом наблюдается чаще, чем с оловом.

821. Я полагаю, что совокупность всех этих фактов создает неопровержимую цепь доказательств, подтверждающих справедливость первоначально высказанного важного положения, а именно, что *химическое действие тока электричества прямо пропорционально абсолютному количеству проходящего электричества* (377, 783). Факты далее подтверждают, что это справедливо не только для одного вещества, например для воды, но и для всякого электролита; и далее, что результаты, полученные для какого-нибудь *одного вещества*, согласуются не только друг с другом, но также и с результатами, полученными для *других веществ*, и все вместе представляют собой *один ряд определенных электрохимических действий* (505). Я не хочу сказать, что не окажется исключений; может быть, таковые и найдутся, особенно среди веществ, связанных лишь слабым химическим сродством, но я не думаю, чтобы такие случаи были в состоянии серьезно изменить изложенные выводы. Подобные исключения, к тому же многочисленные, имеются в тщательно продуманных, хорошо изученных и, я могу сказать с уверенностью, твердо установленных теориях определенной природы обыкновенного химического сродства, но они не поколебали нашего доверия к общему заключению; а потому их существование следует допустить и в данном случае, при самом возникновении нового взгляда на электрохимические действия; но их не следует выставлять в качестве препятствий для тех, кто занят дальнейшим усовершенствованием этого взгляда; должно временно оставить их в стороне в надежде, что, в конце концов, они получат полное и удовлетворительное объяснение.

822. Только что изложенное и, я считаю, установленное учение об *определенном электрохимическом действии* приводит к некоторым новым взглядам на отношения и подразделение веществ, подверженных этому действию или связанных с ним. К рассмотрению некоторых из этих взглядов я и перейду.

823. Прежде всего, сложные тела можно подразделить на два обширных класса, а именно: на тела, которые разлагаются электрическим током, и на такие, которые им не разлагаются; среди последних одни являются проводниками гальванического электричества,¹ другие — непроводниками. У первых способность к разложению определяется не только природой входящих в их состав элементов, но, вероятно, также и их весовыми соотношениями (697), так как из одних и тех же двух элементов можно составить вещества, из которых одно будет принадлежать к первому, а другое — ко второму классу. Замечательно далее и то, что за немногими исключениями, — а, может быть, и безо всяких исключений, — эти поддающиеся разложению вещества оказываются как раз теми, которые подчиняются замечательному закону проводимости, данному мною ранее (394), ибо этот закон не распространяется на те многочисленные сложные плавкие вещества, которые к этому классу не принадлежат. Я предлагаю называть входящие в этот класс разложимые вещества *электролитами* (664).

824. Далее, те вещества, на которые под влиянием электрического тока разлагаются электролиты, составляют крайне важный общий класс. Они суть способные к соединению тела; они непосредственно связываются с основной частью учения о химическом сродстве, и каждому из них присуще определенное количественное отношение, в котором они выделяются при электролитическом действии. Я предложил назвать эти вещества вообще *ионами*, или, в частности, *анионами* и *катионами*, смотря по тому, где они выделяются — у *анода* или у *катода* (665); числа, соответствующие весовым количествам, в которых они выделяются, я называю *электрохимическими эквивалентами*. Так, водород, кислород, хлор, иод, свинец, олово являются *ионами*; три первых представляют собой *анионы*, оба металла —

¹ Под гальваническим электричеством я подразумеваю электричество от очень обильного источника, обладающего, однако, весьма малым напряжением.

катионы, а числа 1, 8, 36, 125, 104, 58 суть приблизительно их электрохимические эквиваленты.

825. Краткое изложение известных установленных выше положений относительно электролитов, ионов и электрохимических эквивалентов можно дать в виде следующих общих предложений, не содержащих, я надеюсь, серьезных ошибок.

826. I. Отдельный ион, т. е. ион, не соединенный с другим, не будет обнаруживать стремления двигаться ни к одному из электродов и будет совершенно безразличен к проходящему току, если только сам не является соединением более элементарных ионов и, таким образом, сам на деле подвержен разложению. На этом факте основаны многие из доказательств, приводившихся в пользу новой теории электрохимического разложения, которую я предложил в одной из предшествующих серий настоящих «Исследований» (518 и т. д.).

827. II. Если один ион соединен в должном количестве с другим, резко противоположным ему по обычным химическим отношениям, например, если анион соединен с катионом, то оба они перемещаются один к аноду, а другой к катоду разлагаемого вещества (530, 542, 547).

828. III. Поэтому, если какой-либо ион перемещается по направлению к одному из электродов, то одновременно другой ион должен также перемещаться к другому электроду, хотя в результате вторичных реакций он может там и не обнаруживаться (743).

829. IV. Вещество, непосредственно разлагаемое электрическим током, иначе электролит, должно состоять из двух ионов и должно выделять их при разложении.

830. V. Из одних и тех же двух элементарных ионов может быть составлен только один электролит; так, кажется, дело обстоит в связи с тем законом, что к электродам могут идти лишь одиночные электрохимические эквиваленты, а кратные их идти не могут.

831. VI. Вещество, само по себе не поддающееся разложению, как, например, борная кислота, не разлагается электрическим

током непосредственно и тогда, когда оно находится в соединении (780). Оно может играть роль иона, переходя к *аноду* или *катоду* как целое, но не выделяет своих элементов, за исключением случаев вторичного действия. Излишне, может быть, указывать, что это утверждение *не имеет отношения* к таким веществам, как вода, которая благодаря присутствию других веществ превращается в проводник электричества и *поэтому* легче и разлагается.

832. VII. Природа вещества, из которого состоит электрод, при условии, что оно является проводником, не оказывает влияния ни на характер, ни на степень электроразложения (807, 813), но в результате вторичного действия (744) она значительно влияет на то состояние, в котором, в конце концов, появляются *ионы*. Этим правилом можно с выгодой воспользоваться, собирая в виде соединений такие *ионы*, которые трудно поддаются действию, если их получать в свободном состоянии.¹

833. VIII. Вещество, которое, будучи взято в качестве электрода, может соединяться с выделяющимся у него *ионом*, является, как я полагаю, также *ионом* и в таких случаях вступает в соединения в количестве, определяемом его *электрохимическим эквивалентом*. Все произведенные мною опыты согласуются с такой точкой зрения, которая в настоящее время представляется мне естественным выводом из них. Чтобы определить, следуют ли аналогичные выводы и для вторичных действий, имеющих место там, где *ион* действует не на материал электрода, а на вещество окружающей его жидкости (744), потребуются более обширные исследования.

¹ Часто случается, что природа электродов такова, что они вместе с жидкостью, в которую их погружают, дают электрический ток, совпадающий по направлению с током служащего для опыта гальванического прибора, или же противоположный ему; таким путем или путем прямого химического действия электроды могут сильно запутать результаты. Тем не менее, и при наличии таких вредных действий электрический ток, проходя через разлагаемое вещество в любом направлении, будет производить присущее ему определенное электролитическое действие.

834. IX. Сложные *ионы* не обязательно составлены из электрохимических эквивалентов простых *ионов*. Так, например, серная кислота, борная кислота, фосфорная кислота представляют собой *ионы*, но не *электролиты*, т. е. они не составлены из электрохимических эквивалентов простых *ионов*.

835. X. Электрохимические эквиваленты постоянны, т. е. одно и то же число, которое изображает эквивалент вещества *A*, при отделении последнего от вещества *B*, будет представлять эквивалент *A* и при отделении его от третьего вещества *C*. Так, электрохимический эквивалент кислорода равен 8, безразлично, от чего он отделяется: от водорода, олова или свинца; а 103,5 есть электрохимический эквивалент свинца, причем все равно от чего отделяется этот последний: от кислорода, хлора или иода.

836. XI. Электрохимические эквиваленты совпадают и тождественны с обычными химическими эквивалентами.

837. Пользуясь опытом и предыдущими положениями, можно различными путями получить сведения об *ионах* и об их электрохимических эквивалентах.

838. Во-первых, электрохимические эквиваленты можно определить непосредственно, как это было сделано для водорода, кислорода, свинца и олова в многочисленных приведенных выше опытах.

839. Далее, из положений II и III можно вывести сведения о целом ряде других *ионов*, а также и об их эквивалентах. Когда разлагался хлорид свинца, при двух платиновых электродах (395), сомнений в том, что хлор переносился к *аноду*, хотя он там и соединялся с платиной, оставалось не больше, чем в случае графитового положительного электрода (395), когда хлор мог выделяться в свободном виде; ни в одном из этих случаев не могло также возникнуть никаких сомнений в том, что на каждые 103,5 частей свинца, выделенного у *катода*, у *анода* выделялось 36 частей хлора, потому что оставшийся хлорид свинца оставался неизменным. Таким же образом, когда у *анода* в растворе соли металла появлялся один объем кислорода или

какое-либо вторичное соединение, содержащее его в таком же количестве, то не могло возникнуть никаких сомнений в том, что к катоду направлялось два объема водорода, хотя в результате вторичных реакций он и мог быть израсходован на восстановление до металла окислов свинца, меди или других металлов. Таким путем из описанных в настоящих исследованиях опытов мы узнаем, что хлор, иод, бром, фтор, кальций, калий, стронций, магний, марганец и т. п. являются *ионами*, и что их *электрохимические эквиваленты* тождественны с их *обычными химическими эквивалентами*.

840. Положения IV и V расширяют наши средства познания. В самом деле, если какое-либо вещество, химический состав которого известен, оказывается разложимым, и если установлена природа вещества, выделяемого у одного из электродов в качестве первичного или даже вторичного продукта разложения (743, 777), то электрохимический эквивалент разлагаемого вещества можно вычислить из известного нам постоянного состава выделяющегося вещества. Так, когда гальваническим током разлагается протоиодид олова (804), то можно вывести заключение, что как иод, так и олово являются ионами, и что те весовые отношения, в которых они входят в это расплавленное соединение, выражают их электрохимические эквиваленты. То же касается расплавленного иодида калия (805); он является электролитом, и химические эквиваленты будут также и электрохимическими эквивалентами.

841. Если положение VIII подкрепить обширными экспериментальными исследованиями, то оно не только поможет подтвердить выводы, полученные с помощью других положений, но, в свою очередь, даст нам свои собственные, обильные и оригинальные сведения.

842. Во многих случаях электрохимический эквивалент получается с помощью *вторичных продуктов разложения*, произведенных действием выделившегося *иона* на вещества, присутствующие в окружающей жидкости или растворе. Так, в растворе ацетата свинца и, поскольку мне удалось установить,

и в других прото-солях, подвергаемых у катода восстанавливающему действию водорода в момент выделения, количество осажденного металла было таково же, как если бы он был первичным продуктом (при условии, что свободный водород не уходил в воздух), и поэтому давало число, в точности соответствующее его электрохимическому эквиваленту.

843. На основании этого положения и вторичные продукты разложения могут иногда служить мерилем гальванического тока (706, 740). Однако имеется лишь небольшое число металлических растворов; удовлетворяющих этой цели, так как если осаждение металла не происходит достаточно легко, то у *катода* выделяется водород, что ведет к искажению результатов. Если у анода образуется растворимый *пероксид* или если кристаллы осаждаемого металла прорастают через весь раствор и касаются положительного электрода, то получается такое же искажение результатов. Я надеюсь, что с некоторыми солями, каковы ацетаты ртути и цинка, я найду подходящие для этой цели растворы.

844. После первых экспериментальных исследований по установлению определенности химического действия электричества, я твердо решил воспользоваться более точными результатами химического анализа, чтобы внести исправление в значения, полученные в результате электролиза. Очевидно, что это можно сделать в большом числе случаев, не греша против требуемой строгости научных исследований. Так же, как числа, выражающие обыкновенные эквиваленты химически действующих тел, ряд чисел, дающих электрохимические эквиваленты, должен подвергаться непрерывным исправлениям, основанным на опыте и правильных умозаключениях.

845. Ниже я привожу краткую таблицу *ионов* и их электрохимических эквивалентов, скорее как образец первого в этом направлении опыта, чем для того, чтобы удовлетворить потребность в полной и законченной табличной сводке этого класса веществ, — потребность, которая скоро должна будет ощущаться. Я предвижу чрезвычайную полезность такой таблицы (если

она будет хорошо составлена) для вскрытия тесной связи между обычным химическим сродством и электрическими действиями и для отождествления их основанного не на одном воображении, но и на свидетельстве чувств и здравом суждении; а потому я считаю себя вправе высказать надежду, что всегда будет наблюдаться стремление сделать эту таблицу таблицей *реальных*, а не *гипотетических* электрохимических эквивалентов; иначе мы выйдем за пределы фактов и утратим из вида и из сознания те сведения, которые лежат непосредственно перед нами.

846. Приводимые эквивалентные числа не претендуют на точность и почти целиком заимствованы из химических опытов других ученых, которым я в этих вопросах могу доверять более, чем себе самому.

847.

ТАБЛИЦА ИОНОВ

Анионы

Кислород	8	Селеновая кислота	64	Виннокаменная ки-	
Хлор	35,5	Азотная кислота .	54	слота	66
Иод	126	Хлорноватая кис-		Лимонная кислота	58
Бром	78,3	лота	75,5	Щавелевая кис-	
Фтор	18,7	лота		лота	36
Синерод	26	Фосфорная кис-	35,7	Сера (?)	16
Серная кислота . .	40	лота		Селен (?)	
		Угольная кислота	22	Сульфо-синерод . . . ?	
		Борная кислота . .	24		
		Уксусная кислота	51		

Катионы

Водород	1	Кадмий	55,8	Натр	31,3
Калий	39,2	Церий	46	Лития	18
Натрий	23,3	Кобальт	29,5	Барита	76,7
Литий	10	Никель	29,5	Стронция	51,8
Барий	68,7	Сурьма	64,6?	Известь	28
Стронций	43,8	Висмут	71	Магнезия	20,7
Кальций	20,5	Ртуть	200	Алюмина	?
Магний	12,7	Серебро	108	Вообще прото-	
Марганец	27,7	Платина	98,6?	кисды	
Цинк	32,5	Золото	?	Хинин	171,6
Олово	57,9	Аммиак	17	Хинхона	160
Свинец	103,5	Кали	47,2	Морфий	290
Железо	28			Вообще раститель-	
Медь	31,6			ческие щелочи .	

848. Эту таблицу можно было бы далее разбить на группы таких веществ, которые либо соединяются друг с другом, либо друг друга замещают. Так, например, кислоты и основания действуют друг на друга, но не могут действовать в соединении с кислородом, водородом или простыми веществами. Фактически почти нет сомнений в том, что при более близком изучении электрических связей между частицами материи такое подразделение понадобится произвести. Простые вещества, а также синерод, сульфо-синерод и одно-два сложных тела составят, вероятно, первую группу, а кислоты, основания и аналогичные им соединения, которые окажутся *ионами*, — вторую группу. Войдут ли сюда все *ионы*, или потребуется третий класс более сложных продуктов разложения, — это должно быть решено дальнейшими опытами.

849. *Возможно*, что все известные нам в настоящее время простые тела представляют собой *ионы*, но это еще не установлено. Есть такие, как углерод, фосфор, азот, кремний, бор, алюминий, для которых желательно по возможности скорее решить, имеют ли они право на название *иона*. Имеется также большое количество сложных тел, среди них, например, кремнезем и глинозем, которые желательно немедленно отнести к тому или иному классу на основе неопровержимых опытов. *Возможно* также, что все способные входить в соединение тела — как сложные, так и простые — принадлежат к классу *ионов*, но в настоящее время я не считаю это вероятным. Опытные данные, которыми я располагаю, все же настолько еще ничтожны по сравнению с теми, которые должны постепенно накапливаться по этому и родственным вопросам, что я не решаюсь высказывать определенное мнение.

850. Я думаю, что не ошибаюсь, когда придаю учению об определенном электрохимическом действии огромное значение. Относящиеся к нему факты более непосредственно и близко, чем какой-либо предшествующий факт или совокупности фактов, подкрепляют прекрасное представление о том, что обычное химическое сродство является лишь простым следствием электрич-

ческих притяжений различных по природе частиц материи; и весьма вероятно, что оно приведет нас к средствам, с помощью которых мы сможем осветить то, что в настоящий момент представляется столь темным, и поможет либо полностью подтвердить справедливость этого предположения, либо разработать другое, которому суждено его заменить.

851. Электрохимические эквиваленты оказываются очень ценными при решении в сомнительных случаях вопроса о том, чему равен истинный химический эквивалент, относительное количество или атомный вес какого-либо вещества; ибо я твердо убежден, что электроразложение и обыкновенные химические притяжения подчинятся одной и той же силе; я настолько верю в решающее влияние тех естественных законов, которые делают электроразложение определенным, что не колеблюсь допустить, что и химические притяжения должны им подчиниться. При таких условиях я не сомневаюсь в том, что если принять водород за 1 и отбросить для простоты выражений малые дроби, то эквивалент, или атомный вес, кислорода будет равен 8, хлора — 36, брома — 78,4, свинца — 103,5, олова — 59 и т. д., несмотря на то, что, по мнению одного весьма высокого авторитета, некоторые из этих чисел должны быть удвоены.

РАЗДЕЛ 13

Об абсолютном количестве электричества, связанном с частицами или атомами материи

852. Теория определенности электрического или электрохимического действия представляется мне непосредственно связанной с вопросом об *абсолютном количестве* электричества, или электрической силы, присущей различным веществам. Пожалуй, невозможно говорить об этом вопросе, не выходя за пределы известных нам в настоящее время фактов; однако было бы в равной степени невозможно, а, может быть, и нерационально, вовсе не обсуждать этого вопроса. Хотя мы ничего не знаем о том, что такое атом, но мы невольно представляем себе какую-

то малую частичку, которая является нашему уму, когда мы о ней думаем; правда, в таком же или в еще большем неведении мы находимся относительно электричества; мы даже не в состоянии сказать, представляет ли оно собой особую материю или материи или же просто движение обыкновенного вещества, или еще какой-то вид силы или агента; тем не менее, имеется огромное количество фактов, заставляющих нас думать, что атомы материи каким-то образом одарены электрическими силами или связаны с ними, и им они обязаны своими наиболее замечательными качествами, и в том числе своим химическим сродством друг к другу. С тех пор как мы из учения Дальтона знаем, что химические свойства являются определенным для каждого тела, как бы ни изменились условия, при которых они обнаруживаются, мы научились определять относительную степень силы, присущей таким телам; к этому мы должны теперь прибавить тот факт, что электричество, которое мы, повидимому, можем на время высвободить из его обиталища и переносить с одного места на другое *с сохранением его химической силы*, может быть измерено и, как показывают измерения, оказывается при этом *столь же определенным по своему действию*, как любое из *тех количеств*, которые, оставаясь связанными с частицами материи, сообщают им их *химическое сродство*. И мне думается, что мы здесь находим звено, которое связывает количество того электричества, которое мы выделяем, с количеством электричества, присущего частицам в их естественном состоянии.

853. Поистине удивительно, как мало то количество сложного вещества, которое разлагается определенным количеством электричества. Рассмотрим, например, этот, а также несколько других вопросов по отношению к воде. Для разложения *одного грана* подкисленной для улучшения проводимости воды требуется электрический ток в течение трех и трех четвертей минуты, причем ток этот должен быть достаточно силен, т. е. должен в течение всего этого времени поддерживать в состоянии красного каления окруженную воздухом платиновую прово-

лочку толщиной в $1/104$ дюйма,¹ а при прерывании его в любой точке с помощью острия из древесного угля должен давать очень яркую и постоянную звезду. Обратим внимание на мгновенность разряда электричества напряжения, как это показано в прекрасных опытах г. Уитстона (Wheatstone),² и на то, что я говорил в другом месте о связи между обыкновенным и гальваническим электричеством (371, 375); тогда можно сказать без преувеличения, что требуемое количество электричества равносильно весьма мощной вспышке молнии. И при этом оно находится в нашем полном повиновении; мы можем его освободить, направлять и пользоваться им по желанию; а когда оно совершило всю работу электролиза, разделенными оказываются элементы только *одного грана воды*.

854. С другой стороны, связь между электропроводностью и разложением воды настолько тесна, что одно явление не может происходить без другого. Если воду подвергнуть лишь весьма незначительному изменению, состоящему в переводе ее из жидкого состояния в твердое, то проводимость прекращается, а

¹ Я не указал длины проволоки потому, что нашел из опыта, что она не играет никакой роли, как и следовало ожидать из теории. Одно и то же количество электричества, которое, проходя в течение заданного промежутка времени, может нагреть до красного каления один дюйм платиновой проволоки определенного диаметра, может также нагреть сто, тысячу дюймов и любую длину такой же проволоки, если только условия охлаждения всех участков проволоки одинаковы. Я доказал это с помощью вольт-электромметра. Я нашел, что, независимо от того, сколько дюймов проволоки поддерживалось при некоторой постоянной температуре, соответствующей темнокрасному калению, полдюйма или восемь дюймов, — в равные промежутки времени разлагались равные количества воды. Когда мы берем проволоку в полдюйма, раскаляется только центральная часть ее. Тонкая проволока может даже служить для грубой, но удобной регулировки гальванического тока, так как, если ввести ее в цепь, а более толстые соединительные проволоки сближать или раздвигать таким образом, чтобы отрезок проволоки в цепи поддерживался приблизительно при той же температуре, то проходящий через нее ток почти не будет меняться.

² Literary Gasette, 1833, 1 и 8 марта; Philosophical Magazine, 1833, стр. 2041; l'Institut, 1833, стр. 261.

вместе с ней приостанавливается и разложение. Будем ли мы считать проводимость зависящей от разложения или нет (413, 703), все же связь между этими двумя проявлениями остается тесной и нераздельной.

855. Если иметь в виду эту тесную и двустороннюю связь, а именно, что передача электричества не может происходить без разложения, и что при заданном определенном количестве прошедшего электричества разлагается в равной мере определенное и постоянное количество воды или другого вещества; если иметь в виду, что участвующий в этом агент, т. е. электричество, служит единственно для преодоления электрических сил в подвергаемом его действию веществе, то отсюда с большой вероятностью и почти обязательно вытекает, что проходящее количество электричества *эквивалентно*, а следовательно, и равно количеству электричества разделенных частиц. Иными словами: представим себе ту электрическую силу, которая удерживает в соединении элементы грана воды, т. е. которая заставляет гран кислорода и водорода объединиться в правильных относительных количествах с образованием воды, когда мы их заставляем вступить в соединение; если бы можно было перевести эту силу в состояние *тока*, то последний был бы в точности равен току, требуемому для нового разделения этого грана воды на ее элементы.

856. Такая точка зрения дает почти ошеломляющее представление о чрезвычайном количестве или степени электрической силы, которая по самой их природе присуща частицам материи; однако она ни в какой мере не противоречит тем фактам, которые можно привести по этому вопросу. Для иллюстрации этого я должен сказать несколько слов о гальваническом элементе.¹

¹ Термином «гальванический элемент» я обозначаю такой прибор или приспособление из металлов, которое до сего времени так называлось и которое содержит между своими пластинами воду, рассол, кислоты или другие водные растворы или разложимые вещества (476). В дальнейшем

857. Намереваясь использовать изложенные в этой и предшествующих сериях «Исследований» выводы для подробного изучения источника электричества в гальваническом приборе впоследствии, я воздержался пока от того, чтобы составить себе определенное мнение по этому вопросу; я совершенно не желал утверждать, что металлический контакт или контакт между разнородными проводящими, но не металлическими веществами не имеет ничего общего с происхождением тока; тем не менее, я полностью разделяю мнение Дэви, что, по крайней мере для поддержания тока, требуется химическое действие, и что пополнения, образующие этот ток, почти целиком происходят из этого источника.

858. Те вещества, которые, находясь между металлами гальванического элемента, приводят его в действие, *все являются электролитами* (476); и каждый, кто занимается изучением этого предмета, не может не обратить внимания на то, что в таких веществах (столь существенных для элемента) разложение и прохождение тока чрезвычайно тесно связаны, причем одно не может происходить без другого. Я доказал это более чем достаточно на случае воды и на многочисленных других примерах (402, 476). Если, далее, концы гальванической батареи соединены друг с другом способным разлагаться веществом, какова, например, вода, то мы будем иметь непрерывный ток через прибор, и пока этот последний находится в таком состоянии, то место, где кислота действует на пластины, можно рассматривать как противоположное тому, где ток действует на воду. В обоих местах мы имеем оба условия, неотделимые для таких тел, как эти, а именно: прохождение тока и разложение; и это одинаково справедливо как для элементов батареи, так и для сосуда с водой, ибо до сих пор не было еще построено такой батареи, в которой химическое действие ограничивалось бы одним соеди-

будут, может быть, изобретены другие типы электрических приборов; сам я надеюсь построить такие, которые не будут принадлежать к типу приборов, открытых Вольта,

нением: всегда имеет место и разложение, являясь, как я полагаю, существенной химической частью процесса.

859. Но различие между двумя местами замкнутой батареи — между тем, где происходит разложение, т. е. где продельвается опыт, и теми, которые являются действующими, заключается просто в следующем. Через первую мы пропускаем ток, но он, повидимому, неизбежно сопровождается разложением, а в последних мы вызываем разложение с помощью обычных химических действий (которые, однако, уже сами по себе являются электрическими), следствием чего является электрический ток; и, как в первом случае определенным является разложение, производимое током, так и в последнем случае определенным оказывается ток, связанный с разложением (862 и т. д.).

860. Применим только что изложенное для подкрепления высказанного мною предположения об огромной электрической силе, присущей каждой частице или атому вещества (856). В одной из предшествующих серий настоящих «Исследований», посвященной количественному сравнению обыкновенного и гальванического электричества, я показал, что две проволоки, одна платиновая и другая цинковая, диаметром каждая в одну восемнадцатую дюйма, расположенные друг от друга на расстоянии пяти шестнадцатых дюйма и погруженные на глубину пяти восьмых дюйма в кислоту, состоящую из одной капли купоросного масла и четырех унций дистиллированной воды при температуре около 60° по Фаренгейту, соединенные на других концах медной проволокой в восемнадцать футов длиной и в одну восемнадцатую дюйма толщиной, за время, немногим большее, чем три секунды, выделяли столько же электричества, сколько лейденская батарея, заряженная тридцатью оборотами очень большой и мощной электростатической машины, работающей полным ходом (371). И хотя этого количества достаточно, чтобы при быстром пропускании его через голову крысы или кошки умертвить их, как ударом молнии, тем не менее, оно было создано взаимодействием между столь малым количеством цинковой проволоки и соприкасающейся с ней воды, что потерю в весе, происшедшую

в той и другой, нельзя было бы обнаружить с помощью самых чувствительных наших приборов. Что же касается того количества воды, которое разлагалось этим током, то оно, повидимому, было неощутимо, так как в течение этих трех секунд на поверхности пластины не появлялось никаких следов водорода.

861. Какое же огромное количество электричества требуется, следовательно, для разложения всего одного грана воды! Мы уже видели, что его должно быть достаточно, чтобы в течение трех и трех четвертей минуты (853) поддерживать в состоянии красного каления помещенную в воздухе платиновую проволоку толщиной в $1/104$ дюйма; это количество почти бесконечно превосходит то, которое может дать небольшой обычный гальванический прибор, о котором я только что упоминал (860, 371). Я имел намерение произвести сравнение на основании потери в весе, происшедшей в описанной проволоке за данный промежуток времени и в кислоте, согласно правилам и опыту, которые будут сейчас описаны (862). Однако это отношение настолько велико, что я с трудом решаюсь его назвать. Оказывается, потребовалось бы электричество в количестве, равном 800 000 зарядов такой лейденской батареи, о какой я упоминал выше, чтобы подвести заряд для разложения всего одного грана воды, или, чтобы, если я не ошибаюсь, получить такое количество электричества, какое естественно связано с элементами этого грана воды и сообщает им обнаруживаемое ими взаимное химическое сродство.

862. В качестве дальнейшего подтверждения этого высокого электрического состояния частиц материи, *тождественности того количества электричества, которое им присуще, и того, которое необходимо для их разделения*, я опишу опыт, весьма простой, но чрезвычайно изящный, если рассматривать его с точки зрения образования электрического тока и его разлагающих свойств.

863. Разбавленная серная кислота, полученная добавлением одного объема купоросного масла к тридцати объемам воды, энергично действует на кусок цинковой пластины в ее обычно-

венном простом состоянии; но, как показал г. Стёрджен,¹ почти или совершенно не действует, если поверхность металла предварительно покрыть амальгамой; но этот же амальгамированный цинк сильно действует, если источником служит платина; при этом у поверхности платины выделяется водород, а цинк в то же время окисляется и растворяется. Покрытие амальгамой лучше всего производить, разбрызгивая несколько капель ртути по поверхности цинка, смоченного разбавленной кислотой, и растирая ее пальцами или паклей так, чтобы жидкий металл распространился по всей поверхности. Избыток ртути, образующий на цинке жидкие капли, следует удалить вытиранием.²

864. Две амальгамированные таким образом цинковые пластинки были высушены и точно взвешены. Одна, которую мы назовем *A*, весила 163,1 грана, другая, которую назовем *B*, — 148,3 грана. Они имели примерно пять дюймов в длину и 0,4 дюйма в ширину. Глиняная пневматическая ванна была наполнена разбавленной серной кислотой только что упомянутой (863) крепости, и в нее был опрокинут газовый цилиндр, также наполненный этой кислотой.³ В этот цилиндр была введена платиновая пластинка, которая была почти такой же длины, как цинковые, но примерно в три раза шире. Цинковая пластинка была также введена в этот цилиндр и приведена в соприкосновение с платиной; и в тот же самый момент пластинка *B* была опущена в находящуюся в ванне кислоту, но так, что она не касалась других металлических веществ.

¹ Recent Experimental Researches и т. д., 1830, стр. 74 и т. д.

² Опыт можно произвести с чистым цинком, на который, как химикам известно, разбавленная серная кислота действует слабо по сравнению с обыкновенным цинком, который во время работы подвергается бесчисленным гальваническим действиям. См. об этом De la Rive. Bibliothèque Universelle, 1830, стр. 391.

³ В кислоте был на ночь оставлен небольшой кусок неамальгамированного цинка для того, чтобы удалить воздух, который готов был отделиться, и привести всю кислоту в устойчивое состояние.

865. В сосуде немедленно после того, как цинковая и платиновая пластинки были приведены в соприкосновение, возникало сильное действие. От платины поднимался водород и собирался в сосуде, но ни от одной из цинковых пластин не поднималось ни водорода, ни какого-либо другого газа. По истечении десятидвенадцати минут после того, как было собрано достаточное количество водорода, опыт был приостановлен. Во время хода опыта на пластинке *B* появлялось незначительное количество небольших пузырьков, на пластинке *A* их не было вовсе. Пластинки были промыты дистиллированной водой, высушены и снова взвешены. Пластинка *B*, как и ранее, весила 148,3 грана, ничего не потеряв от непосредственного химического действия кислоты. Пластинка *A* весила 154,65 грана, т. е. во время опыта 8,45 грана ее окислилось и растворилось.

866. Водород был затем переведен в водяную ванну и измерен; количество его достигало 12,5 кубического дюйма, при температуре 52° и барометрическом давлении 29,2 дюйма. Это количество, поправленное на температуру, давление и влажность, оказывается равным 12,15453 кубического дюйма сухого водорода при средних температуре и давлении. Если сюда прибавить половинное количество кислорода, который направился к *аноду*, т. е. к цинку, то для количества кислорода и водорода, выделенных из воды, разложенной электрическим током, получаем число 18,232 кубического дюйма. В соответствии с принятой ранее величиной веса газовой смеси (791) этот объем весит 2,3535544 грана, что и представляет собой вес разложенной воды, а это количество относится к количеству окисленного цинка, т. е. к 8,45, как 9 к 32,31. Поэтому, принимая эквивалент воды равным 9, для эквивалента цинка получаем число 32,5. Совпадение — достаточно близкое для того, дабы показать, что на каждый эквивалент окисленного цинка приходится один эквивалент разложенной воды, что, впрочем, и не могло быть иначе.¹

¹ Опыт был повторен несколько раз с одними и теми же результатами.

867. Рассмотрим теперь, как разлагается вода. Она подвергается электролизу, т. е. разлагается гальванически, а не обычным путем химических разложений, ибо кислород появляется у *анода*, а водород у *катода* разлагаемого вещества, последние же в значительной части опытов отстояли друг от друга больше чем на дюйм. Далее, как это в достаточной мере подтверждается отсутствием действия на пластинку *B*, обыкновенное химическое сродство оказывается недостаточным для того, чтобы произвести при этих условиях разложение воды; гальванический ток был существенно необходим. А чтобы устранить всякую мысль о том, что для разложения воды почти достаточно одного химического сродства, и что при этих условиях и более слабый ток электричества мог бы вызвать перенос водорода к *катоду*, мне достаточно сослаться на приведенные мною (807, 813) результаты, дабы показать, что химическое действие у электродов не оказывает ни малейшего влияния на количество воды или других веществ, разлагаемых между электродами, и что эти количества целиком зависят от количества проходящего электричества.

868. Какое же следствие с необходимостью вытекает из всего этого опыта? А вот какое: химическое действие на 32,31 части, или на один эквивалент цинка, в этой простой гальванической цепи оказалось способным выделить в этой простой цепи электрического тока такое количество электричества, при прохождении которого через воду разложилось бы 9 частей или один эквивалент этого вещества; и если принять во внимание определенные отношения для электричества, как они выявлены в предшествующих частях настоящего доклада, то результаты эти подтверждают, что то количество электричества, которое, будучи естественным образом связано с частицами вещества, сообщает им их способность к соединению — это количество, проявляясь в виде тока, может разделять соответствующие частицы, выводя их из состояния соединения; иными словами, *электричество, которое разлагает определенное количество вещества, равно тому, которое выделяется при разложении того же количества.*

869. Стройность, которую эта теория определенного выделения и эквивалентного определенного действия электричества придает смежным теориям постоянства весовых отношений и электрохимического сродства, необычайно велика. Согласно этой теории, эквивалентные веса тел представляют собой такие количества их, которые содержат равные количества электричества, или же по природе своей обладают равными электрическими свойствами; именно электричество *определяет* эквивалентное число, ибо оно определяет силу, производящую соединение. Иначе: если принять атомную теорию и соответствующие ей выражения, то атомы тел, эквивалентные друг другу в отношении их обычного химического действия, содержат равные количества электричества, естественно связанного с ними. Но я должен сознаться, что я с некоторым подозрением отношусь к термину *атом*, так как хотя об атомах очень легко говорить, но весьма трудно составить себе ясное представление об их природе, особенно когда дело идет о сложных веществах.

870. Я не могу не упомянуть здесь о прекрасной мысли, высказанной, кажется, Берцелиусом (703) при изложении им своих взглядов на электрохимическую теорию сродства, а именно, что тепло и свет, выделяемые при бурных [химических] соединениях, являются следствиями электрического разряда, который в этот момент имеет место. Это представление находится в полном согласии с взглядом, которого придерживаюсь я на *количество* электричества, связанное с частицами вещества.

871. В настоящем изложении закона определенности действия электричества и, соответственно, определенности содержания его в частицах вещества я не претендую на то, чтобы подчинить ему все химические или электрохимические действия; имеется множество соображений теоретического характера, относящихся особенно к сложным частицам вещества и к результирующим электрическим силам, которыми они должны обладать, и я надеюсь, что со временем они получат дальнейшее развитие. Существует множество экспериментальных фактов, как, например, соединения, образуемые слабым химическим

сродством, одновременное разложение воды и солей и т. д., которые все еще нуждаются в изучении. Однако, каковы бы ни были выводы в отношении этих и многих других пунктов, я не думаю, чтобы выдвинутые мною факты или выведенные из них общие законы претерпели какое-либо существенное изменение. Между тем, они являются достаточно важными, чтобы оправдать опубликование их, хотя многое, может быть, еще остается несовершенным или недоделанным. В самом деле, большим преимуществом нашей науки — *химии*—является то, что всякий успех ее, — все равно, большой или малый, — не исчерпывает предмета исследований, а, напротив, открывает пути к дальнейшему, более обширному знанию, полному пользы и красоты, для всех тех, кто готов взять на себя тяжелый труд экспериментальных исследований.

872. Эта определенность образования электричества (868), в связи с определенностью же его действия, доказывает, я полагаю, что ток электричества в гальваническом элементе поддерживается химическим разложением, или, вернее, химическим действием, а не только контактом. Однако здесь, как и в другом месте (857), я прошу разрешения не высказывать своего мнения относительно истинного действия контакта, так как я еще не смог уяснить себе, является ли последний причиной, возбуждающей ток, или же он необходим только для того, чтобы дать возможность созданному другим путем электричеству проходить от одного металла к другому.

873. Но если допустить, что источником электричества является химическое действие, то какую же бесконечно малую долю электричества, которое является действующим, мы получаем и используем в наших гальванических батареях! Цинковая и платиновая проволочки, каждая диаметром в одну восемнадцатую дюйма и примерно в полдюйма длиной, погруженные в разбавленную серную кислоту, настолько слабую, что на язык кислотность не ощутима и едва-едва действует на наши наиболее чувствительные реактивные бумажки, за одну двадцатую минуты (860) выделяют электричества больше, чем кто-

либо согласился бы добровольно пропустить сразу через свое тело. Химическое действие одного грана воды на четыре грана цинка может выделить столько же электричества, сколько сильная гроза (869, 861). Справедливо не только то, что это количество является действующим; его можно направить и заставить полностью совершить эквивалентную работу (867 и т. д.). А если так, то неужели у нас нет больших оснований надеяться и верить, что с помощью более тщательного *экспериментального* исследования принципов, управляющих образованием и действием этого тончайшего агента, мы окажемся в состоянии увеличить силу наших батарей или изобретем новые приборы, которые в тысячи раз превзойдут по энергии те, которыми мы располагаем в настоящее время?

874. Здесь я должен на время оставить рассмотрение *определенности химического действия электричества*; но прежде чем закончить эту серию экспериментальных исследований, я напомним, что в одной из предыдущих серий мною показано, что ток электричества является *определенным и по своему магнитному действию* (216, 366, 367, 376, 377). И хотя этот вывод не был подробно рассмотрен, но у меня нет сомнений в том, что успех, достигнутый мной при исследовании химических действий, не больше того, который бы получился при изучении магнитных явлений.

Королевский институт.

31 декабря 1833 г.

ВОСЬМАЯ СЕРИЯ

Раздел 14. Об электричестве гальванического элемента; его источник, количество, напряжение и основные свойства его. Глава I. О простых гальванических цепях. Глава II. О напряжении, необходимом для электролиза. Глава III. О составных гальванических цепях, или гальванической батарее. Глава IV. О сопротивлении электролита электролитическому действию и о введении промежуточных пластин. Глава V. Общие замечания о гальванической батарее в действии.

Поступило 7 апреля. — Доложено 5 июня 1834 г.

РАЗДЕЛ 14

Об электричестве гальванического элемента; его источник, количество и основные свойства его

ГЛАВА I

О простых гальванических цепях

875. Важный вопрос об источнике электричества в гальваническом элементе привлекал к себе внимание стольких выдающихся ученых, что всякий непредубежденный человек, способный оценить их, хотя бы он и не изучал этого вопроса, вероятно, пришел бы к заключению, что истина где-либо уже обнаружена. Однако, если бы, следуя этому впечатлению, он стал сопоставлять имеющиеся выводы и заключения, то встретил бы такие противоречивые показания, такое колебание во мнениях, такие различия и такую сложность теорий, что остался бы в полном сомнении, что же следует считать истинным объяснением при-

роды; он вынужден был бы взять на себя труд повторить и пересмотреть факты, а затем руководиться лучше собственным суждением, а не суждением других.

876. В глазах лиц, которые составили себе мнение по данному предмету, описанное состояние вопроса должно служить оправданием тому; что я занялся его исследованием. Принятые мною взгляды об определенности действия электричества в разлагаемых телах (783) и о равенстве между прилагаемой для этого силой и силой, которую надлежит преодолеть (855), были основаны не просто на личном мнении или общем представлении, а на фактах, которые, будучи совершенно новыми, мне представлялись точными и решающими; эти факты предоставляли, как мне казалось, такие преимущества при изучении этого вопроса, каких до сих пор не было ни у кого, и они, думается, могли бы склонить в мою сторону чашу весов, несмотря на большую ясность и силу ума, которыми обладают другие. Таковы соображения, в силу которых я полагал, что смогу оказать помощь в решении этого вопроса, а также быть полезным в смысле устранения неточных знаний. Такие неточные знания представляют собой ранний рассвет всякой идущей вперед науки и являются существенными для ее развития; но человек, который занимается тем, что рассеивает то, что здесь обманчиво, и с большей ясностью вскрывает то, что истинно, так же полезен на своем месте и так же необходим для общего прогресса науки, как и тот, кто первый перешагнул через умственные потемки и открыл пути к знанию, до тех пор человечеству неизвестные.

877. Тождественность силы, составляющей гальванический ток, или иначе электрический агент, и той силы, которая удерживает в соединении элементы электролита (855), другими словами — силы химического средства, указывала на то, что самое электричество гальванического элемента представляет лишь форму проявления, обнаружения или существования *истинного химического действия*, или, вернее, его причины. Я поэтому уже говорил о своем согласии с теми, кто полагает, что *источником* электричества являются химические силы (857).

878. Однако важный вопрос о том, чем обусловлено электричество первоначально: металлическим контактом или химическим действием, т. е. что из двух, первое или второе, создает и определяет ток, — этот вопрос все еще оставался для меня под сомнением. Простой и изящный опыт с амальгамированным цинком и платиной, результаты которого мною подробно описаны (863 и т. д.), не решил этого вопроса, ибо в этом опыте химическое действие не имеет места без контакта между металлами, а металлический контакт не действует без химического действия. Следовательно, и то и другое одинаково можно рассматривать, как *определяющую* причину тока.

879. Чтобы произвольно не допустить ложных выводов, я считал существенным решить этот вопрос с помощью самых простых форм приборов и опытов. Казалось, что известная трудность, наблюдаемая при попытке произвести разложение с помощью одной пары пластин (за исключением разложения жидкости, возбуждающей их действие (863)), ставит на пути таких опытов непреодолимые препятствия. Однако я вспомнил легкость, с которой разлагается раствор иодида калия (316); я не усматривал при этом теоретических оснований к тому, почему бы, если металлический контакт *не является существенным*, не получить без него истинного электролиза даже в простейшей цепи; поэтому я продолжал упорствовать и добился успеха.

880. Цинковая пластина, дюймов восемь длиной и полдюйма шириной была очищена и согнута в середине под прямым углом (рис. 74, *a*). Платиновая пластинка, дюйма три длиной и полдюйма шириной, была прикреплена к платиновой проволоке, изогнутой, как указано на рисунке, *b*. Эти два куска металла были расположены по отношению друг к другу, как изображено на рисунке, но сначала без сосуда *c* и его содержимого, которое состояло из разбавленной серной кислоты, смешанной с небольшим количеством азотной кислоты. В точке *x* на цинковую пластину был положен кусочек сложенной про-

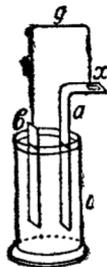


Рис. 74.

мокательной бумаги, смоченной в растворе иодида калия; он был прижат к ней концом платиновой проволоки. Когда при таких условиях пластины были погружены в кислоту в сосуде *c*, то около *x* немедленно возникало действие, причем иодид разлагался, и у *анода* (663), т. е. против конца платиновой проволоки, появлялся иод.

881. До тех пор, пока нижние концы пластин оставались в кислоте, электрический ток продолжался, и у *x* происходило разложение. При перемещении конца проволоки по бумаге эффект получался явно очень сильный. А если поместить между белой бумажкой и цинком кусочек куркумовой бумажки и обе бумажки смочить раствором иодида калия, у *катода* (663) против цинка выделяется щелочь в количестве, соответствующем выделению иода у *анода*. Следовательно, разложение являлось совершенно полярным и определенно зависело от тока электричества, проходящего от цинка к платине через кислоту в сосуде *c* и обратно от платины к цинку через раствор на бумажке *x*.

882. Что разложение у *x* представляло собой настоящее электролитическое действие, вызываемое током, который возник вследствие существующих в сосуде *c* условий, что это разложение не было обусловлено просто каким-либо непосредственным химическим действием цинка или платины на иодид или, может быть, каким-то *током*, который образуется у *x* под действием раствора иодида калия на эти металлы, — это было доказано прежде всего тем, что при вынимании *пластинок из сосуда c* и кислоты всякое разложение у *x* прекращалось, и далее тем, что при соединении металлов друг с другом, в самой кислоте или вне ее, разложение у *x* происходило, но в *обратном порядке*: теперь щелочь появлялась против конца платиновой проволоки, а иод проходил к цинку, причем ток был направлен противоположно току в первом случае и создавался непосредственно различием в действии раствора на бумаге на оба металла. Иод, конечно, *соединялся* с цинком.

883. Когда опыт производился с кусками цинка, амальгамированного по всей поверхности (863), то результаты получа-

лись с такой же легкостью и в том же направлении даже тогда, когда сосуд *c* содержал одну только разбавленную серную кислоту (рис. 74) (880). Какой бы конец цинка ни погружали в кислоту, действия все же оставались одинаковыми. Если на момент предположить, что ртуть дает здесь металлический контакт, то, когда мы изменяем направление амальгамированного куска, это возражение отпадает. Пользование же *неамальгамированным цинком* (880) устраняет *всякое сомнение*.¹

884. Когда для других целей (930) сосуд *c* вместо кислоты был наполнен раствором едкого кали, то результаты все же оставались прежние. Разложение иодида происходило легко, хотя не было контакта разнородных металлов, и ток электричества имел *такое же направление*, как при кислоте в месте возбуждения.

885. Даже раствор простой поваренной соли в сосуде *c* мог производить все эти действия.

886. При введении в цепь тока между платиновой пластинкой и местом разложения *x* гальванометра, изготовленного из платиновых проволок, последний обнаруживал действие и при этом указывал токи того же самого направления, как и те, на существование которых указывало химическое действие.

¹ Можно произвести вышеупомянутый элементарный опыт еще более поразительным способом, а именно: надо приготовить цинковую пластинку в десять или двенадцать дюймов длиной и два дюйма шириной, и основательно ее очистить; изготовить также два диска из очищенной платины примерно полтора дюйма диаметром; погрузить три или четыре слоя промокательной бумаги в крепкий раствор иодида калия, поместить их на очищенный цинк на одном конце пластины и положить на них один из платиновых дисков; наконец, погрузить такие же слои бумаги или же кусок льняного полотна в смесь равных частей азотной кислоты и воды и поместить их на другом конце цинковой пластинки со вторым платиновым диском поверх их. При таком положении вещей никакого изменения в растворе иодида не будет заметно; но если на одну-две секунды соединить оба диска платиновой (или какой-либо другой) проволокой, а затем приподнять тот диск, который приходится над иодидом, то окажется, что вся поверхность под ним сильно окрашивается *выделяющимся иодом*. Дек. 1838 г.

887. При общем рассмотрении этих результатов они приводят к весьма важным заключениям. Во-первых, они самым решительным образом доказывают, что *для создания гальванического тока металлический контакт вовсе не нужен*. Во-вторых, они указывают на весьма замечательную взаимную связь между силами химического сродства той жидкости, которая *возбуждает ток*, и той, которая им *разлагается*.

888. Для простоты рассмотрим опыт с амальгамированным цинком. Обработанный таким образом металл не проявляет никакого действия до тех пор, пока не будет пропущен ток; в то же время он не вводит никакого нового действия, а только устраняет такие влияния, которые не имеют ничего общего



Рис. 75.



Рис. 76.

ни с возбуждением, ни с действиями рассматриваемого электрического тока (1000) и своим наличием могут лишь затемнять результаты.

889. Поместим параллельно друг другу (рис. 75) две пластинки, одну из амальгамированного цинка, а другую — платиновую, и введем между ними на одном конце каплю разбавленной серной кислоты *y*; в этом месте не будет заметного химического действия, если только обе пластины не соединить друг с другом где-нибудь в другом месте, например *y PZ*, телом, способным проводить электричество. Если это вещество представляет собой металл или некоторую модификацию углерода, то ток проходит, и так как он замыкается через жидкость *y u*, то происходит разложение.

890. Удалим теперь кислоту из *y* и введем в точке *x* (рис. 76) каплю раствора иодида калия. Тогда происходит совершенно тот же ряд явлений с той лишь разницей, что если теперь произвести металлическое соединение *y PZ*, электрический ток имеет направление, противоположное прежнему, как это изобра-

жено стрелками, указывающими направление этих токов (667).

891. Оба служившие для опытов раствора представляют собой проводники, но проводимость их существенно связана с разложением (858) в некотором постоянном порядке, и поэтому появление элементов на определенных местах *указывает*, в каком направлении проходил ток при такой работе раствора. Мало того, оказывается, что если эти два раствора поместить на противоположных концах пластинок, как в последних двух опытах (889, 890), а металлическое соединение произвести на других двух концах, то токи пройдут в противоположном направлении. Очевидно, значит, что мы имеем возможность противопоставлять друг другу на разных концах пластинок действия двух жидкостей, пользуясь каждой из них в качестве проводника

для замыкания того тока электричества, который другая стремится произвести; этим фактически мы заменяем металлический контакт и объединяем оба опыта в один (рис. 77). При таких обстоятельствах здесь две силы противодействуют одна другой: та жидкость (в данном случае разбавленная кислота), которая проявляет более сильное химическое средство по отношению к цинку, преодолевает силу другой и определяет образование и направление электрического тока; она не только заставляет этот ток проходить через более слабую жидкость, но фактически направляет в обратную сторону то стремление, которое элементы второй жидкости имеют по отношению к цинку и платине при отсутствии такого противодействия; она вынуждает их следовать в направлении, обратном тому, в котором они были склонны перемещаться, для того, чтобы созданный первой жидкостью ток мог двигаться свободно. Если устранить преобладающее действие у у, сделав там металлический контакт, то жидкость у х восстанавливает свою способность; если же не приводить металлы в соприкосновение в у, а ослаблять там силы химического средства раствора, усиливая в то же время

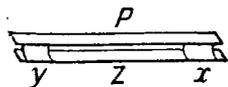


Рис. 77.

сродство, действующее у x , то последнее берет верх и разложения идут в обратном порядке.

892. Прежде чем делать *окончательные* выводы из этой взаимной зависимости и из характера химического сродства двух отдельных порций действующих жидкостей (916), я займусь более подробным рассмотрением тех разнообразных условий, при которых отчетливо выявляется обратное действие претерпевающего разложение вещества на действие того также разлагаемого вещества, которое производит гальванический ток.

893. Теперь становится совершенно ясно, почему мы пользуемся металлическим контактом в случае применения одной пары пластинок, и в чем заключается значительное превосходство его над контактом, который можно было бы произвести помощью других видов вещества. При погружении в разбавленную серную кислоту амальгамированной цинковой пластинки сила химического сродства, действующая между металлом и жидкостью, недостаточна для того, чтобы произвести заметное действие у поверхностей соприкосновения и вызвать разложение воды путем окисления металла, хотя она и *достаточна* для того, чтобы создать такое состояние электричества (или силы, от которой зависит химическое сродство), которое вызвало бы ток, если бы для него был открыт путь (916, 956); и этот ток дополнил бы условия, необходимые при этих обстоятельствах для разложения воды.

894. Наличие куска платины, соприкасающегося как с цинком, так и с подлежащей разложению жидкостью, создает этот необходимый для электричества путь. *Непосредственное сообщение* платины с цинком значительно более эффективно, чем всякое другое соединение ее с тем же металлом (т. е. платины с цинком), произведенное с помощью разложимых проводящих тел или, другими словами, *электролитов*, как в уже описанных (891) опытах; и в самом деле, если пользоваться электролитами, силы химического сродства между ними и цинком производят действие обратное и противоположное тому, которое имеет место в разбавленной серной кислоте; если даже это дей-

ствие мало, то все же необходимо преодолеть сродство между составляющими их частями, так как они не могут проводить электричество, не претерпевая разложения, а *экспериментально* найдено, что это разложение противодействует силам, которые стремятся создать в кислоте ток (904, 910 и т. д.), а во многих случаях нейтрализуют их полностью. Там, где имеется непосредственный контакт между цинком и платиной, эти вредные силы не действуют, что сильно благоприятствует произведению и прохождению электрического тока и сопутствующему ему явлению разложения.

895. Однако очевидно, что одно из этих вредных действий может быть устранено и, тем не менее, для замыкания цепи между цинком и платиной, погруженными на некотором расстоянии друг от друга в разбавленную кислоту, может быть взят электролит. В самом деле, если на рис. 74 в точке *x* поддерживать металлический контакт между платиновой проволокой и цинковой пластинкой *a*, а где-нибудь, например, в *g*, платину разрезать и поместить там раствор иодида, то последний, находясь в контакте с платиной *y* обеих поверхностей, не обнаруживает сил химического сродства к этому металлу, а если и обнаруживает, то они оказываются одинаковыми на обеих сторонах. Поэтому раствор лишается способности создавать ток, противоположный току, который обусловлен действием кислоты в сосуде *c*; тогда единственным препятствием, которое приходится преодолевать силам химического сродства в разбавленной серной кислоте, является сопротивление раствора разложению.

896. Так обстоит дело в случае одной пары действующих пластин, когда замыкается *металлический контакт*. В таких случаях силам химического сродства, действующим в сосуде *c*, приходится преодолевать только одну систему противодействующих сил; когда же металлический контакт отсутствует, тогда противодействующие силы химического сродства (894), которые нужно преодолеть, проявляются в двух местах.

897. Разложение веществ с помощью тока от одной пары пластин считалось вещью трудной, а некоторыми и невозмож-

ной, даже в том случае, когда эта пара пластин достаточно сильна для того, чтобы нагревать до красного каления металлические стержни; так дело обстоит в случае калориметра Гейра (Hare), устроенного в виде простой гальванической цепи, или в случае одной сильной пары металлов по Волластону. Эта трудность неизбежно вытекала из антагонизма между химическим средством, производящим ток, и тем химическим средством, которое подлежит преодолению; она целиком зависит от их относительной силы. В самом деле, когда одна совокупность сил превосходит другую на некоторую определенную величину, то первые силы получают перевес, определяют собой ток и преодолевают вторые силы настолько, что вещество, в котором эти последние проявляются, начинает выделять входящие в его состав элементы в полном соответствии (в смысле как направления, так и количества) с поведением тех веществ, которые обнаруживают наиболее сильное и преобладающее действие.

898. Часто веществом, разложением которого пользовались как химическим индикатором прохождения электрического тока, служила вода. Однако теперь я понял причину непригодности воды для этого, а равно причину наблюдавшегося мною гораздо ранее (315, 316) факта, который относится к иодиду калия, а именно: вещества различаются по той легкости, с которой они разлагаются данным электрическим током в соответствии с состоянием и интенсивностью сил их *обычного* химического средства. Причина этого лежала в их *противодействии силам химического средства*, стремящимся создать ток; и представлялось вероятным, что существует множество веществ, которые могли бы быть разложены током от одной пары пластин, цинковой и платиновой, погруженных в разбавленную серную кислоту, хотя вода и сопротивляется его действию. Вскоре я установил, что это действительно так; произведенные мною опыты дают новые и красивые доказательства непосредственной связи, с одной стороны, и противодействия, с другой стороны, сил химического средства, участвующих в создании потока электричества и сопротивляющихся ему; поэтому я вкратце их опишу.

899. Устройство прибора изображено на рис. 78. Сосуд v содержал разбавленную серную кислоту; z и p — цинковая и платиновая пластины; a , b и c — платиновые проволоки; разложение происходило в x , а в точке g в цепь иногда, вернее почти всегда, вводился гальванометр; на рисунке показано только его местоположение, и кружок не соответствует размерам прибора. В точке x помещались различные приспособления в соответствии с видом разложения, которое нужно было произвести. Если предполагалось действовать на одну лишь каплю жидкости, то оба конца проволоки просто погружались в нее;

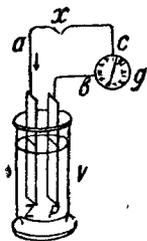


Рис. 78.

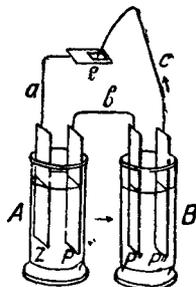


Рис. 79.

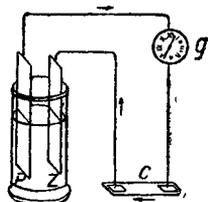


Рис. 80.

если надо было разложить раствор, содержащийся в порах бумаги, то один из концов соединялся с платиновой пластинкой, на которой находилась бумажка, а другой лежал на бумаге e (рис. 79); иногда, как, например, при опытах с сульфатом натра, на платиновую пластинку клали два кусочка бумаги, на каждом из которых лежало по одному концу проволоки (см. c на рис. 80). Стрелками изображено направление электрического тока (667).

900. Если поместить раствор *иодида калия* в смоченной бумажке в месте разрыва цепи в точке x , он быстро разлагается: у *анода* разлагаемого вещества выделяется иод, а у *катода* — щелочь.

901. *Протохлорид олова*, будучи расплавлен и помещен в x , также быстро разлагался, выделяя перхлорид олова у *анода* (779) и олово — у *катода*.

902. Помещенный в x расплавленный хлорид серебра тоже легко разлагался; у *анода* выделялся хлор, а у *катода* — блестящее металлическое серебро, либо в виде пленок на поверхности жидкости, либо под ней в виде кристаллов.

903. Подкисленная серной кислотой вода, раствор соляной кислоты, раствор сульфата натрия, плавленная селитра и плавленные хлорид и иодид свинца не разлагались от одной пары пластин, возбуждаемой только разбавленной серной кислотой.

904. Эти опыты в достаточной мере доказывают, что одна пара пластин может производить электролиз веществ и разделять входящие в состав последних элементы. Опыты эти, кроме того, прекрасно иллюстрируют непосредственную связь и противодействие сил химического средства в двух точках их приложения. В тех случаях, когда сумма противодействующих [разложению] в точке x сил химического средства была достаточно мала по сравнению с суммой сил, действующих в сосуде y , разложение происходило; в тех же случаях, когда первые возрастали, начинало на деле проявляться сопротивление разложению, и ток переставал проходить (891).

905. Но очевидно, что сумму сил химического средства, действующих в сосуде y , можно увеличить, пользуясь другими жидкостями вместо разбавленной серной кислоты, так как в последнем случае, я полагаю, создание электрического тока обусловлено только химическим средством цинка к кислороду, уже соединенному с водородом воды (919); защищаемая мною точка зрения приводит к заключению, что при таком увеличении сил химического средства вещества, которые в предшествующих опытах сопротивлялись разложению, теперь будут разлагаться вследствие увеличения разницы между повышенными таким образом действующими силами средства и силами средства, присущими им самим. Это предсказание получило свое полное подтверждение следующим образом.

906. К жидкости в сосуде y было добавлено немного азотной кислоты; при этом получилась смесь, которую я буду называть разбавленной азотно-серной кислотой. При повторении

опытов с такой смесью все те вещества, которые ранее разлагались, распадались вновь, и *притом со значительно большей легкостью. Но, кроме того, теперь* выделяли входящие в их состав элементы многие вещества, которые раньше не поддавались электролизу. Так, раствор сульфата натрия, подвергавшийся действию в порах лакмусовой и куркумовой бумажек, выделял кислоту у *анода* и щелочь у *катода*; раствор соляной кислоты, окрашенной индиго, выделял хлор у *анода* и водород у *катода*; раствор нитрата серебра выделял у *катода* серебро. Расплавленная селитра и расплавленные иодид и хлорид свинца также разлагались током от этой одной пары пластин, хотя в упомянутом ранее случае (903) они не разлагались.

907. Раствор ацетата свинца этой парой пластин, повидному, не разлагался; подкисленная серной кислотой вода сначала, повидному, тоже не поддавалась (973) действию тока.

908. Повышение напряжения или мощности тока, создаваемого простой гальванической цепью при увеличении силы химического действия в месте возбуждения, выступает здесь с достаточной очевидностью. Однако, чтобы пояснить это еще лучше и показать, что в последних случаях разлагающее действие зависело вовсе не от одной только возможности получения больших количеств электричества, были произведены опыты, в которых количество выделяемого электричества можно было увеличивать, не меняя напряжения возбуждающей причины. Так, опыты с разбавленной серной кислотой (899) были повторены с погружением в кислоту цинковой и платиновой пластинок большого размера, и все же те вещества, которые раньше сопротивлялись разложению, сопротивлялись ему и при новых условиях. Далее, в опытах с азотно-серной кислотой (906) в возбуждающую кислоту были погружены просто платиновая и цинковая проволоки, и все же в этом случае, несмотря на такое изменение, происходил распад веществ, сопротивлявшихся любому току, который можно было получить действием разбавленной серной кислоты. Например, соляную кислоту не удавалось разложить одной парой пластин, если их погружали

в разбавленную серную кислоту. Делая раствор серной кислоты более крепким, увеличивая размеры погруженных в нее цинковой и платиновой пластинок, мы не усиливаем разлагающую силу; но если к слабой серной кислоте добавить немного азотной, то получающееся электричество было в силах разложить соляную кислоту, выделяя хлор у *анода* и водород у *катода*, даже когда электродами служили металлические проволоки. Этот способ повышения напряжения электрического тока исключает эффект, зависящий от увеличения числа пар пластин, и то действие, которое получается, если делать ту или иную кислоту покрепче и послабее; поэтому его можно сразу отнести за счет состояния и величины вызываемых в этом случае сил химического сродства и принимать, что он как теоретически, так и практически совершенно отличен от всякого другого способа.

909. Мы получили таким образом опытным путем непосредственную связь между *интенсивностью* [напряжением] электрического тока в простой гальванической цепи и *интенсивностью* химического действия, развивающегося в том месте, в котором определяется существование и направление этого тока; это приводит к следующему заключению: мы можем подбирать вещества, как, например, расплавленные хлориды, соли, растворы кислот и т. п., которые могут действовать на взятые металлы с различной степенью химической силы; мы можем брать для опытов различные металлы с платиной или каким-либо другим металлом, выбирая их так, чтобы они различались по степени химического действия их на возбуждающую жидкость или электролит; тогда мы можем получить ряд сравнительно постоянных действий, производимых электрическими токами различного напряжения; и эти действия дадут нам возможность построить шкалу, при помощи которой можно будет точно определить при дальнейших исследованиях относительную степень напряжения.¹

¹ В связи с этим различием и его вероятной причиной см. соображения об индуктивной поляризации (п. 1354 и т. д.). Дек. 1838 г.

910. Я уже высказывал взгляд, что разложение в экспериментальной жидкости является прямым следствием более могущественного проявления в другом месте такой же силы, как и та, которая должна быть преодолена, т. е. является результатом антагонизма между силами *одного* и *того же* рода (891, 904). Силы в месте разложения оказывают противодействие совокупности действующих или определяющих сил, пропорциональное тому, которое требуется для преодоления их собственной силы; отсюда любопытный результат — *сопротивление*, которое разложение представляет начальной, определяющей ток силе, а, следовательно, и току. Это отчетливо видно в тех случаях, когда такие вещества, как хлорид свинца, иодид свинца и вода, не разлагались током, создаваемым одной парой цинковой и платиновой пластин в серной кислоте (903), хотя они и разлагались током более высокого напряжения, создаваемым более могущественными химическими силами. В таких случаях не проходит заметного тока (967), действие приостанавливается; и относительно описанного мною в четвертой серии настоящих исследований (413) закона проводимости я теперь придерживаюсь мнения, что вещества, которые являются электролитами в жидком состоянии, перестают быть таковыми в твердом состоянии потому, что притяжение частиц, в силу которого последние удерживаются в соединении и сохраняют свое относительное положение, оказывается тогда слишком сильным для электрического тока.¹ Частицы остаются на своих местах, и, поскольку разложение предотвращено, постольку предотвращена также и передача электричества; и если даже батарея, которую мы заставим действовать, будет состоять из многих пар пластин и если она будет такого совершенного вида, что в ней будут невозможны никакие сторонние или побочные действия (1000), все вместе взятые силы химического сродства, принимающие участие в действии батареи, окажутся в тот же момент приостановленными и уравновешенными.

¹ См. дальше, п. 1705. Дек. 1838 г.

911. Обратимся теперь к вопросу о сопротивлении в каждом отдельном случае. Это сопротивление изменяется в зависимости от сил сродства, которые стремятся удержать на месте элементы данного вещества. Казалось бы поэтому, что те частные значения, которые могут иметь сопротивления, расположатся в целый ряд величин, посредством которых можно измерять начальное напряжение простых гальванических и других электрических токов; в соединении со шкалой напряжений, определяемых величиной *действующих сил*, они образуют ряд разностей, который, по всей вероятности, окажется достаточным, чтобы можно было приложить его к каждому представляющему важность случаю, когда понадобится знать величину напряжения.

912. На основании опытов, которые я имел случай произвести ранее, я считаю, что нижепоименованные вещества располагаются по электролизуемости в том порядке, в котором я их поставил, так что каждое предшествующее вещество разлагается током более низкого напряжения, чем последующее. Токи эти всегда брались от одной пары пластин, и их можно принимать за элементарные *гальванические силы*:

Иодид калия (раствор)	} в расплавленном состоянии
Хлорид серебра	
Прото-хлорид олова	
Хлорид свинца	
Иодид свинца	
Соляная кислота (раствор)	
Вода, подкисленная серной кислотой	

913. При всех попытках определения того относительного электролитического напряжения, которое требуется для разложения, необходимо обращать внимание на природу электродов и других присутствующих веществ, которые могут благоприятствовать вторичным действиям (986). Если какой-либо из элементов, выделенных при электроразложении, обладает химическим сродством к электроду или к имеющимся в окружающей жидкости веществам, то сопротивляющееся разложению химическое сродство отчасти уравнивается этой силой, и нельзя

определить истинное место данного электролита в таблице данного выше типа. Так, хлор легко соединяется с положительным платиновым электродом, а иод почти совсем не соединяется; я полагаю, что именно поэтому плавленные хлориды стоят в предшествующей таблице раньше. С другой стороны, если при разложении воды имеется не только серная, но и немного азотной кислоты, то вода разлагается с большей легкостью, так как водород у катода в конце концов не изгоняется, а встречает в азотной кислоте кислород, с которым он может вступить в соединение, образуя вторичный продукт; таким путем химическое сродство, препятствующее разложению, оказывается ослабленным, и тогда элементы воды могут быть разделены током более низкой интенсивности.

914. Этим принципом можно воспользоваться для внесения, путем интерполяции, в уже упомянутую шкалу начальных напряжений (909, 911) более мелких подразделений, чем те, которые там указаны; в самом деле, комбинируя действие тока *постоянного* напряжения и электроды, состоящие из вещества, обладающего большим или меньшим сродством к выделяемому при разложении электролита веществом, можно получить *разнообразные промежуточные* подразделения.

915. Вернемся к рассмотрению источника электричества (878 и т. д.); имеется еще одно прекрасное доказательство в пользу того, что металлический контакт не играет никакой роли в создании электричества в гальванической цепи, и далее, что электричество есть лишь особая форма проявления химических сил. Это доказательство заключается в том, что ранее, чем производится контакт между металлами, действием одних химических сил, проскакивает электрическая искра. Этот опыт будет описан дальше (956); он состоит в получении искры при замыкании контакта между цинковой и медной пластинами, погруженными в разбавленную серную кислоту. Чтобы сделать установку возможно более простой, я опустил ртутные поверхности, а контакт производился с помощью медной проволоки, соеди-

ненной с медной пластиной; эта проволока приводилась в соприкосновение с зачищенным участком цинковой пластины. Появлялась электрическая искра, и она, естественно, должна была существовать и проскочить прежде, чем коснулись друг друга цинк и медь.

916. Чтобы сделать более отчетливыми те положения, которые я хотел установить, снова изложу их в их простейшей форме, согласно с моими теперешними представлениями. Ни для возникновения, ни для дальнейшего существования электричества гальванического элемента (856, примечание) не имеет значения существование контакта между двумя металлами (880, 915). Электричество целиком обусловлено химическим действием (882), и напряжение его пропорционально интенсивности сил химического сродства, участвующих в его создании (908); количество же электричества пропорционально количеству вещества, которое химически действовало во время его образования (869). Эта определенность при создании электричества является, в свою очередь, одним из наиболее ярких доказательств химического происхождения электричества.

917. Подобно тому как *вольта-электрическое возбуждение электричества* представляет собой пример простого химического действия, так и *вольта-электрическое разложение* есть простой случай перевеса одной, более мощной по своей природе, системы сил химического сродства над другой, менее мощной. И если иметь в виду пример двух противодействующих систем таких сил (891) и учесть их взаимную связь и зависимость, то не представляется необходимым пользоваться в таких случаях какими-либо иными терминами, кроме химического сродства (хотя термин электричество может быть весьма подходящим), и не надо предполагать, что в создании этих результатов участвует какой-либо новый агент. В самом деле, мы можем принимать, что эти силы в двух местах действия находятся в непосредственном общении и уравнивают друг друга через металлическую среду (891) (рис. 77), подобно тому, как механические силы уравнивают друг друга при посредстве рычага (1031).

918. Все факты показывают нам, что сила, обычно называемая химическим сродством, может передаваться на расстояние через металлы и некоторые виды углерода, что электрический ток является лишь иной формой сил химического сродства, что сила его пропорциональна создающему его химическому сродству, что, когда сила его недостаточна, ее можно увеличить с помощью химического действия, и тогда недостаток одного восполняется некоторым эквивалентом другого, иными словами, что *силы, называемые химическим сродством и электричеством, представляют собой одно и то же.*

919. При изучении и сравнении обстоятельств, связанных с получением электричества в обыкновенной гальванической цепи, оказывается, что источник этого агента, — всегда подразумеваемая под этим электричеством, циркулирующее и замыкающее ток в гальваническом приборе и сообщающее прибору его силу и особенности (947, 996), — заключается в химическом действии, имеющем место непосредственно между металлом и веществом, с которым последний соединяется, а отнюдь не в последующем взаимодействии образовавшегося таким образом вещества с присутствующей кислотой.¹ Так, если взять цинк, платину и разбавленную серную кислоту, ток определяется соединением цинка с кислородом воды; и хотя присутствие кислоты существенно для удаления образующегося окисла, — так, чтобы дальнейшая порция цинка могла подействовать на дальнейшую порцию воды, но соединение ее с окислом не создает заметной части циркулирующего в цепи тока электричества. В самом деле, количество электричества зависит от количества окисленного цинка и находится с ним в определенном отношении; интенсивность его [напряжение] соответствует интенсивности химического сродства цинка к кислороду при данных условиях; на нее почти, или даже вовсе, не влияет, какой кислотой мы будем пользоваться: крепкой или слабой (908).

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

920. Далее, если мы возьмем цинк, платину и соляную кислоту, электричество, по всем видимостям, будет зависеть от сродства цинка к хлору и циркулирует в точном соответствии с числом соединяющихся частиц цинка и хлора, будучи фактически им эквивалентно.

921. Но если принять за причину и источник электрического тока это окисление или иное непосредственное действие на самый металл, то чрезвычайно важно отметить, что кислород (или другое вещество) должен находиться в особом состоянии, а именно в состоянии *соединения*, с таким дальнейшим ограничением, что он должен находиться в таком соединении и в таких относительных количествах, какие соответствуют *электролиту* (823). Нельзя расположить в газообразном кислороде пару пластин, цинковую и платиновую, и ждать чтобы она производила при этом ток электричества и действовала, как гальванический элемент; недостаточно и повысить температуру настолько, что окисление цинка произойдет быстрее, чем в случае, если эта пара пластин будет погружена в разбавленную серную кислоту; это потому, что кислород не представляет собой составной части электролита и, значит, не может проводить эти силы далее ни посредством разложения, ни просто через свое вещество, как это делают металлы. Если кого-либо смущает еще газообразное состояние кислорода, то можно взять жидкий хлор. Соединяясь с цинком, хлор все же не может возбудить ток электричества через две пластины, потому что частицы его не могут переносить к платине электричество, проявляющееся в месте соединения. Хлор сам по себе не является проводником электричества, подобно металлам; с другой стороны, он не представляет собой и электролита, способного проводить электричество во время разложения, а потому в определенном месте происходит простое химическое действие, но нет электрического тока.¹

¹ Я не думаю утверждать, что в таких случаях не появляется даже следов электричества. Я лишь считаю, что здесь никоим образом нет выделения электричества, обусловленного или связанного с причинами, воз-

922. На первый взгляд можно бы предполагать, что в качестве третьего вещества между цинком и платиной годится любое проводящее тело, не являющееся электролитом; и действительно, имеется несколько таких веществ, способных оказывать химическое действие на металлы. Их, однако, следует выбирать среди самых металлов, так как, за исключением этих веществ и древесного угля, тел такого рода не существует. Чтобы решить вопрос опытом, я поступил следующим образом. В изогнутую V-образно стеклянную трубку (рис. 81) было помещено расплавленное олово, заполнявшее половину каждого колена; туда были внесены два куска толстой платиновой проволоки p и w так, что концы их были на некоторую глубину погружены в олово; затем, после охлаждения всей системы, концы p и w были соединены с чувствительным гальванометром. Часть трубки около x была снова разогрета, тогда как участок y оставался холодным. Образовавшийся термо-электрический ток немедленно подействовал на гальванометр. Я постепенно усиливал подогревание в x , пока, наконец, платина и олово там соединились; этот эффект, как известно, сопровождается сильным химическим действием и значительным раскаливанием; однако ни малейшего дополнительного действия на гальванометр не возникло. За все время не наблюдалось никакого другого отклонения прибора, кроме того, которое производилось термо-электрическим током. Итак, хотя для опыта и был взят проводник, и притом способный проявлять химическое действие на цинк, тем не менее, ввиду того, что он не был *электролитом*, ни

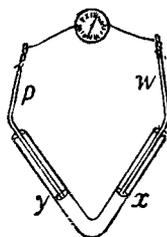


Рис. 81.

буждающими гальваническое электричество, или пропорционального им. А то электричество, которое все же появляется, представляет собой, вероятно, менее одной стотысячной или даже миллионной доли того, которое могло бы быть создано действующим веществом, если поставить его в такие условия, чтобы оно могло действовать гальванически; и источник его, вероятно, совершенно другой.

малейшего действия электрического тока наблюдать не удалось (947).

923. Отсюда представляется очевидным, что в одном участке гальванической цепи *существенным* являются тот особый характер и то состояние, которые характерны для электролита, а если иметь в виду природу этого последнего, то выявляются веские основания, почему именно только он один и является важным. Электролит всегда является сложным веществом: он может проводить электричество, но только тогда, когда он разлагается. Проводимость его обусловлена его разложением и *переносом его частиц* в направлениях, параллельных току; и эта связь настолько тесна, что если приостановить перенос частиц, то прекращается и ток. Если изменить путь частиц, то путь и направление тока также изменяются; если частицы следуют в некотором направлении, то и ток не может следовать в ином направлении, а только в том, которое неизменно зависит от них. Частицы электролита настолько друг с другом связаны, находятся в таком родстве друг с другом на всем своем протяжении в направлении тока, что если последняя из них не выделится, то и первая не будет иметь возможности занять свое место в новом соединении, которое стремится создать мощное химическое сродство наиболее активного металла; тогда самый ток прекращается, ибо ток и разложение находятся в столь тесной связи друг с другом, что независимо от того, которое из этих явлений произведено первым, — движение частиц или движение тока, — одно неизменно возникает попутно с другим и в родственной связи с ним.

924. Рассмотрим затем воду и как электролит и как окислитель. При данных условиях притяжение цинка к кислороду больше, чем притяжение кислорода к водороду; но при соединении с кислородом цинк стремится создать ток электричества в определенном направлении. Линия тока совпадает, как это найдено из бесчисленных опытов, с переносом водорода от цинка по направлению к платине и с противоположно направленным переносом свежих порций кислорода от платины к цинку; ток

таким образом *может проходить* по одной этой линии и при своем прохождении не мешает, а даже благоприятствует возникновению на поверхности цинка тех условий, которыми первоначально определяются как химическое соединение, так и прохождение тока. Отсюда непрерывность действия на этой поверхности, отсюда и дальнейшее существование тока. Из этого ясно, что для того, чтобы действие могло передаваться в *определённом постоянном направлении*, наличие в цепи электролита столь же существенно, как и присутствие окисляющего или другого вещества, способного непосредственно действовать на металл; представляется также существенным, чтобы эти два вещества были объединены в одно, и чтобы начало, непосредственно действующее химически на металл, являлось одним из *ионов* служащего для опыта электролита. До сих пор, независимо от того, чем возбуждался гальванический прибор — растворами кислот, щелочей или сернистых соединений, или же расплавленными веществами (476), это основное начало всегда, насколько мне известно, было *анионом* (943); и я, исходя из принципиальных соображений об электрическом действии, прихожу к заключению, что оно непременно должно принадлежать к этому классу веществ.

925. Если рассматривать действие серной кислоты, взятой для гальванической цепи, то окажется, что соединение ее с образовавшимся окислом неспособно создать в цепи заметной доли тока электричества по той простой причине, что ей недостает весьма существенного условия: кислота не является частью какого-либо электролита и не связана с каким-либо другим присутствующим в растворе веществом, которое допускало бы взаимный перенос частиц и вытекающий отсюда перенос электричества. Правда, вследствие того, что поверхность, у которой кислота растворяет образовавшуюся при действии воды окись цинка, соприкасается с цинком, повидимому, нетрудно представить себе, каким образом эта окись могла бы сообщить металлу, который и без разложения является проводником, электрическое состояние, соответствующее химическому действию

его на кислоту. Но со стороны кислоты нет вещества, которое замыкало бы цепь; вода сама по себе не может быть проводником или, в лучшем случае, может проводить лишь столь небольшое количество электричества, что это представляет собой только случайное и почти неуловимое действие (970); вода не может проводить электричество и как электролит, потому что электролит проводит в результате *взаимной* связи и взаимного действия своих частиц, а ни элементы воды, ни сама вода не являются, насколько это может быть обнаружено, *ионами* по отношению к серной кислоте (848).¹

926. Это представление о вторичной роли серной кислоты, как агента при создании гальванического тока, находит дальнейшее подтверждение в том факте, что возникший и передаваемый ток в точности прямо пропорционален количеству разложенной воды и количеству окисленного цинка (868, 991) и равен току, требуемому для разложения такого же количества воды. Так как разложение воды указывает на то, что ток проходил при ее посредстве, то, значит, нет случаев, когда электричество приходилось бы объяснять или приписывать какому-либо иному действию, помимо взаимного действия цинка и воды.

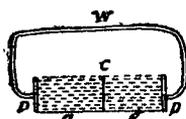


Рис. 82.

927. Этот общий, так как он включает в себя и первый (924) случай кислот и оснований, с теоретической точки зрения, можно представить следующим образом. Предположим, что на рис. 82 *a* изображает сухой ангидрид кислоты, а *b* — безводное основание, соприкасающиеся в *c* и электрически соединенные на своих концах с помощью платиновых пластин *pp* и платиновой проволоки *w*. Если бы эти кислота и основание были жидкими, и если бы в *c* происходило соединение, то как бы велико ни было при этом химическое сродство, и как бы ни была велика его

¹ Легко видеть, что здесь я согласен с сэром Гемфри Дэви, который экспериментально доказал, что при своем соединении кислоты и щелочи не создают никакого тока электричества. *Philosophical Transactions*, 1826, стр. 398.

способность вызвать электрический ток, этот ток не мог бы быть сколько-нибудь значительным, потому что, согласно данным опыта, ни *a*, ни *b* не могут проводить электричество без разложения; ибо они представляют собой или электролиты, или изоляторы во всех случаях, если не считать очень слабых и несущественных токов (970, 986). Силы химического сродства в *c* не таковы, чтобы они стремились разделить *элементы a* или *b*; они только способствуют соединению обоих этих веществ в целом; поэтому место действия оказывается изолированным, само действие — чисто местным (921, 947), и ток образоваться не может.

928. Если кислота и основание растворены в воде, то может случиться, что небольшое количество электричества, производимое химическим действием, будет проведено водой без разложения (966, 984); однако это количество будет настолько мало, что совершенно не будет соответствовать эквивалентам химической силы; оно будет чисто случайным, и, не обнаруживая существенных свойств электричества гальванического элемента, ни с какой стороны не будет частью рассматриваемых в настоящий момент явлений.¹

929. Если заменить кислородную кислоту галоидо-водородной (927), например из группы аналогичных соляной, то положение вещей совершенно меняется, и становится возможным ток, производимый химическим действием кислоты на основание. Но в этом случае оба вещества действуют как электролиты, так как в каждом из них имеется только по одному элементу, который соединяется с другим, как, например, хлор и металл; тогда водород кислоты и кислород основания готовы перемещаться вместе с хлором кислоты и с металлом основания

¹ Вполне, я надеюсь, понятно, что в настоящих исследованиях я не намереваюсь дать отчет о каждом незначительном случайном или маловероятном действии, зависящем от незначительных возмущений электрической жидкости во время химического действия, а стараюсь распознать и установить подлинность тех действий, от которых существенно зависит сила гальванической батареи.

в соответствии с током и в согласии с столь подробно изложенными выше общими законами.

930. В пользу этой точки зрения, утверждающей, что единственной причиной создания электрического тока в обыкновенном гальваническом элементе является окисление металла или какое-нибудь другое непосредственное химическое действие на него же, говорят те явления, которые имеют место, когда в качестве электролитического проводника вместо разбавленной серной кислоты служат щелочные растворы или растворы сернистых соединений (931, 943). Именно для выяснения этого пункта были поставлены описанные выше (884) опыты без металлического контакта и с раствором щелочи в качестве возбуждающей жидкости.

931. Затем были использованы более благоприятные условия, которые представляются при допущении металлического контакта (895), и были повторены опыты с разложением веществ с помощью одной пары пластин (899), причем разбавленная серная кислота в сосуде *v* (см. рис. 78), заменялась раствором едкого кали. Возникали все те же действия, что и ранее: гальванометр отклонялся, в точке *x* происходило разложение растворов иодида калия, нитрата серебра, соляной кислоты и сульфата натрия; место, где появлялись выделяющиеся вещества, так же как и отклонение гальванометра, указывали на существование тока *такого же направления*, как и в том случае, когда в сосуде *v* имелась кислота, т. е. в направлении от цинка, через раствор, к платине и обратно к цинку через гальванометр и разлагающееся вещество.

932. Сходство между действиями разбавленной серной кислоты и едкого калия в действительности идет гораздо дальше этого, вплоть до доказательства тождества не только в *направлении* движения получаемого электричества, но и в *количестве* его. Если в раствор едкого кали погрузить амальгамированную цинковую пластинку, то она не поддается заметному

действию; но если она в растворе соприкасается с платиновой пластинкой, то на поверхности последней выделяется водород, и цинк окисляется точно также, как при погружении в разбавленную серную кислоту (863). Ввиду этого я повторил вышеописанный опыт со взвешенными цинковыми пластинами (864 и т. д.), заменив, однако, разбавленную серную кислоту раствором едкого кали. Хотя теперь требовалось значительно больше времени, чем с кислотой (так, например, для окисления 7,55 грана цинка потребовалось около трех часов), тем не менее, я нашел, что выделившийся у платиновой пластины водород был эквивалентен количеству металла, окисленного у поверхности цинка. Следовательно, все те рассуждения, которые приложимы в первом случае, пригодны также и здесь, и ток имеет то же самое направление, и разлагающее его действие имеет ту же величину, как при опытах с кислотой вместо щелочи (868).

933. Итак, мне представляется вполне доказанным, что в предшествующем опыте соединение кислоты с окислом не имело ничего общего с созданием электрического тока; в самом деле, в данном случае такой же точно ток создается, когда действия кислоты нет, а есть обратное действие щелочи. Нельзя, я полагаю, допустить ни на один момент, чтобы щелочь химически вела себя по отношению к образовавшемуся окислу так же, как кислота; наоборот, наши основные познания по химии приводят нас к заключению, что скорее обыкновенные металлические окислы действуют, как кислоты на щелочи; но действие такого рода создавало бы ток, обратный тому, который имеет место в данном случае, если вообще имел место ток, обусловленный таким соединением окисла возбуждаемого металла с веществом, которое с ним соединяется. Однако никакого изменения такого рода не наблюдалось; наоборот, направление электричества было все то же и количество его также было прямо пропорционально количеству разложенной воды или окисленного цинка. Имеются основания полагать, что кислоты и щелочи, находясь в соприкосновении с металлами, на которые

они непосредственно действовать не могут, все же обладают способностью влиять на сродство последних к кислороду (941). Однако все явления в этих опытах подтверждают, я полагаю, что ток создается именно окислением металла, которое неизбежно определяется электролизом воды и само по себе с ним связано (921, 923), что кислота или щелочь действуют только как растворители, и, удаляя окисленный цинк, позволяют следующим порциям его разлагать все новую воду и продолжать таким образом образование тока и давать ему направление.

934. Затем опыты были видоизменены таким образом, что вместо раствора едкого кали был взят раствор аммиака; так как последний в чистом виде является, подобно воде, плохим проводником (554), то его проводимость иногда улучшалась добавлением к нему сульфата аммония. Однако во всех этих случаях результаты были те же, что и ранее: происходило разложение такого же рода, и вызывающий его электрический ток имел то же самое направление, что и в только что описанных опытах.

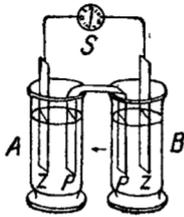


Рис. 83.

935. Чтобы с большей строгостью проверить равенство и сходство действия кислоты и щелочи, была изготовлена установка, показанная на рис. 83. Стекланный сосуд *A* содержал разбавленную серную кислоту, а соответствующий стеклянный сосуд *B* — раствор едкого кали; *PP* изображает собой платиновую пластину погруженную в тот и другой раствор, а *ZZ* — две пластины из амальгамированного цинка, соединенные с чувствительным гальванометром. При одновременном погружении последних в оба сосуда, вначале возникало слабое вообще действие, и притом в пользу щелочи, т. е. электрический ток стремился проходить через сосуды в направлении стрелки, что представляет собой направление, обратное тому, которое получилось бы при одной кислоте в сосудах *A*. Однако это действие сейчас же прекращалось, и действия пластин оказывались настолько близкими по величине, что, будучи проти-

воположными в силу противоположного расположения пластин, они в результате не давали длительного тока.

936. Иногда платиновые пластины *PP* заменялись цинковыми, а цинковые — платиновыми, но это не вызывало никаких изменений в результатах; дальнейшая замена средней пластины медной также не вызывала никаких изменений.

937. Так как противопоставление электродвижущих пар пластин приводит к результатам, отличным от тех, которые обусловлены просто разностью их независимого действия (1011, 1045), то я придумал другую форму прибора, в котором действие кислоты и щелочи можно было бы сравнить более непосредственно. Цилиндрическая стеклянная чашка дюйма два в глубину (внутри) с внутренним диаметром в один дюйм и по крайней мере в четверть дюйма толщиной, была вдоль середины разрезана пополам (рис. 84). Было взято широкое латунное кольцо, в диаметре больше чашечки; на одной его стороне имелся винт, так, чтобы если обе половины чашечки поместить во внутрь кольца и винт плотно прижать к стеклу, в чашечке удерживалась налитая в нее жидкость. Промокательная бумага различной степени проницаемости разрезалась на куски такого



Рис. 84.

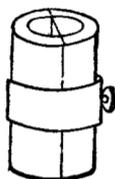


Рис. 85.

размера, чтобы их легко можно было ввести между неплотно прилегающими половинами чашечки; когда последние опять плотно прижимались друг к другу, они образовали пористую перегородку вдоль середины чашечки; перегородка эта была достаточна для того, чтобы помешать смешиванию (разве только медленному) любых двух жидкостей, находящихся с противоположных сторон бумаги, и, тем не менее, не препятствовала тому, чтобы они действовали, как один *электролит*. Два образованных таким образом объема я буду называть ячейками *A* и *B* (рис. 85). Я нашел, что этот прибор может быть полезен во многих случаях при исследовании отношений между различными жидкостями и между жидкостями и металлами. Поль-

зуюсь этим прибором вместе с гальванометром, легко установить отношение одного металла к двум жидкостям или двух металлов к одной жидкости, или двух металлов и двух жидкостей.

938. В ячейку *A* была налита разбавленная серная кислота с удельным весом 1,25, а в ячейку *B* — крепкий раствор едкого кали; они медленно смешивались через бумагу, так что в конце концов на стороне бумаги, обращенной к щелочи, образовалась толстая корочка сульфата кали. В каждую ячейку было опущено по пластинке из чистой платины, и пластинки были связаны с чувствительным гальванометром, но никакого электрического тока обнаружить не удалось. Следовательно контакт кислоты с одной из платиновых пластин, а щелочи с другой, не были в состоянии создать ток; не могло этого достигнуть и соединение кислоты со щелочью (925).

939. Когда я удалял одну из платиновых пластин и заменял ее цинковой, все равно, амальгамированной или неамальгамированной, получался сильный электрический ток. Но безразлично, где что находилось: цинк — в кислоте, а платина — в щелочи, или же порядок был обратный, электрический ток всегда проходил от цинка через электролит к платине и обратно к цинку через гальванометр, причем наиболее силен ток, по видимому, был тогда, когда цинк находился в щелочи, а платина — в кислоте.

940. Таким образом в этих опытах кислота, видимо, не перебивает щелочи, а скорее уступает ей в силе. Нет, следовательно, оснований предполагать, что соединение образующегося окисла с окружающей его кислотой оказывает непосредственное влияние на образование выделяемого электричества; оно, по видимому, целиком обусловлено окислением металла (919).

941. Щелочь превосходит кислоту в отношении способности приводить металл в так называемое положительное состояние; и действительно, если как в кислоте, так и в щелочи брать пластины из одного и того же металла, как, например, цинка, олова, свинца или меди, то электрический ток идет от щелочи

через элемент к кислоте и обратно к щелочи через гальванометр, как это было ранее указано сэром Гемфри Дэви.¹ Этот ток настолько велик, что если металлом служит амальгамированный цинк, олово или свинец, металл в кислоте начинает выделять водород сейчас же по соединении его с металлом в щелочи; и вовсе не из-за прямого действия на него кислоты, так как при размыкании контакта действие прекращается, а в силу того, что он оказывается сильно отрицательным по отношению к металлу в щелочи.

942. Превосходство щелочи подтверждается еще тем, что при употреблении пластинок из цинка и олова или олова и свинца, тот из металлов, который погружают в щелочь, становится положительным, а металл, опущенный в кислоту — отрицательным. Какой бы металл ни находился в щелочи, он окисляется, тогда как в кислоте металл сохраняет металлическое состояние, поскольку это зависит от электрического тока.

943. Для иллюстрации того положения, что электричество гальванической цепи целиком возбуждается химическим действием между металлом и одним из *ионов* взятого одновременно электролита, я брал иногда сернистые растворы. Тогда получаются те же доказательства. Так, например, как показал сэр Гемфри Дэви,² при погружении железа и меди в разбавленную кислоту, ток идет от железа к меди через жидкость; в растворе едкого кали он имеет то же самое, а в растворе сернистого кали — обратное направление. В первых двух случаях электрический ток создается кислородом, который соединяется с железом, а в последнем — серой, соединяющейся с медью; но и кислород и сера представляют собой *ионы*, существующие как таковые в электролите, который в то же время претерпевает разложение; мало того, оба они суть *анионы*, так как они покидают электролиты у их *анодов* и действуют точно так же, как действо-

¹ Elements of Chemical Philosophy, стр. 149, или Philosophical Transactions, 1826, стр. 403.

² Elements of Chemical Philosophy, стр. 148.

вал бы хлор, иод или любой другой анион, который мы могли бы избрать заранее, чтобы привести в действие гальваническую цепь.

944. Следующие опыты дополняют ряд доказательств по вопросу о происхождении электричества гальванического элемента. Жидкая амальгама калия, содержащая не более одной сотой части последнего металла, была опущена в чистую воду и соединена через гальванометр с платиновой пластинкой, находившейся в той же воде. Немедленно возникал электрический ток, направленный от амальгамы через электролит к платине. Этот ток должен быть приписан одному лишь окислению этого металла, так как здесь не было ни кислоты, ни щелочи, которые могли бы соединяться с образовавшимся веществом или вообще каким-либо путем на него действовать.

945. Затем в *чистую* воду были опущены пластины из очищенного свинца и из платины. Немедленно же возникал сильный ток, направленный от свинца через жидкость к платине. Напряжения его хватало даже на разложение раствора иодида калия, введенного в цепь в виде описанного выше (880) устройства (см. рис. 74). В данном случае источником электричества не могло быть действие кислоты или щелочи на образовавшийся из свинца окисел; электричество было обусловлено исключительно окислением металла.

946. В учении об электричестве нет вопроса, который представлялся бы мне более важным, чем состояние металлов и электрических проводников в простой гальванической цепи в момент *перед самым замыканием* металлического контакта и в *самый момент замыкания*. Я не сомневаюсь в том, что правильное понимание этого вопроса дало бы нам в руки ключ к тем законам, которым подчинено огромное разнообразие типов гальванического возбуждения как прямого, так и косвенного, и открыло бы новые области для нашего исследования.¹

¹ В связи с этим вопросом см. одиннадцатую серию, п. 1164; двенадцатую серию, пп. 1343—1358; тринадцатую серию, п. 1621 и т. д. Дек. 1838 г.

947. Во многих случаях химического сродства (как, например, цинка к кислороду воды и т. п.) мы, повидимому, можем до некоторой степени решить, к какому именно из двух типов относится та *притягательная сила*, которая будет здесь проявляться (996). При действии одного типа мы можем передавать эту силу дальше и заставить ее в другом месте совершить эквивалентное действие (867, 917); при действии другого типа она не передается, а проявляется полностью на месте. Первое представляет собой случай вольта-электрического возбуждения, второе — обыкновенного химического сродства, но оба они являются химическими действиями и обусловлены одной и той же силой, или началом.

948. Общие условия для действия первого типа имеют место во всех случаях гальванического тока, но вполне характерными и свободными от условий, соответствующих второму типу, их можно считать только в некоторых случаях, как, например, при употреблении пластин из цинка и платины в растворе едкого кали или амальгамированного цинка и платины в разбавленной серной кислоте.

949. Итак, можно принять, что предшествующими опытами и рассуждениями в достаточной мере доказано, что при цинке, платине и разбавленной серной кислоте электродвижущее действие обусловлено взаимным сродством металлического цинка и кислорода воды (921, 924); но казалось бы, что сам по себе этот металл еще не обладает при этих обстоятельствах достаточной силой, чтобы отнять от воды кислород и выделить водород; действительно, такого действия и не наблюдается. Однако ясно, с другой стороны, что благодаря притяжению к кислороду тех частиц, которые с ним соприкасаются, у цинка хватает силы действовать так, чтобы приводить в особое состояние напряжения или полярности силы, которые уже действуют между этими частицами кислорода и частицами водорода воды; по всей вероятности, он одновременно приводит в подобное же, но противоположное состояние свои собственные частицы, находящиеся в соприкосновении с водой. Пока это состояние сохраняется, никакого дальнейшего изменения не происходит; но при замыкании

цепи состояние это исчезает, причем силы, устремленные в противоположных по отношению к цинку и к электролиту направлениях, оказываются способными в точности нейтрализовать друг друга, и тогда между местом контакта с платиной и тем местом, где действует цинк, среди частиц кислорода и водорода, составляющих воду, происходит ряд разложений и соединений; эти промежуточные частицы, очевидно, находятся в тесной связи и зависимости друг от друга. Цинк образует прямое соединение с теми частицами кислорода, которые до тех пор были связаны и с ним и с водородом; окисел удаляется кислотой, и перед водой предстает свежая поверхность цинка; действие возобновляется и повторяется далее и далее.

950. Чтобы устранить это состояние напряжения, практически лучше всего погрузить в разбавленную кислоту металл, который обладает меньшим притяжением к кислороду, чем цинк, и привести его в соприкосновение и с цинком. Тогда сила химического сродства, которая в частицах воды была поляризована или подвергалась влиянию более сильного притяжения цинка к кислороду, в высшей степени необычным путем передается через оба металла и снова входит в цепь электролитического проводника, который, в отличие в этом отношении от металлов, не может передавать или переносить этой силы, не претерпевая разложения. Эта сила, по всей вероятности, в точности уравновешивается и нейтрализуется той силой, которая в тот же самый момент производит соединение цинка с кислородом воды. Действительно, силы этих двух частиц, которые действуют друг против друга и, следовательно, направлены в противоположные стороны, дают начало двум противоположным силам, или направлениям сил в токе. Они неизбежно эквивалентны друг другу, и когда они переносятся в противоположные стороны, они производят то, что называется гальваническим током. Невозможно, мне кажется, удержаться от мысли, что им должно предшествовать *состояние напряжения* в жидкости и между жидкостью и цинком; это напряжение является *первым следствием*, вытекающим из сродства цинка к кислороду воды.

951. Я тщательно искал указаний на состояние напряжения в электролитическом проводнике; я полагал, что оно создает нечто вроде структуры либо в момент его исчезновения, либо до этого, и пытался обнаружить это с помощью поляризованного света. К стеклянному сосуду, в семь дюймов длиной, полтора дюйма шириной и шесть дюймов высотой, были прилажены две системы платиновых электродов: одна система для концов [сосуда] и другая — для его боковых стенок. Электроды, предназначенные для боковых стенок, имели семь дюймов в длину и три дюйма в высоту; и когда они находились в элементе, то отделялись друг от друга небольшой деревянной, покрытой колесиком, рамкой так, что когда они становились действующими вследствие присоединения к батарее и действовали на раствор в сосуде, то поднимающиеся от них пузырьки газа не затеняли центральной части жидкости.

952. В сосуд наливался насыщенный раствор сульфата натрия, и электроды связывались с батареей из 150 пар 4-дюймовых пластин. Ток электричества проходил через сосуд настолько легко, что цепь замыкалась не хуже, чем если бы здесь был провод. Затем через раствор, прямо перпендикулярно пути тока, был пропущен поляризованный луч света, который наблюдался с помощью анализирующей пластинки. Однако, хотя луч проходил через семь дюймов раствора, подвергнутого таким образом действию электричества, и хотя контакт то замыкался, то размыкался, а иногда делался и в обратном направлении, ни малейших следов действия на луч заметить не удавалось.

953. Затем на место больших электродов были введены другие, которые по размерам точно соответствовали концам сосуда. Чтобы свет мог проходить, в каждом из них была прорезана щель. Путь поляризованного луча был теперь параллелен току, иначе говоря проходил в направлении его оси (517); тем не менее действия на луч ни при каких условиях — ни при замыкании, ни при размыкании — заметить не удавалось.

954. Вместо сульфата натрия был взят крепкий раствор нитрата свинца, но никакого действия обнаружить не удавалось.

955. Я считал возможным, что эффект, который, вероятно, создается начальным состоянием напряжения, может быть нейтрализован и, значит, уничтожен ослаблением электрических сил вследствие последовательных разложений новых частиц электролита; я взял поэтому вещество, которое, будучи в жидком состоянии прекрасным электролитом, в твердом представляет собой совершенный изолятор, а именно: борат свинца в виде стеклянной пластинки; я соединял грани и ребра этой массы с металлическими пластинами, которые находились в контакте иногда с полюсами гальванической батареи, а иногда даже с электрической машиной, чтобы использовать получаемое в этом случае преимущество в смысле значительно более высокого напряжения; я пропускал сквозь пластинку, как и ранее, поляризованный луч в различных направлениях, но ни малейшего проявления действия на свет мне получить не удавалось. Отсюда я заключаю, что, несмотря на это новое и необычное состояние, в которое должен приходиться электролит либо во время разложения (когда через него проходит огромное количество электричества), либо в состоянии напряжения, которое, как я понимаю, предшествует разложению и которое, как можно было бы предполагать, должно сохраняться, если электролит находится в твердом состоянии, — электролит, тем не менее, не обладает способностью действовать на поляризованный луч света, так как таким путем никакой структуры или напряжения обнаружить нельзя.

956. Имеется, однако, одно прекрасное экспериментальное подтверждение состояния напряжения, приобретаемого металлами и электролитом до того момента, как создается электрический ток и *ранее, чем производится контакт* между разнородными металлами (915), т. е. фактически в тот момент, когда единственной действующей причиной являются химические силы. Я взял гальванический прибор, состоящий всего из одной пары больших пластин, а именно: цилиндра из амальгамированного цинка и двойного медного цилиндра. Пластины были погружены в банку, содержащую разбавленную серную ки-

слоту; ¹ их по желанию можно было приводить в металлическое соединение с помощью медной проволоки, приспособленной так, что ее концы можно было погружать в две чашки со ртутью, соединенные с пластинами.

957. При таком устройстве, когда пластины соединены не были, химического действия также не было. При замыкании контакта получалась искра, ² и раствор немедленно разлагался. При размыкании получалась обычная искра, и разложение прекращалось. В этом случае очевидно, что первая искра должна была возникнуть раньше, чем был произведен металлический контакт, так как она проходила через воздушный промежуток. Очевидно также, что искра должна была стремиться проскочить раньше, чем наступало электролитическое действие, так как последнее не могло иметь места до тех пор, пока не пошел ток, а ток не мог пройти раньше, чем появилась искра. В этом я усматриваю достаточно веское подтверждение того, что поскольку электричество этого устройства производится взаимным действием цинка и воды, постольку именно они в результате их начального соприкосновения друг с другом пришли в состояние сильного напряжения (951), которое, хотя и не может вызвать фактического разложения воды, но может заставить искру электричества проскочить между цинком и подходящим разрядником, как только расстояние между ними делается достаточно малым. Этот опыт демонстрирует непосредственное образование электрической искры посредством чисто химических сил.

958. Получение искры с помощью одной пары пластин связано с несколькими условиями, которые следует знать, чтобы

¹ При пользовании азотно-серной кислотой, искра получается более сильной, но тогда может начаться местное химическое действие, не требующее для своего продолжения металлического контакта.

² Обычно полагают, что при одной паре пластин при замыкании контакта искра не получается. Я ожидал искры на основании выдвинутых в настоящем докладе соображений. Соединительный провод должен быть коротким, так как длинный провод создает условия, сильно сказывающиеся на искре.

успех опыта ¹ был обеспечен. Когда амальгамированные поверхности контакта совершенно чисты и сухи, то искра при замыкании контакта получается столь же, а может быть и еще более яркой, чем при размыкании его. Когда же на той или другой ртутной поверхности имелась пленка окиси или грязи, тогда первая искра часто была слабой; нередко она совершенно отсутствовала, искра же при размыкании была попрежнему постоянной и яркой. Когда на поверхности ртути было налито немного воды, то яркость искры сильно уменьшилась, но одинаково как при замыкании, так и при размыкании контакта. Когда контакт производился между поверхностями чистой платины, то искра была также очень слабой, но одинаковой в обоих случаях. Настоящая электрическая искра в действительности очень слаба, и при пользовании ртутными поверхностями большая часть света производится сгоранием металла. Связанные со сгоранием ртути условия весьма благоприятны при размыкании контакта, так как в момент размыкания вскрываются чистые поверхности металла, тогда как при замыкании контакта часто мешает пленка окиси или загрязнений. Отсюда общее мнение, что искра проскакивает только при *размыкании* контакта.

959. Обратимся к другому ряду случаев, а именно к случаям местного действия (947); при них проявляющееся химическое сродство не вызывает переноса этой силы туда, где не создается электрического тока. Очевидно, что здесь должны действовать весьма интенсивные силы, но во время таких соединений они должны некоторым образом уравниваться в своей деятельности; эти силы направлены столь прямо и исключительно навстречу друг другу, что не обнаруживается никаких следов того сильного электрического тока, который они способны создать, хотя в конечном итоге положение оказывается таким же, как если бы ток прошел. Кажется, Берцелиусу принадлежит мнение,

¹ В отношении предосторожностей, относящихся к искре, п. 1074. Дек. 1838 г.

что образуемое при сгорании тепло и свет являются результатами такого способа проявления электрических сил соединяющихся частиц. Однако понадобится гораздо более точное и широкое познание природы электричества и того, каким образом оно связано с атомами материи, прежде чем мы сможем правильно понять действие силы, которая вызывает такое соединение атомов, и постигнуть природу большого различия, которое представляет эта сила в только что разобранных способах действия. Можно делать разные предположения, но все они пока что должны быть отнесены к числу *сомнительных данных* (876), а это число мы должны стараться уменьшать, а не увеличивать, так как многочисленные взаимные противоречия этих данных указывают, что лишь небольшая часть их может в конечном итоге оказаться истинной.¹

960. Относительно двух типов действия, в которых проявляется химическое сродство, важно отметить, что действие, производящее электрический ток, так же *определенно*, как и то, которое вызывает обыкновенное химическое соединение, так что при изучении *получения* или *выделения* электричества в случаях соединения и разложения необходимо изучить не только [химические] действия, производимые током электричества, но также и их размеры; правда, не раз может случиться, что силы, наблюдаемые в каком-либо частном случае химического действия, будут проявляться отчасти в одном виде, а отчасти в другом; но отношение к гальваническому действию имеют только те силы, которые причастны к созданию тока. Так, при соединении кислорода и водорода, с образованием воды, временно действуют огромные электрические силы (861, 873); однако методы, разработанные до сих пор для изучения пламени, которое образуется во время их энергичного соединения, позволили заметить лишь ничтожные следы этих сил. Эти следы не могут и не должны поэтому служить указаниями на природу данного действия, но представляют собой лишь случайные результаты, несравнимо малые по

¹ См. п. 1738 и т. д., четырнадцатая серия. Дек. 1838 г.

сравнению с участвующими в явлении силами; они не дают нам сведений о том, каким путем частицы действуют друг на друга, или о том, как в конце концов, располагаются их силы.

961. Что такие случаи химического действия не производят *тока электричества*, это полностью согласуется с тем, что нам известно о гальваническом приборе, в котором существенно, чтобы один из соединяющихся элементов являлся частью электролитического проводника или находился с ним в непосредственной связи (921, 923). В таких случаях не получается *свободного электричества напряжения*, и при переходе их в случаи гальванического действия создаются настолько [по величине] одинаковые, противоположные силы, что они нейтрализуют друг друга. Это обстоятельство доказывает равенство сил в расположенных друг против друга и действующих частицах материи, а, следовательно, и равенство электрических сил в тех количествах вещества, которые называются *электрохимическими эквивалентами* (824). Отсюда другое доказательство определенности электрохимического действия (783 и т. д.) и того, что химическое сродство и электричество суть разные виды одной и той же силы.

962. Непосредственная связь между действиями, производимыми гальваническим элементом в месте, где производится разложение, и химическим сродством, действующим в месте возбуждения (891, 917), дает весьма простое и естественное представление о причине того, почему выделяющиеся вещества (или *ионы*) переносятся в определенных направлениях; в самом деле, только тогда, когда они перемещаются в этих направлениях, силы их могут существовать наряду с превосходящими их силами, которые преобладают в том месте, где определяется действие всей системы, и компенсировать их (по крайней мере, в смысле направления). Если, например, в гальванической цепи, действие которой определяется притяжением цинка к кислороду воды, цинк движется справа налево, то всякий другой, находящийся в цепи *катион*, представляющий собой часть электролита или временно образующий часть его, также будет двигаться справа налево; и поскольку кислород воды, в силу своего естественного

сродства к цинку, движется слева направо, то и всякое другое вещество, принадлежащее к тому же классу (т. е. всякий другой анион) и в данное время подчиняющееся кислороду, будет двигаться слева направо.

963. Я могу иллюстрировать это ссылкой на рис. 86, где двойная окружность пусть изображает замкнутую гальваниче-

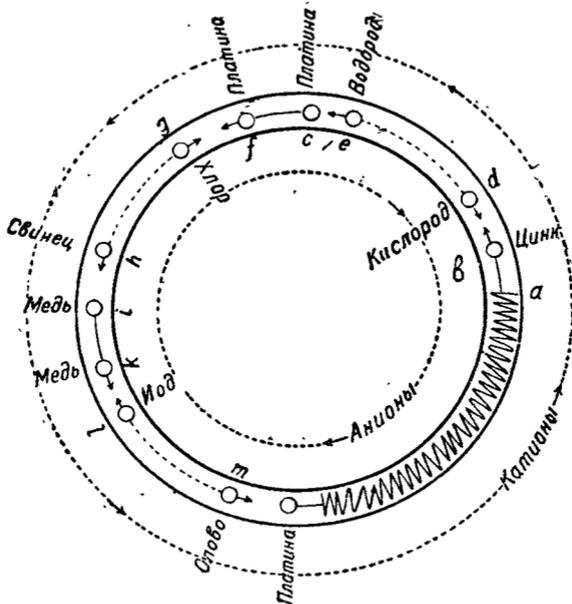


Рис. 86.

скую цепь; направление ее сил определится, если на момент предположить, что цинк *b* и платина *c* изображают пластины из этих металлов, действующие на воду, *d*, *e* и другие вещества, и что энергия, которой цинк и платина обладают, настолько выше, что при действии батареи в *a* они вызывают ряд разложений (989). Это предположение допустимо, потому что действие в батарее будет состоять лишь из повторений того, что имело бы место между *b* и *c*, если бы они действительно составляли только-

одну пару [пластин]. Цинк b и кислород d , в силу своего взаимного сродства, стремятся к соединению; но так как кислород уже связан с водородом e и присущие ему химические или электрические силы в данное время нейтрализованы силами последнего, то водород e должен покинуть кислород d и продвигаться в направлении стрелки; иначе цинк b не сможет перемещаться в том же самом направлении, чтобы соединиться с кислородом d , а кислород d тоже не сможет двигаться в противоположном направлении, чтобы соединиться с цинком b , так как этому мешает отношение между *одинаковыми* силами b и e , направленными друг другу навстречу, и *противоположными* силами d . По мере того как водород e продвигается вперед, он, дойдя до составляющей часть цепи платины cf , при посредстве ее передает свои электрические или химические силы следующему в цепи электролиту — расплавленному хлориду свинца g, h , в котором хлор должен перемещаться одинаково с направлением движения кислорода у d , так как он должен компенсировать силы, нарушенные в занимаемой им части цепи более сильным влиянием сил между кислородом и цинком у db , еще подкрепляемых силами батареи a . Вследствие подобных же причин, свинец должен двигаться в направлении, намеченном стрелкой, чтобы быть в должном отношении к первому движущемуся веществу того же класса, а именно к цинку b . Если в цепь от i до k включить медь, то она действует так, как раньше платина; а если в lm находится другой электролит, скажем, иодид олова, то иод l , являясь *анионом*, должен перемещаться одинаково с возбуждающим *анионом*, именно кислородом d , а *катион*, т. е. олово m , должен двигаться согласно с другими катионами d, e и h , чтобы химические силы во всей цепи находились в равновесии, в отношении как направления, так и величины. Если бы случилось, что анионы при своем передвижении соединятся с металлами у *анодов* соответствующих электролитов, как это имело бы место у платины f и меди k , то эти вещества, сделавшись частью электролитов, под влиянием тока немедленно придут в движение; но если принять во внимание их отношение к цинку b , то, очевидно, невозможно,

чтобы они перемещались в направлении, отличном от пути цинка, и поэтому они никогда не могут двигаться иначе как *от* анода к катоду.

964. Таким образом в цепи, подобной той, которая изображена на рисунке, все известные *анионы* могут сгруппироваться внутри, а все *катионы* — снаружи. Если некоторое количество их входит в качестве *ионов* в состав электролитов и, образуя одну цепь, одновременно подвергается действию общего тока, то анионы должны двигаться в согласии друг с другом в одном направлении, а катионы — в другом. Мало того, в противоположных направлениях должны таким образом перемещаться эквивалентные количества этих веществ: перемещение каждаых 32,5 частей цинка *b* должно сопровождаться перемещением в противоположном направлении 8 частей кислорода у *d*, 36 частей хлора у *g*, 126 частей иода у *l* и движением в том же самом направлении равных их электрохимическим эквивалентам количеств водорода, свинца, меди и олова у *e*, *h*, *k* и *t*.

965. Если признать настоящий доклад правильным изложением фактов, то он все же явится лишь подтверждением некоторых общих взглядов, высказанных сэром Гемфри Дэви в его Бэкеровской лекции в 1806 г.,¹ а затем пересмотренных и вновь изложенных им в 1826 г. в другой Бэкеровской лекции об электрических и химических изменениях.² Основное его положение таково: «*химические и электрические притяжения производятся одной и той же причиной, действующей в одном случае на частицы, а в другом — на массы вещества; одно и то же свойство в различных видоизменениях оказывается причиной всех явлений, обнаруживаемых различными гальваническими комбинациями*». ³ Это положение я считаю правильным; однако, принимая и поддерживая его, я должен протестовать против предположения,

¹ Philosophical Transactions, 1807.

² Там же, 1826, стр. 383.

³ Там же, 1826, стр. 389.

будто я согласен со всем тем, что связано с ним в обоих упомянутых докладах, и будто я думаю, что все те опыты, которые там приводятся, являются убедительными доказательствами справедливости указанного принципа. Если бы я считал их таковыми, то не было бы надобности в настоящем исследовании. Кое-кто скажет, может быть, что мне бы следовало полностью разобрать эти доклады, отделить в них то, что я принимаю, от того, что отвергаю, и принести и в том и другом случае веские экспериментальные или теоретические доводы в пользу своего суждения. Но тогда я для той же цели должен был бы пересмотреть и все то, что написано за и против необходимости металлического контакта, за и против происхождения гальванического электричества из химического действия, а это задача, которую я не могу взять на себя в настоящем докладе.¹

ГЛАВА II

О напряжении, необходимом для электролиза

966. Для понимания многих из тех условий, которые имеют отношение к гальваническому действию, необходимо было решить, по возможности окончательно, могут ли электролиты сопротивляться действию электрического тока, если его напряжение лежит ниже определенного значения; является ли напряжение, при котором ток перестает действовать, одинаковым для всех веществ; и далее, будут ли сопротивляющиеся таким образом разложению электролиты после того, как они перестали проводить электрический ток как электролиты, проводить его

¹ Одно время я намеревался привести здесь в виде примечания перечень ссылок на статьи различных исследователей, которые образование электричества в гальваническом элементе приписывали контакту, химическому действию или же тому и другому вместе. Но после опубликования первого тома исключительно важного и ценного «*Traité de l'Electricité et du Magnétisme*» г. Беккереля, я решил, что гораздо лучше отослать к упомянутому труду за такими справками, а также по вопросу о взглядах, которых придерживаются цитируемые авторы. См. стр. 86, 91, 104, 110, 112, 117, 118, 120, 151, 152, 224, 227, 228, 232, 233, 252, 255, 257, 258, 290 и т. д. 3 июля 1834 г.

так, как это делают металлы, или же они будут вести себя, как совершенные изоляторы.

967. Из описанных выше опытов (904, 906) было ясно, что равные вещества разлагаются с различной легкостью и для своего разложения, повидимому, требуют токов различного напряжения, т. е. сопротивляются одним и поддаются действию других. Но еще нужно было с помощью весьма тщательных и специальных опытов решить, может ли ток действительно проходить через электролит, не разлагая его при этом (910).

968. Была собрана установка (рис. 79) (899), в которой два стеклянных сосуда содержали одинаковую разбавленную серную кислоту с удельным весом 1,25. Пластинка Z была из амальгамированного цинка, она была соединена с помощью платиновой проволоки a с платиновой пластинкой e ; b — платиновая проволока, соединяющая две платиновые пластины PP' ; c — платиновая проволока, соединенная с платиновой пластинкой P . На пластинку e был положен кусочек бумаги, смоченной раствором иодида калия; проволока c была изогнута так, что конец ее мог при желании ложиться на эту бумагу, и тогда по выделению на ней иода можно было судить, проходит ли ток; помещенная в положение, указанное пунктиром, проволока давала непосредственное соединение с платиновой пластинкой e , и электричество могло проходить, не вызывая разложения. Это делалось с следующими целями: создать ток под действием кислоты на амальгамированный цинк в первом сосуде A ; пропустить его с помощью платиновых электродов через второй сосуд B для того, чтобы можно было обнаружить его способность разлагать воду, если только таковая существует, и чтобы, при желании, можно было по разложению в e убеждаться в существовании тока, не вводя постоянного препятствия этому току; а это получилось бы, если бы разложение здесь происходило непрерывно. При проведении опыта существование тока было удостоверено по разложению в e ; после этого конец проволоки c был оставлен лежащим на пластине e , где он образовал постоянное металлическое соединение.

969. По истечении нескольких часов проволока с была снова помещена на реактивную бумажку в ϵ : разложение наступало, и прохождение тока было таким образом *доказано* полностью. По сравнению с током в начале опыта, ток был очень слаб вследствие того, что металлические поверхности во втором сосуде пришли в особое состояние, которое заставляло их противодействовать проходящему току действием некоторой силы, которая была им присуща при этих условиях (1040). Тем не менее, разложение доказывало, что это состояние пластин во втором сосуде было не в состоянии полностью прекратить возникающий в первом сосуде ток, а в настоящем исследовании больше ничего установить и не требовалось.

970. Время от времени я наблюдал этот прибор, и неизменно оказывалось, что электрический ток через него проходил на протяжении целых двенадцати дней, в течение которых он все время действовал на воду во втором сосуде. Несмотря на такой долгий срок, ни на одной из пластин этого сосуда не появлялось ни малейших следов пузырьков. Результаты этого опыта приводят меня к заключению, что ток *проходил*, но что напряжение его было ниже того, при котором элементы воды отделяются друг от друга без помощи какой-либо вторичной силы, происходящей из способности их соединений с веществом электродов или с окружающей последние жидкостью.

971. Можно предположить, что кислород и водород выделялись в очень малых количествах и потому полностью растворялись в воде или удалялись с поверхности или же, наконец, соединялись, образуя воду. Что водород может таким образом растворяться, было видно по первому сосуду; действительно, по истечении нескольких дней на стеклянном стержне, разделявшем цинк и платину, а также на самой платиновой пластинке, стали постепенно появляться мелкие пузырьки газа, и это был водород. Они возникали преимущественно таким путем: несмотря на амальгамирование цинка, кислота оказывала на него небольшое непосредственное действие, так что от поверхности его постоянно поднималась слабая струя водорода; незначитель-

ная часть этого водорода постепенно растворялась в разбавленной кислоте и частью освобождалась у поверхности стержня и платины в силу известного действия таких твердых веществ в растворах газов (623 и т. д.).

972. Но если бы во втором сосуде вследствие разложения воды образовались газы, и если бы они стремились растворяться, то все же мы имели бы полное основание ожидать, что на поверхности электродов, особенно отрицательного, появится несколько пузырьков, хотя бы уже потому, что этот электрод является центром, где должен образоваться предполагаемый раствор; однако даже по истечении двенадцати дней никаких пузырьков не появлялось.

973. Когда в сосуде *A* (см. рис. 79) добавлялось всего несколько капель азотной кислоты, то получались совсем другие результаты. По истечении менее чем пяти минут на пластинах *P'* и *P''* во втором сосуде появлялись небольшие пузырьки газа. Чтобы доказать, что это было вызвано действием тока (прохождение тока было одновременно установлено испытанием в *e*), соединение у *e* было разомкнуто, пластины *P'* и *P''* были очищены от пузырьков и на пятнадцать минут оставлены в кислоте в сосуде *B*; в течение этого времени пузырьков на них не появлялось; но при восстановлении соединения в *e* не прошло и минуты, как на пластинах появлялся газ в виде пузырьков. Таким образом полностью и окончательно доказано, что ток, возбуждаемый в сосуде *A* смесью разбавленной серной кислоты с небольшим количеством азотной, имеет достаточное напряжение, чтобы преодолеть химическое сродство между кислородом и водородом воды в сосуде *B*; наоборот, ток, возбуждаемый одной разбавленной серной кислотой, достаточным напряжением не обладает.

974. Когда в сосуде *A* для возбуждения тока был взят крепкий раствор едкого кали, с помощью разлагающих действий на *e* было обнаружено, что ток проходит. Однако он не обладал достаточным напряжением, чтобы разлагать воду в сосуде *B*, ибо хотя сосуд и был оставлен на целых четырнадцать дней, в течение которых ток, как оказывалось, проходил все время, тем

не менее, на пластинах P' и P'' не появлялось ни малейших следов газа; и не было никаких других указаний на то, что вода претерпевала разложение.

975. Затем был исследован сульфат натрия в растворе, в целях проверить, требуется ли для его разложения в этом состоянии определенное электролитическое напряжение, по аналогии с результатами, установленными по отношению к воде (974). Устройство прибора видно на рис. 87; P и Z суть платиновая и цинковая пластины, погруженные в раствор доваренной соли; a и b — платиновые пластинки, соединенные с помощью платиновых проволок (за исключением провода гальванометра g)

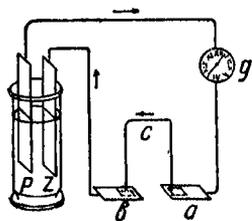


Рис. 87.

с P и Z ; c — соединительная платиновая проволока, концы которой можно класть либо на пластинки a и b , либо на положенные на них смоченные в растворах бумажки; поскольку это зависело от прибора, можно было таким образом по желанию пропускать ток либо без всякого разложения, либо с одним или с двумя разложениями. Чтобы менять аноды и катоды у мест разложения, я иногда пользовался прибором вида, изображенного на рис. 80 (899). Здесь действует только одна платиновая пластинка c ; оба кусочка бумаги, на которых должно происходить разложение, положены на нее, а проволоки от P и Z лежат либо на этих кусочках бумаги, либо на пластинке c , смотря по тому, требовался ли ток с разложением или без разложения растворов.

976. Если в одном из мест разложения поместить раствор иодида калия на бумаге, а в другом — раствор сульфата натрия так, что ток должен проходить через оба одновременно, раствор иодида калия медленно разлагается, выделяя иод у *анода* и щелочь у *катода*, а раствор сульфата натрия не обнаруживает никаких следов разложения, и ни кислота, ни щелочь из него не выделяются. Если проволоки располагались так, что действию тока подвергался один иодид калия (900), последний

быстро и сильно разлагался; а при таком расположении, при котором действию подвергался один сульфат натра, он все же отказывался отдавать свои составные элементы. Наконец, прибор был помещен под влажным стеклянным колоколом и оставлен на двенадцать часов, причем в течение всего времени ток проходил через раствор сульфата натра; последний удерживался на месте только двумя слоями промокательной лакмусовой и куркумовой бумаги. К концу этого времени по разложению иодида калия во втором испытательном пункте было установлено, что ток проходил и что он проходил в течение всех двенадцати часов, и, тем не менее, никаких следов кислоты или щелочи из сульфата натра не появилось.

977. Я полагаю, что на основании этих опытов можно заключить, что раствор сульфата натра в состоянии пропускать такой ток электричества, который не способен разложить присутствующую нейтральную соль, что, подобно воде, эта соль, находясь в растворе, требует для своего разложения определенного электролитического напряжения, и что для данного вещества это напряжение значительно выше, чем для иодида калия в таком же растворенном состоянии.

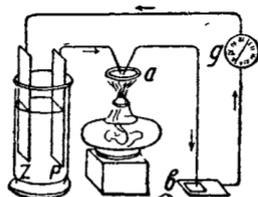


Рис. 88.

978. Затем я производил опыты с веществами, которые делал разложимыми посредством расплавления, и прежде всего с хлоридом свинца. Ток возбуждался разбавленной серной кислотой, без азотной кислоты, между цинковой и платиновой пластинами (рис. 88), и затем пропускался через небольшое количество хлорида свинца, расплавленного на стекле *a*, через смоченную раствором иодида калия бумажку *y* и через гальванометр *g*. Металлические концы в *a* и *b* были из платины. При таком расположении разложение у *b* и отклонение в *g* указывали, что ток проходит, но никаких признаков разложения в *a* не получалось, даже после того, как в *b* было произведено *металлическое* соединение. Опыт был повторен несколько раз, и я прихожу к заключению, что в этом случае напряжение тока было недостаточно

для того, чтобы вызвать разложение хлорида свинца; и далее, что расплавленный хлорид свинца, подобно воде (974), может проводить электрический ток, обладающий напряжением ниже того, которое требуется, чтобы произвести его разложение.

979. Затем вместо хлорида свинца, в *a* (см. рис. 88) был помещен *хлорид серебра*. В *b* разложение раствора иодида калия происходило с большой легкостью, а когда в этой точке был замкнут металлический контакт, то последовало весьма значительное отклонение гальванометра *g*. Повидимому, у анода расплавленного хлорида серебра в *a*, кроме того, растворялась платина, и имелись все признаки того, что там произошло разложение.

980. Дальнейшее доказательство разложения было получено следующим образом. Платиновые проволоки в расплавленном хлориде серебра в точке *a* были сильно сближены (в *b* в это время был устроен металлический контакт) и оставлены в таком положении; отклонение гальванометра указывало на прохождение слабого, но постоянного тока. Однако по истечении одной — двух минут стрелка внезапно сильно отклонялась и отмечала такой сильный ток, как будто бы в *a* произошло металлическое соединение. Я нашел, что так в действительности и было, так как восстановившееся под действием тока серебро кристаллизовалось в виде длинных тонких иголок, которые в конце концов и произвели металлическое соединение; и тем самым, что они пропускали через себя более сильный ток, чем расплавленный хлорид серебра, они доказывали, что произошло разложение этого хлорида. Отсюда вытекает, что ток, возбуждаемый разбавленной серной кислотой между цинком и платиной, обладает большим напряжением, чем то, которое требуется для электролиза расплавленного хлорида серебра, хотя этого напряжения и недостаточно для разложения при тех же условиях хлорида свинца.

981. Помещенная в *a* вместо расплавленных хлоридов капля воды показывала, как и в предыдущем случае (970), что вода может проводить ток, не способный разложить ее, так как по

истечении некоторого времени в *b* наступало разложение иодида. Но проводимость воды была значительно ниже проводимости расплавленного хлорида свинца (978).

982. Помещенная в *a* расплавленная *селитра* проводила ток значительно лучше, чем вода; я не мог с уверенностью решить, претерпевала ли она электролиз, но склонен думать, что нет, так как около платины у *катода* не наблюдалось обесцвечивания. Если в возбуждающем сосуде была серно-азотная кислота, то как селитра, так и хлорид свинца претерпевали разложение, подобно воде (906).

983. Полученные таким образом результаты, т. е. существование проводимости без разложения и необходимость определенного электролитического напряжения для разделения *ионов* различных электролитов, непосредственно связаны с опытами и выводами, приведенными в разделе 10 четвертой серии настоящих исследований (418, 423, 444, 449). Однако для того, чтобы подробно и полностью уяснить эту связь, требуются более точные сведения о природе напряжения как в отношении первопричины электрического тока, так и в отношении того, каким образом напряжение его может быть уменьшено или понижено путем введения более длинных или более коротких отрезков плохих проводников, все равно — подверженных или не подверженных разложению.

984. Произведенные мною до сих пор опыты показывают, повидимому, что при опытах с водой, когда напряжение электрического тока уменьшено ниже требуемого для разложения предела, степень проводимости бывает одна и та же, независимо от того, присутствует или отсутствует серная кислота или какое-нибудь другое из многочисленных веществ, способных действовать на способность воды к электролитическому переносу. Другими словами, необходимое для воды электролитическое напряжение одинаково, независимо от того, какова эта вода: чиста она или же проводимость ее повышена добавлением указанных веществ. Был устроен изображенный на рис. 84 прибор; в сосуде *A* имелась разбавленная серная кислота, а в со-

суде *B* — чистая дистиллированная вода. Судя по разложению в *e*, можно было думать, что для тока столь малого напряжения, которое не вызывает разложения, вода является *лучшим* проводником, чем разбавленная серная кислота. Однако это кажущееся превосходство воды я склонен приписать изменениям в том особом состоянии платиновых электродов, о которых упоминается дальше в этой серии (1040) и которое, насколько я могу судить, приобретает им в разбавленной серной кислоте в более высокой степени, чем в чистой воде. Поэтому способность кислот, щелочей солей и других растворенных веществ повышать проводимость, повидимому, сохраняет свою силу только в тех случаях, когда подвергаемый действию тока электролит претерпевает разложение, и теряет всякое значение, когда напряжение передаваемого тока слишком низко для того, чтобы вызвать химические изменения. Возможно, что обычная проводимость электролита в твердом состоянии (419) не отличается от проводимости его в жидком состоянии для таких токов, напряжение которых ниже требуемого электролитического напряжения.

985. Если пропускать токи последовательно через три или четыре сосуда, в которых между платиновыми поверхностями помещена вода, и если эти токи производятся менее чем восьмью или девятью гальваническими элементами, то напряжение токов удастся ослабить до такой величины, при которой вода оказывается в состоянии проводить их, не претерпевая разложения. Причины, которыми это явление обусловлено, будут описаны ниже (1009, 1018); но явление это может оказаться полезным для получения токов стандартного напряжения; оно, вероятно, применимо к батареям с любым числом пар пластин.

986. Имеются все основания ожидать, что все электролиты окажутся подчиненными закону, по которому для их разложения требуется электрический ток определенного напряжения, но что они будут отличаться друг от друга по степени необходимого напряжения; поэтому в дальнейшем желательно расположить их в виде таблицы, в порядке их электролитических

напряжений. Однако, прежде чем можно будет составить такую таблицу, исследования по этому вопросу должны быть значительно расширены и охватить значительно большее количество веществ, чем их упомянуто здесь. В особенности при таких опытах следует указывать природу электродов, или же, если это возможно, подбирать такие электроды, которые, подобно тому, как ведут себя в известных случаях платина или графит, не будут способствовать разделению выделяющихся ионов (913).

987. Из тех двух путей, которыми тела могут передавать электрические силы, — одного, который столь характерно проявляется в металлах и обычно называется проводимостью, и другого, который сопровождается разложением, — первый является, повидимому, общим для всех тел, хотя и встречается в почти бесконечном разнообразии степеней; второй в настоящее время является отличительным признаком электролитов. Однако вполне возможно, что в дальнейшем он будет распространен и на металлы, так как их способность проводить ток без разложения может быть не без основания приписан тому, что они для своего разложения требуют очень высокого электролитического напряжения.

987'. Если мы установим принцип, что для разложения необходимо определенное электролитическое напряжение, это окажется весьма важным для различнейших соображений, касающихся вероятного действия слабых токов, например тех, которые производятся природным термоэлектричеством или природными гальваническими парами в земле. В самом деле, чтобы произвести разложение или соединение, ток должен не только существовать, но и обладать определенным напряжением; в противном случае он не может преодолеть противодействующие ему покоящиеся силы химического сродства; тогда ток будет проходить, не производя постоянных химических действий. С другой стороны, теперь становится ясным, что можно ослабить противодействие, сближая тела, сродства которых не вполне хватает, чтобы заставить их действовать друг на друга непосредственно (913). Ослабление может быть настолько велико, что

уже весьма слабый ток окажется в состоянии в достаточной мере усилить совокупность действий и вызвать химические изменения.

988. В заключение настоящего раздела о *необходимом для электролиза напряжении* я непременно должен указать следующий замечательный вывод, касающийся напряжения вообще. Казалось бы, что когда производится гальванический ток определенного напряжения, обусловленного величиной сил химического сродства, которым этот ток возбуждается (916), то он может разложить данный электролит независимо от количества прошедшего электричества, причем вопрос о том, разлагается электролит или нет, зависит от *напряжения*. Если бы это заключение подтвердилось, то можно бы создать условия, при которых *одно и то же количество* электричества будет проходить в течение *одного и того же промежутка времени* через *одну и ту же площадь* в *одно и то же разлагаемое вещество*, находящееся в *одном и том же состоянии* и все же, в зависимости от различного напряжения, *в одном случае оно будет производить разложение, а в другом — не будет*. В самом деле, возьмем источник с слишком низким для разложения напряжением и определим количество прошедшего за данный промежуток времени электричества; потом можно взять другой источник, обладающий достаточным напряжением; включая плохие проводники, можно уменьшить количество электричества от него до размеров первого тока; тогда будут выполнены все условия, которые требуются для получения описанного результата.

ГЛАВА III

О составных гальванических цепях, или гальванической батарее

989. Переходим от рассмотрения простых цепей (875 и т. д.) к их соединению в гальваническую батарею; совершенно очевидно, что если устроить так, чтобы две системы сил химического сродства не противодействовали друг другу, как это изображено на рис. 73, 76 (880, 891), а действовали согласно, то каждая из них вместо того, чтобы мешать другой, будет, наоборот, помогать

ей. Такой простой случай мы имеем, когда две гальванические пары металлов расположены таким образом, что образуют одну цепь. При таком устройстве активность всей системы, как известно, возрастает, и если соответствующим образом соединить друг с другом десять, сто или любое большее число таких звеньев, то мощность всей системы в той же мере возрастает, и мы получаем прекрасный прибор для научных изысканий — гальваническую батарею.

990. Но из изложенных выше принципов определенности действия очевидно, что при увеличении количества металла, окисленного и растворенного на каждом новом участке химического действия, количество электричества в цепи увеличено быть не может. Одна пара пластин из цинка и платины в результате окисления 32.5 грана цинка (868) отдает в виде тока столько же электричества, сколько было бы приведено в движение таким же изменением в тысячу раз большего количества, т. е. около пяти фунтов металла, окисленного на поверхности тысячи пар цинковых пластин, расположенных в том порядке, как обычно в батареях. В самом деле, очевидно, что электричество, которое проходит через кислоту в первом элементе от цинка к платине, и которое находилось в некоторой связи, а может быть даже было обусловлено разложением определенного количества воды в этом элементе, может пройти от цинка к платине через кислоту во втором элементе только при том условии, что там разложится такое же количество воды и окислится такое же количество цинка (924, 949). Те же самые результаты повторяются в любом другом элементе; в каждом из них должен быть разложен электрохимический эквивалент воды; только тогда ток сможет пройти через элемент, ибо количество прошедшего электричества и количество разложенного электролита должны быть эквивалентны друг другу. Таким образом действие в каждом элементе заключается не в том, чтобы увеличивать количество электричества, приводимого в движение в каждом элементе, а в том, чтобы способствовать продвижению вперед того количества, прохождение которого соответствует окислению цинка в нем самом. Таким

путем усиливается то особое свойство тока, которое мы намеренно выражаем термином *напряжение*, количество же не увеличивается свыше того, которое пропорционально количеству цинка, окисляющегося в каждом отдельном элементе ряда.

991. Чтобы это доказать, я расположил в форме батареи десять пар амальгамированных цинковых и платиновых пластин в разбавленной серной кислоте. При замыкании цепи все пары работали и выделяли у платиновых поверхностей газ. Этот газ был собран, и оказалось, что количество его у всех пластин было одинаково; при этом количество выделяющегося у каждой из платиновых пластин водорода находилось в таком же отношении к количеству растворяющегося у каждой из цинковых пластин металла, как и в опыте с одной парой пластин (864 и т. д.). Поэтому было несомненно, что через цепь из десяти пар пластин прошло не больше, а ровно столько же электричества, сколько проходило или сколько было приведено в движение при одной паре, а между тем при этом было израсходовано в десять раз больше цинка.

992. Истина эта уже давно была доказана другим путем, а именно действием развиваемого тока на магнитную стрелку. Отклоняющая сила каждой пары пластин равна отклоняющей силе всей батареи; только провода должны быть достаточной толщины, чтобы пропустить свободно ток от одной пары. Но *причина* этого равенства действия в то время оставалась неясной, так как оставалась неизвестной определенность действия и возбуждения электричества (783, 869).

993. Превосходство батареи над отдельной парой пластин в отношении разлагающей способности обнаруживается двумя путями. Когда химическое средство, удерживающее электролиты в соединении, достаточно сильно для того, чтобы противостоять действию тока от одной пары пластин, эти электролиты отдают свои элементы под действием тока, возбуждаемого большим количеством таких пар, а вещество, которое разлагается под действием одной или нескольких пар металлов и т. п., распадается на свои *ионы* с большей легкостью тогда, когда электри-

чество, которое на него действует, приводится в движение многими элементами.

994. Я полагаю, что оба эти эффекта легко объяснить. В чем бы ни заключалось *напряжение* (а это, конечно, зависит от природы электричества, все равно, представляет ли оно собой жидкость или жидкости, или же колебания некоего эфира, или какой-нибудь другой вид или состояние материи), нетрудно, думается, понять, что *степень* напряжения того тока, который возбуждается первым гальваническим элементом, должна повыситься, когда он подвергается действию второго гальванического элемента, действующего согласно с первым и обладающего одинаковыми свойствами. Поскольку же разложения представляют собой действия, противоположные тем, которые создают ток (917), но в точности такого же рода, постольку естественно заключить, что то средство, которое может противостоять силе всего одного разлагающего действия, может и не быть в состоянии противиться энергии их разлагающих действий, если они направлены согласно, как в гальванической батарее.

995. То обстоятельство, что вещество, которое разлагается током слабого напряжения, с большей легкостью поддается действию более мощного тока, отнюдь не противоречит закону определенности электрохимического действия, а вполне с ним согласуется. Совокупность фактов, а равно и теория, которую я имел смелость выдвинуть, указывают на то, что процесс разложения оказывает определенное противодействие прохождению электрического тока, а то, что это препятствие преодолевается с большей или меньшей легкостью в зависимости от большего или меньшего напряжения разлагающего тока, вполне согласуется со всеми нашими представлениями об электрическом агенте.

996. Уже в другом месте (947) я разделял химическое действие цинка и разбавленной серной кислоты на две части: первую, когда действие оказывают прямо на цинк и оно сопровождается одновременным выделением на поверхности последнего водорода, и вторую, при которой на протяжении всего имеюще-

гося электролита (в данном случае воды) создается группировка химических сил и обнаруживается стремление отнять у электролита кислород, что, однако, возможно только в том случае, если появляющийся в результате этого действия электрический ток может свободно проходить, и если водород будет выделяться где-либо в другом месте, а не у цинка. Электрический ток соответствует, безусловно, второй части этих действий. Но когда электрический ток имеет возможность проходить, он, благоприятствуя электролитическому действию, ослабляет действие первого рода и усиливает действие второго рода.

997. Таким образом ясно, что при пользовании обыкновенным цинком в гальваническом приборе происходит огромная потеря той силы, которая должна проявиться в виде электрического тока; этот вывод становится особенно убедительным, если учесть, что при соответствующем окислении три с половиной унции цинка могут привести в движение количество электричества, достаточное для разложения приблизительно одной унции воды и выделения примерно 2400 кубических дюймов водорода. Эта потеря силы имеет место не только в течение того промежутка времени, когда электроды батареи находятся в соединении (тогда она пропорциональна количеству водорода, выделяющегося у поверхности каждой из цинковых пластин), но охватывает собой и все те химические действия, которые продолжаются и тогда, когда концы элемента не соединены друг с другом.

998. Как показал г. де ля Рив,¹ эта потеря значительно выше при употреблении продажного цинка, чем при опытах с чистым металлом. Причина этого лежит в том, что когда разбавленная серная кислота действует на продажный цинк, то содержащиеся в нем частицы меди, свинца, кадмия или других металлов выделяются на его поверхности; соприкасаясь с цинком, они образуют небольшие, но весьма активные гальванические цепи, которые вызывают сильное разрушение цинка и выде-

¹ Quarterly Journal of Science, 1831, стр. 388; Bibliothèque Universelle, 1830, стр. 391.

ление водорода; на первый взгляд, последнее происходит на поверхности цинка, в действительности же — на поверхности этих случайных металлов. В той же мере, в какой они содействуют замыканию или обратному проведению электричества к цинку, они уменьшают его способность производить такой электрический ток, который должен идти через кислоту на более значительное расстояние и замкнуться только через медную или платиновую пластину, связанную с цинковой и вместе с ней образующую гальванический прибор.

999. Все эти недостатки устраняются при употреблении амальгамы цинка по способу, рекомендованному г. Кемпом (Кемр),¹ или при пользовании амальгамированными цинковыми пластинами г. Стёрджена (863), который сам и предлагал их, и возражал против пользования ими в гальванических батареях; он говорил: «Если бы не хрупкость и другие неудобства, причиняемые введением ртути в цинк, то амальгамирование цинковых поверхностей в гальванических батареях было бы значительным улучшением, так как металл сохранялся бы значительно дольше; он в течение долгого времени, даже несколько часов подряд, оставался бы блестящим — существенное соображение при пользовании этим прибором».²

1000. Обработанный таким образом цинк, хотя бы даже не вполне чистый, не вызывает заметного разложения воды, содержащейся в разбавленной серной кислоте, но сродство к кислороду, которым он обладает, таково, что как только в кислоте с ним соприкасается металл, обладающий, подобно меди или платине, слабым сродством к кислороду или совсем им не обладающий, начинается действие и производится мощный и обильный электрический ток. Возможно, что действие ртути, в силу ее жидкого состояния, заключается в том, что она приводит

¹ Jameson's Edinburgh Journal, октябрь 1828 г.

² Recent Experimental Researches, стр. 42 и т. д. Г-н Стёрджен, конечно, не знает об определенности образования электричества химическим действием; он приводит этот опыт в качестве самого сильного аргумента против химической теории гальванизма.

поверхность в однородное состояние и мешает образованию тех различий в свойствах одного участка поверхности по сравнению с другим, которые необходимы для образования упомянутых небольших гальванических цепей (998). Если в первый момент и существует какое-либо различие в относительных количествах цинка и ртути на одном участке *поверхности* по сравнению с другим, то тот участок, где имеется меньше всего ртути, первый поддается воздействию и, вследствие растворения цинка, вскоре приходит в такое же состояние, как и остальные участки поверхности, и вся поверхность пластины становится однородной. Поэтому ни одно место ее не может служить для разряда другого, а потому *вся* химическая сила, действующая на воду у поверхности пластины, находится в одинаковых условиях (949); тогда эта сила стремится создать электрический ток по направлению через жидкость к другой металлической пластине, способной служить для разряда тока (950), но нет налицо неоднородностей, вследствие которых один какой-либо участок, обладающий более слабым сродством к кислороду, мог бы служить для разряда другого. Это состояние металла приводит к двум замечательным и важным последствиям. Первое заключается в том, что за счет окисления определенного количества цинка получается *полный эквивалент* электричества, а второе в том, что батарея с обработанным таким образом цинком, залитая разбавленной серной кислотой, действует только тогда, когда ее электроды соединены друг с другом; она перестает действовать и подвергаться действию кислоты в момент замыкания.

1001. У меня была небольшая батарея из десяти пар изготовленных таким образом пластин, и я убежден, что устройства такого рода окажутся весьма ценными, особенно при разработке и объяснении научных основ этого прибора. Металлы, которыми я пользовался, были амальгамированный цинк и платина, соединенные друг с другом припаянными к ним платиновыми проволоками, причем весь прибор имеет форму, известную под названием *cougonne des tasses*. Жидкостью для батареи служила разбавленная серная кислота с удельным весом 1,25. Дей-

ствие на металлы происходило только тогда, когда электроды находились в соединении, и в этом случае действие на цинк было пропорционально только разложению в опытном сосуде, так как, когда ток задерживался в нем, то он задерживался также и в батарее, и потери в силе металла не происходило.

1002. Благодаря этому кислота в элементах сохраняла способность к действию гораздо дольше, чем обычно. Фактически эта способность не убывала заметно со временем, ибо металл предохранялся от действия на него кислоты до нужного момента, а потому и кислота тоже почти целиком сохраняла свою первоначальную силу. Отсюда постоянство действия, значительно превосходящее то, которое можно получить при пользовании обыкновенным цинком.

1003. Другим замечательным следствием было восстановление во время перерыва между двумя опытами первоначального наиболее активного состояния. В момент соединения амальгамированной цинковой и платиновой пластин, погруженных в разбавленную серную кислоту, проходящий ток очень силен, но тут же сила его убывает весьма значительно и в некоторых случаях падает фактически до одной восьмой или одной десятой первоначального значения (1036). Это обусловлено тем, что соприкасающаяся с цинком кислота нейтрализуется за счет образующегося окисла, чем предотвращается непрерывное быстрое окисление металла. Когда пластинка была из обыкновенного цинка, в результате выделения газа у его поверхности вся жидкость перемешивается, и таким образом к металлу подводится свежая кислота, которая может удалить образовавшийся здесь окисел. Когда батарея работает с амальгамированным цинком, при каждом прекращении тока раствор соли у цинка постепенно диффундирует в остальную жидкость, и по возобновлении контакта у электродов цинковые пластины оказываются в условиях, весьма благоприятных для того, чтобы легко произвести сильный ток.

1004. На первый взгляд могло бы показаться, что амальгамированный цинк по силе окажется значительно слабее обык-

новенного, вследствие понижения его энергии; можно было бы предположить, что такое положение вызывается ртутью на всей его поверхности; однако это не так. Когда электрические токи от двух пар платиновых и цинковых пластин были направлены навстречу друг другу — стой, однако, разницей, что одна из цинковых пластин была амальгамирована, а другая нет, — то ток от амальгамированного цинка был очень силен, хотя газа около него и не выделялось, тогда как у поверхности неамальгамированного металла его выделялось много. Далее, как показал Дэви,¹ если амальгамированный и неамальгамированный цинк привести в соприкосновение и погрузить в разбавленную серную кислоту или другую возбуждающую жидкость, то первый оказывается по отношению к последнему положительным, т. е. ток от амальгамированного цинка через жидкость проходит к необработанному цинку. Дэви объясняет это предположением, что «электрические качества обусловлены не каким-либо присутствием каждому металлу природным, ему принадлежащим свойством, а особым его состоянием — той его структурой, которая делает его приспособленным к химическому изменению».

1005. Однако причины, обуславливающие превосходство амальгамированного цинка, заключаются не в этом; последнее является простым следствием состояния жидкости, находящейся с ним в соприкосновении; а именно, если необработанный цинк действует на жидкость один и сам по себе, тогда как с амальгамированным цинком дело обстоит иначе, то это потому, что первый (с помощью образуемого им окисла) быстро нейтрализует соприкасающуюся с его поверхностью кислоту, так что процесс окисления задерживается; наоборот, всякий окисел, образующийся на поверхности амальгамированного цинка мгновенно удаляется присутствующей свободной кислотой, и металлическая поверхность всегда чиста и готова с полной энергией действовать на воду. Отсюда превосходство амальгамированного цинка (1037).

¹ Philosophical Transactions, 1826, стр. 405.

1006. В настоящее время постепенное усовершенствование гальванической батареи и ее применений развивается, очевидно, в направлении, обратном тому, в котором оно шло несколько лет тому назад, ибо вместо увеличения числа пластин, крепости кислоты и размеров прибора в целом, изменения направлены скорее в сторону первоначальной простоты, однако с значительно более глубоким знанием и применением тех принципов, которые управляют силой и действием батареи. Разложения, для которых раньше требовалось пятьсот или тысяча пластин, можно теперь получать с помощью десяти пар (417). Способность разлагать расплавленные хлориды, иодиды и другие соединения, в соответствии с установленным ранее законом (380 и т. д.), и возможность улавливания известных продуктов разложения, без каких-либо потерь, с помощью приборов описанного выше вида (789, 814 и т. д.), все это создает вероятность, что гальваническая батарея станет полезным или даже выгодным промышленным прибором; в самом деле, теория ясно доказывает, что один эквивалент редкого вещества можно получить при затрате трех или четырех эквивалентов весьма распространенного вещества, а именно цинка; и пока что практика, повидимому, оправдывает эти ожидания. С этой точки зрения я считаю весьма вероятным, что вместо медных пластин можно будет с успехом пользоваться пластинами из платины или серебра, и тогда будут устранены неудобства, возникающие иногда из-за растворения меди и осаждения ее на цинке, что так вредно отзывалось на электродвижущей силе цинка (1047).

ГЛАВА IV

О сопротивлении электролита электролитическому действию и о введении промежуточных пластин

1007. На ряде возможно простых опытов (891, 910) я показал то сопротивление, которое встречает в месте разложения сила, действующая в месте возбуждения. Я предполагаю рассмотреть действия этого сопротивления с более общей точки зрения, но скорее в отношении того взаимодействия, в котором

они практически оказываются с действием гальванической батареи и с происходящими в ней явлениями, а не с намерением дать здесь строгое и научное объяснение природы этого сопротивления. Общей и главной причиной его является сопротивление подлежащих преодолению сил химического сродства; однако наряду с этими силами имеется множество других обстоятельств,



Рис. 89.

которые присоединяют сюда свое влияние (1034, 1040 и т. д.); каждое из них потребовало бы подробного изучения, и только после этого можно было бы дать правильное объяснение явления в целом.

1008. Так как целесообразно будет дать описание опытов в виде, несколько отличающемся от того, в котором они были произведены, то сначала надо изложить и тот и другой. Пластины из платины, меди, цинка и других металлов, примерно в три четверти дюйма шириной и в три дюйма длиной, были соединены попарно при помощи припаянных к ним платиновых проволочек (рис. 89); при этом пластины одной и той же пары были либо одинаковы, либо различны, смотря по надобности. Эти пластины были помещены в стеклянные сосуды (рис. 90) таким образом, чтобы образовать вольтову *cougonne des tasses*. Кислота или вообще жидкость в сосуде никогда не покрывала пластину, и иногда для предотвращения контакта между пластинами вставлялись тонкие стеклянные палочки. Заканчивали ряд одинаковые пластины; они устанавливали соединение с гальванометром, с прибором для разложения (899, 968 и т. д.) или с тем и другим. Теперь, если всмотреться в рис. 91 и рис. 92 и сравнить их друг с другом, то можно последний рассматривать, как первый в его простейшем виде, так как стаканчики I, II и III первого рисунка, вместе с их содержимым, во втором представлены элементами I, II и III, а металлические пластины *Z* и *P* первого изображены подобными же пластинами *Z* и *P* во втором. Единственное различие между приборами, изображенными на рис. 91 и 92, фактически заключается в том, что в первом обеспечивается вдвое большая



Рис. 90.

поверхность соприкосновения между металлом и кислотой, чем во втором.

1009. Когда крайние пластины только что описанной установки (см. рис. 91) металлически соединены друг с другом через гальванометр *g*, то все как целое представляет собой батарею из двух пар цинковых и платиновых пластин, дающих ток, но прежде чем этот ток пройдет через элемент III, и, следовательно, прежде чем он может пройти через всю цепь, он должен без помощи какого-либо прямого химического средства разложить воду. Ради удобства можно считать, что это разложение воды, которое препятствует прохождению тока, имеет место или у поверхности двух платиновых пластин, образующих электроды в элементе III, или у обеих поверхностей той платиновой пластины, которая на рис. 92 отделяет друг от друга элементы II и III. Очевидно, что без этой пластины батарея состояла бы из двух пар пластин и двух элементов, расположенных наиболее благоприятным для создания тока образом. Поэтому платиновую пластину, которая, будучи введена, например, в *x*, выделяет на одной поверхности водород, а на другой — кислород (т. е. при прохождении разлагающего тока), можно считать причиной препятствия, возникающего в связи с разложением воды под электролитическим действием тока; я обычно называл ее промежуточной пластиной.

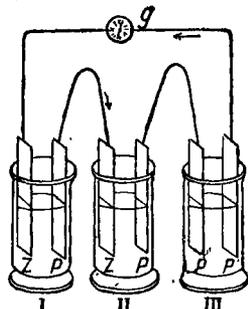


Рис. 91.

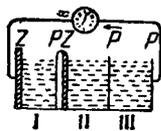


Рис. 92.

1010. Для упрощения условий сначала во всех элементах бралась разбавленная серная кислота, а в качестве промежуточных пластин — платина, ибо тогда напряжение стремящегося возникнуть тока, обусловленное способностью цинка разлагать воду, является постоянным, а противодействующая сила разложения так же постоянна, так как при разделении элемента воды у промежуточных пластин не

принимают участия ни химическое сродство, ни какое-либо вторичное действие у электродов (744), зависящее от природы самой пластины или окружающей ее жидкости.

1011. Когда я пользовался всего одной гальванической парой пластин, цинковой и платиновой, ток электричества практически полностью прекращался при внесении одной платиновой пластины (рис. 93), т. е. от тока требовалось, чтобы он до своего прохождения разложил воду и выделил оба ее элемента. Этот результат находится в полном согласии с изложенными выше взглядами (910, 917, 973). В самом деле, поскольку результат целиком обусловлен взаимной противоположностью сил в местах электрического возбуждения и в местах электроразложения, и поскольку в обоих местах веществом, подлежащим разложению, прежде чем ток сможет пройти, является вода, постольку нельзя ожидать, чтобы цинк обладал таким сильным притяжением к кислороду, чтобы не только быть в состоянии отнять его от связанного с ним водорода, но чтобы оставить после этого такой излишек силы, который способен при прохождении тока через второе место разложения повторно произвести разделение элементов воды. Для такого эффекта потребовалось бы, чтобы сила притяжения между цинком и кислородом при таких условиях была, *по крайней мере*, в два раза больше, чем сила притяжения между кислородом и водородом.

1012. В случаях двух пар возбуждающих цинковых и платиновых пластин, внесение одной промежуточной платиновой пластины (рис. 94) также практически прекращало ток. Сначала появлялось очень слабое действие тока, но оно почти сейчас же исчезало. К этому, а также ко многим другим подобным действиям я вернусь позднее (1017).

1013. Три пары цинковых и платиновых пластин (рис. 95) оказались в состоянии производить ток, который мог пройти через промежуточную платиновую пластину и произвести электролиз воды в элементе IV. О наличии тока свидетельствовали как непрерывное отклонение гальванометра, так и образование у электродов элемента IV пузырьков кислорода и водорода.

Значит, соединенный излишек силы трех цинковых пластин, производящих разложение воды, превосходит, вместе взятый, ту силу, с которой кислород и водород соединены в воде, и оказывается достаточным для того, чтобы вызвать разделение этих элементов.

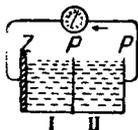


Рис. 93.

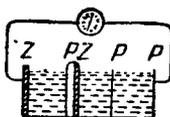


Рис. 94.

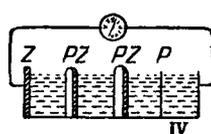


Рис. 95.

1014. Затем трем парам цинковых и платиновых пластин были противопоставлены две промежуточные пластины (рис. 96). В этом случае ток прекращался.

1015. Четыре пары цинковых и платиновых пластин также нейтрализовались двумя промежуточными платиновыми пластинами (рис. 97).

1016. Пять пар цинковых и платиновых пластин с двумя промежуточными платиновыми пластинами (рис. 98) давали сла-

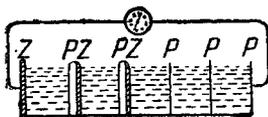


Рис. 96.

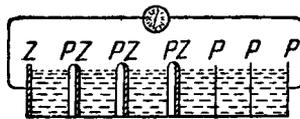


Рис. 97.

бый ток: именно, постоянное отклонение гальванометра и разложение в элементах VI и VII. Однако ток был очень слаб — гораздо слабее, чем при удалении всех промежуточных пластин, с сохранением одних только крайних; в самом деле, при расположении их на расстоянии шести дюймов друг от друга в одном элементе они давали сильный ток. Следовательно, пять возбуждающих пар, при наличии двух промежуточных препятствую-

щих пластин, не дают тока сколько-нибудь сравнимого с током одной пары без таких препятствий.

1017. Я уже говорил, что в том случае, когда система состояла из одной промежуточной платиновой и двух пар цинковых и платиновых пластин, проходил *очень слабый ток* (1012). Такой же слабый ток проходил всегда; даже при одной возбуждающей паре и четырех промежуточных платиновых пластинах (рис. 99) проходил ток, который можно было обнаружить у x как по химическому действию на раствор иодида калия, так и с помощью гальванометра. Я полагаю, что этот ток обусловлен электричеством, напряжение которого опустилось ниже предела, требуемого для разложения воды (970, 984); в самом деле,

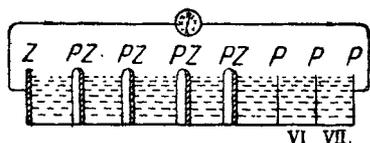


Рис. 98.

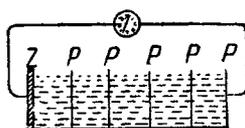


Рис. 99.

благодаря свойству, которое она разделяет с металлами и древесным углем, вода может проводить электричество такого низкого напряжения, хотя электричество более высокого напряжения она не может проводить, не претерпевая разложения, вследствие которого возникает новая противодействующая сила. Возможно, что при электрическом токе такого или еще меньшего напряжения, увеличение числа промежуточных пластин не повлекло бы за собой возрастания затруднений для прохождения тока.

1018. Чтобы получить представление о возрастании противодействующей силы с каждой добавленной пластиной, было взято шесть гальванических пар и четыре промежуточных платиновых пластины; они были расположены, как показано на рис. 100; в этом случае проходил слабый ток (985, 1017). При удалении одной из платиновых пластин, так что их оставалось всего три,

проходил несколько более сильный ток. При двух промежуточных пластинах проходил еще более сильный ток, а при одной промежуточной пластине получался очень значительный ток. Однако, как и можно было ожидать, действие последовательных пластин, взятое в порядке их включения, было весьма различным, ибо первая задерживала ток сильнее чем вторая, а вторая — сильнее чем третья.

1019. В этих опытах я пользовался как амальгмированным, так и неамальгмированным цинком, но в общем результаты были одни и те же.

1020. Только что описанные явления задержки тока совершенно менялись вместе с *природой жидкости*, налитой между

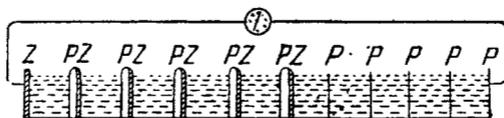


Рис. 100.

пластинами как в *возбуждающих* (мы будем их так называть), так и в *задерживающих* элементах. Так, я оставлял возбуждающую силу одинаковой и для этой цели постоянно пользовался чистой разбавленной серной кислотой, а к жидкости в задерживающих элементах добавлял немного азотной кислоты; тогда расхождение тока очень сильно облегчалось. Так, например, в опыте с одной парой возбуждающих пластин и одной промежуточной пластиной (1011) (см. рис. 92), когда в содержимое элемента II было добавлено несколько капель азотной кислоты, ток электричества проходил со значительной силой (хотя по другим причинам (1036, 1040) он вскоре падал), и такое же усиление азотная кислота производила при большем числе промежуточных пластин.

1021. Повидимому, это обстоятельство является следствием того, что разложение воды встречает меньше затруднений в слу-

чае, когда ее водород не выделяется до конца, как в предыдущих опытах, а переносится к кислороду азотной кислоты, образуя у *катода* (752) вторичный продукт разложения. В самом деле, в соответствии с изложенными ранее химическими представлениями об электрическом токе и его действии (913), сила, с которой вода сопротивляется разложению, уже не равна силе взаимного притяжения кислорода и водорода воды; она частью уравновешивается и, следовательно, уменьшается притяжением водорода у *катода* к кислороду окружающей азотной кислоты; с этим кислородом водород в конце концов и соединяется вместо того, чтобы выделяться в свободном состоянии.

1022. Если ввести немного азотной кислоты в возбуждающие элементы, то опять-таки обстоятельства, благоприятствующие передаче тока, усиливались, так как благодаря такому добавлению повышалось *напряжение* тока (906). Поэтому, когда немного азотной кислоты добавлялось как в *возбуждающие*, так и в *задерживающие* элементы, то ток электричества проходил весьма свободно.

1023. Когда я пользовался разбавленной соляной кислотой, образование и прохождение тока шло с большей легкостью, чем в чистой разбавленной серной кислоте, но не так легко, как в разбавленной азотной. Поскольку соляная кислота, повидимому, разлагается лучше воды (765), и поскольку сродство цинка к хлору очень сильно, можно было ожидать, что она произведет ток более сильный, чем разбавленная серная кислота, и что она, претерпевая разложение при более низком напряжении (912), будет передавать ток более свободно.

1024. Говоря о действии таких промежуточных пластин, необходимо отметить, что оно, повидимому, совсем не зависит от размера электродов или их взаимного расстояния в кислоте, если не считать того, что когда ток в состоянии пройти, то изменение этих величин облегчает или же затрудняет его прохождение. И в самом деле, я повторял опыт с одной промежуточной пластиной и одной парой возбуждающих пластин (1011) — см. рис. 92, — при этом заменяя промежуточную пластину *P* с одной

стороны простой проволокой, с другой — очень большими пластинами (1008); я изменял также крайние возбуждающие пластины так, что они представляли собой в одних случаях простые проволоки, а в других — пластины больших размеров; результаты, тем не менее, получались те же, что и раньше.

1025. Для иллюстрации действия расстояния я поставил опыт, подобный описанному ранее опыту с двумя возбуждающими парами и одной промежуточной пластиной (1012), — см. рис. 94; при этом расстояние между пластинами в третьем элементе можно было увеличить до шести или восьми дюймов или уменьшить до толщины проложенного между ними листа пропускной бумаги. Тем не менее, в обоих случаях результат был одинаковый; и когда пластины были разделены одной бумагой, действие не было заметно сильнее, чем когда они находились друг от друга на значительном расстоянии; таким образом главное противодействие току в этом случае зависит не от количества промежуточного электролитического проводника, а от *отношения его элементов к напряжению тока* или к химической природе электродов и окружающих жидкостей.

1026. Когда жидкостью служила серная кислота, то *повышение ее крепости* в одном из элементов не вызывало изменения действий; оно не создавало в возбуждающем элементе более интенсивного тока (908) и не облегчало прохождения уже созданного тока через разлагающие элементы. Но при добавлении к очень слабой серной кислоте нескольких капель азотной кислоты можно было произвести и то и другое действие; и, как этого и можно было ожидать в подобном случае, когда возбуждающее и проводящее действия *непосредственно* зависят от самой кислоты, увеличение содержания последней [азотной кислоты] вызывало также увеличение ее силы.

1027. После этого я менял *материал промежуточной пластины*, чтобы установить связь его с явлениями как возбуждения, так и задержки тока, и для начала платину заменил амальгамированным цинком. Когда я взял для опыта одну гальваническую пару и одну промежуточную цинковую пластину (рис. 101),

ток, повидимому, получился такой же сильный, как и без промежуточной цинковой пластины. У P в элементе II и у поверхности второй цинковой пластины в элементе I выделялся водород, но ни у поверхности цинка в элементе II, ни у цинка в элементе I газ не появлялся.

1028. При включении двух промежуточных пластин амальгамированного цинка (рис. 102), вместо одной, все же возникал сильный ток, но уже наблюдалось противодействие. Когда я брал три промежуточные цинковые пластины (рис. 103), происходила дальнейшая задержка, хотя и проходил значительный ток электричества.

1029. Я считал задержку обусловленной тем, что амальгамированный цинк не действует на разбавленную кислоту в ре-

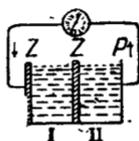


Рис. 101.

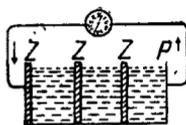


Рис. 102.

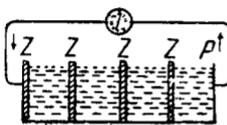


Рис. 103.

зультате слабого, хотя и общего, понижения химической силы, производимого ртутью на поверхности цинка; и я объяснял это бездействие необходимостью того, чтобы присущее каждой пластине стремление разлагать воду находило некоторую поддержку у электрического тока; поэтому я ожидал, что пластины из неамальгамированного металла, может быть, не будут нуждаться в такой поддержке и не будут представлять заметного препятствия прохождению тока. Это предположение полностью подтвердилось при опыте с двумя и тремя промежуточными неамальгамированными пластинами. Электрический ток проходил через них так же свободно, как если бы на его пути никаких подобных пластин не было. Они не представляли никакого препятствия, потому что они могли разлагать воду и без тока, последний же должен был только сообщать направление части тех сил, которые действовали бы независимо от того, проходит ток или нет.

1030. Затем были взяты медные промежуточные пластины. Сначала казалось, что они не создают препятствия; однако по истечении нескольких минут ток почти совершенно прекращался. Это действие, повидимому, обусловлено тем, что поверхности пластин принимают то особое состояние (1040), которое стремится произвести обратный ток; и действительно, когда я проверял одну или несколько пластин обратной стороной, что при избранной (*coignonne des tasses*) форме установки (см. рис. 91) легко осуществимо, то ток на несколько моментов с силой возобновлялся, а затем опять прекращался. Вследствие этого особого противодействующего эффекта, пластины из платины и меди, опущенные в разбавленную серную кислоту, как в гальваническом элементе, образовали, правда, такой элемент, но последний оказался способным действовать только в течение нескольких минут.

1031. Все эти задерживающие действия, обнаруживаемые при разложении у таких поверхностей, с которыми выделяющиеся вещества находятся в большем или меньшем химическом сродстве или к которым они вовсе не обнаруживают никакого притяжения, убедительно указывают во всех случаях на существование химических связей и на химическое происхождение тока, а также на то, что силы химического сродства в местах возбуждения и разложения находятся в равновесии. Таким образом эти действия присоединяются к ряду других доказательств в пользу тождественности этих двух сил, так как они указывают как бы на антагонизм между *химическими силами* в электродвижущей части и *химическими силами* в промежуточных частях; они показывают, что первые *создают* электрические действия, которым вторые *противодействуют*; они приводят эти два явления в непосредственную связь и доказывают, что каждое из них может определять другое, так что причина и следствие как бы меняются местами, показывая этим самым, что химическое и электрическое действие суть просто два разных проявления одного агента или силы (916 и т. д.).

1032. Совершенно ясно, что поскольку вода и другие электролиты при достаточно низком напряжении электричества

могут проводить его, не претерпевая разложения (986), то не вполне правильно будет утверждать, будто всякий раз как электричество проходит через электролит, оно производит определенное действие разложения. Однако количество электричества, которое, не вызывая разложения, может проходить через электролит в течение заданного промежутка времени, настолько мало, что не выдерживает сравнения с количеством, необходимым в случае весьма умеренного разложения, а в отношении электричества, интенсивность которого превосходит ту, которая требуется для электролиза, я до сих пор не встречал заметных отступлений от изложенного в предшествующих сериях настоящих исследований (783 и т. д.) закона *определенности электролитического действия*.

1033. Я не могу закончить данный раздел настоящего доклада, не указав на важные опыты г. Ог. де ля Рива о действиях промежуточных пластин.¹ Так как мне приходилось рассматривать эти пластины лишь постольку, поскольку они дают начало новым разложениям и только таким путем препятствуют прохождению электрического тока, то я был избавлен от необходимости учитывать описанные этим ученым своеобразные явления. В настоящий момент я тем более охотно уклоняюсь от этого, что одновременно я должен был бы войти в рассмотрение взглядов на этот предмет сэра Гемфри Дэви,² а также связанных с ними представлений Марианини³ и Риттера.⁴

ГЛАВА V

Общие замечания о гальванической батарее в действии

1034. Когда обыкновенная гальваническая батарея приводится в действие, то самое действие создает определенные эффекты, которые оказывают на батарею обратное действие и вызывают серьезное уменьшение ее силы. Это явление делает из бата-

¹ Annales de Chimie, XXVIII, стр. 190 и Mémoires de Genève.

² Philosophical Transactions, 1826, стр. 413.

³ Annales de Chimie, XXXIII, стр. 117, 119 и т. д.

⁴ Journal de Physique, LVII, стр. 349, 350.

реи крайне непостоянный прибор в смысле *количества* действия, которое она может производить. Частично эти явления уже известны и объяснены, однако в связи с тем, что значение их и некоторых других совпадающих результатов будет более очевидно, если сопоставить их с установленными и описанными выше опытами и законами, я счел полезным вкратце упомянуть о них в настоящем исследовании гальванического элемента.

1035. Когда батарея работает, то она вызывает образование в непосредственной близости с пластинами таких веществ, которые очень сильно ослабляют ее силу и даже стремятся создать обратный ток. Сэр Гемфри Дэви считает это достаточным для объяснения явлений во вторичных элементах Риттера, а также тех явлений, которые наблюдались г. Ог. де ля Ривом с промежуточными платиновыми пластинами.¹

1036. Я уже указывал, что этот результат (1003) может в некоторых случаях понизить силу тока до одной восьмой или одной десятой первоначального значения, и в моей практике были случаи, когда его вредное действие было очень велико. В одном

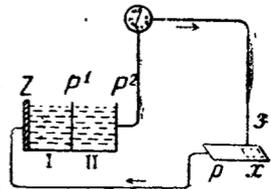


Рис. 104.

опыте, в котором были взяты одна гальваническая пара и одна промежуточная платиновая пластина, с разбавленной серной кислотой в элементах (рис. 104), соединительные провода были устроены так, что конец проволоки, помеченный цифрой 3, можно было по желанию положить либо в точку *x* на бумажку, смоченную раствором иодида калия, либо прямо на платиновую пластину. Если по истечении некоторого промежутка времени, в течение которого цепь не была замкнута, я клал проволоку 3 на бумажку, то получались указания на прохождение тока: происходило разложение, и гальванометр давал отклонение. Если я заставлял проволоку 3 коснуться *p*, то получался сравнительно сильный внезапный ток, действовавший на гальвано-

¹ Philosophical Transactions, 1826, стр. 413.

метр; но этот ток длился всего лишь момент; действие на гальванометр прекращалось, и когда я клал проволоку 3 на бумажку в точке x , не обнаруживалось никаких следов разложения. Если я приподнимал проволоку 3 и временно совершенно замыкал цепь, то прибор восстанавливал свою первоначальную силу, для чего, однако, требовалось от пяти до десяти минут, а затем, как и ранее, при замыкании контакта между 3 и p снова проходил кратковременный ток, и все явления, очевидно, тут же прекращались.

1037. В конце концов мне удалось привести это явление в связь с состоянием той жидкой пленки, которая соприкасается с цинковой пластиной в элементе I. Кислота в этой пленке мгновенно нейтрализуется образующимся окислом; окисление цинка не может, конечно, совершаться с такой же легкостью, как ранее, и так как химическое действие таким образом оказывается прерванным, то одновременно с этим ослабевают и гальваническое действие. Перерыв был необходим для того, чтобы жидкость могла продифундировать и на ее место могла прийти свежая кислота. Ввиду серьезного влияния этого обстоятельства при опытах с одной парой пластин из различных металлов (такими опытами я одно время был занят) и чрезвычайной осторожности, которая требуется для его избежания, я не могу удержаться от сильного подозрения, что оно играет роль чаще и в более широких размерах, чем это знают экспериментаторы, а поэтому хочу обратить на него их внимание.

1038. Рассматривая, какое влияние этот источник неправильной работы гальванического прибора может оказать при точных опытах, необходимо помнить, что только ту чрезвычайно незначительную часть вещества, которая непосредственно соприкасается с способным окисляться металлом, следует учитывать при изменении природы последнего; а эту часть вещества не так-то легко вытеснить из занимаемого ею на поверхности металла положения (582, 605), особенно если поверхность этого металла шероховата и неправильна. Для иллюстрации явления я приведу замечательный опыт. Полированная платиновая пла-

стина (569) была погружена всего на один момент в горячую крепкую серную кислоту; затем она была опущена в дистиллированную воду, обмыта в ней, вынута и насухо вытерта; она была опущена во второй раз в дистиллированную воду, опять обмыта в ней и снова вытерта; затем она была погружена в третью порцию дистиллированной воды, в которой ее двигали взад и вперед около восьми секунд, после чего ее, не вытирая, перенесли в четвертую порцию дистиллированной воды; там она оставалась в течение пяти минут. После этого две последние порции воды были исследованы на серную кислоту; третья не дала заметных следов этого вещества, четвертая же дала вполне ясное указание на присутствие серной кислоты, не только в достаточном, но обильном количестве, учитывая условия ее введения. Этот результат в достаточной степени показывает, с каким трудом с металла удаляется вещество, которое находится с ним в соприкосновении, а так как в гальванической цепи касание между пластинкой и образовавшейся у поверхности ее жидкостью должно быть так тесно и совершенно, как это только возможно, то легко понять, как быстро и сильно эта жидкость должна приобретать свойства, отличные от всей массы жидкости в элементах, и как сильно должно отражаться это явление на уменьшении силы батареи.

1039. В обыкновенном гальваническом элементе влияние этого явления будет встречаться в самых разнообразных размерах. Концы батареи, состоявшей из двадцати пар пластин волластоновского образца, соединялись с вольта-электрометром (см. рис. 68 (711)), описанным в седьмой серии настоящих исследований; по истечении пяти минут отмечалось число пузырьков газа, выходявшего из конца трубки вследствие разложения воды. Не двигая пластины, кислоту между медью и цинком перемешивали опущенным в нее перышком. Пузырьки немедленно начинали выделяться быстрее, так что за такой же промежуток времени, что и раньше, их образовалось раза в два больше. В этом случае совершенно ясно, что перемешивание перышком является очень несовершенным способом вернуть кислоте в эле-

ментах у пластин ее первоначальное состояние, и, тем не менее, несмотря на такое несовершенство этого средства, оно более чем удвоило мощность батареи. *Начальный эффект* батареи, который, как известно, значительно превосходит ту степень действия, которую батарея может поддерживать, почти целиком зависит от благоприятного состояния соприкасающейся с пластинами кислоты.

1040. *Второй* причиной уменьшения силы гальванической батареи в результате ее собственного действия является то необыкновенное состояние поверхностей металлов (969), которое впервые, я полагаю, было описано Ритгером; ¹ он объясняет им свойства своих вторичных элементов; оно так хорошо было изучено Марианини, а также де ля Ривом. Если прибор (см. рис. 104) (1036) оставить в действии на один или два часа, причем проволока Z касается пластины p , обеспечив таким образом свободное прохождение тока, и если затем на десять — двенадцать минут разомкнуть контакт, то по возобновлении контакта пойдет только слабый ток, далеко не равный по силе тому, которого можно было бы ожидать. Далее, если P^1 и P^2 соединить металлическим проводом, то сильный кратковременный ток пройдет через кислоту от P^2 к P^1 , т. е. в направлении, обратном току, производимому действием цинка в таком приборе; после этого основной ток может проходить через всю систему, как в начале, но своим прохождением он восстанавливает первоначальное противодействующее состояние в пластинах P^2 и P^1 . Таково в общем фактическое положение вещей, описанное Ритгером, Марианини и де ля Ривом. Оно оказывает сильное вредное влияние на действие батареи, особенно если последняя состоит лишь из небольшого числа гальванических пар, и если ток его должен проходить через большое количество промежуточных пластин. Явление это меняется в зависимости от раствора, в который погружены промежуточные пластины, от напряжения тока, силы элемента, продолжительности действия и, особенно, от

¹ Journal de Physique, LVII, стр. 349.

случайных замыканий накоротко пластин при нечаянном касании их или изменении их положения во время опытов; за этим надо тщательно следить, предпринимая задачу определить источник, силу и изменения гальванического тока. В описанных выше опытах (1036 и т. д.) действие это предотвращалось тем, что соединение между пластинами P^1 и P^2 делалось раньше, чем наблюдался эффект, обусловленный состоянием раствора, соприкасающегося с цинковой пластиной, а также другими мерами предосторожности.

1041. Когда я пользовался прибором, подобным изображенному на рис. 99 (1017), с несколькими платиновыми пластинами и соединял его с батареей, которая могла пустить через них ток, то способность создавать обратный ток, которую они приобрели, была весьма значительна.

1042. В различных элементах одного сосуда или в различных составляющих батарею сосудах никогда не следует брать *слабые и отработанные жидкости* одновременно с *крепкими и свежими*; во всех элементах жидкость должна быть одинаковой; иначе пластины в более слабых элементах будут не облегчать прохождение электричества, производимого в более сильных элементах и передаваемого через них, а тормозить его. Разлагающая способность каждой цинковой пластины, поставленной в такие условия, должна получить известную поддержку, и только тогда между пластиной и жидкостью сможет пройти ток. Так что, если в батарее из пятидесяти пар пластин десять элементов содержат более слабую жидкость, чем остальные, то это равносильно тому, как если бы передаче тока от сорока пар производящих его пластин противодействовало десять разлагающих (1031). Отсюда значительная потеря силы, и в этом заключается причина того, что при удалении этих десяти пар пластин оставшиеся сорок пар оказались бы значительно сильнее пятидесяти, взятых вместе.

1043. Было изготовлено пять одинаковых батарей, по десять пар пластин каждая; четыре из них было залито хорошей однородной кислотой, а пятая — частью уже нейтрализованной кис-

лотой из бывшей в употреблении батареи. Будучи расположены в должном порядке и соединены с вольт-электрометром (711), все пятьдесят пар пластин выделяли в минуту 1,1 кубических дюйма кислорода и водорода; но когда я перемещал один из соединительных проводов так, что в цепи оставались только четыре хорошо заряженные батареи, от последних с тем же вольт-электрометром в то же самое время можно было получить 8,4 кубических дюйма газа. Таким образом, вследствие соединения с пятой батареей, терялось почти семь восьмых силы остальных четырех.

1044. После описанного опыта та же самая батарея из пятидесяти пар была соединена с вольт-электрометром (711) таким образом, что быстрым перемещением соединительных проводов через прибор последовательно в течение заданных промежутков времени мог быть пропущен ток от всей батареи или же от любой части ее. Вся батарея выделяла за полминуты 0,9 кубических дюйма кислорода и водорода; сорок пар пластин за то же время выделяло 4,6 кубических дюйма; после этого вся батарея за те же полминуты выделяла 1 кубический дюйм; десять слабо заряженных пар за данное время выделяли 0,4 кубических дюйма, и, наконец, вся батарея за это стандартное время выделяла 1,15 кубического дюйма газов. Последовательность наблюдений соответствовала указанной; результаты в достаточной мере показывают вредное действие, какое производится смешением сильных и слабых жидкостей в одной и той же батарее.¹

1045. Равным образом следует тщательно избегать соединения *сильных и слабых* пар пластин. Было обнаружено, что если пару, состоящую из медной и платиновой пластин, расположить одинаково с парой цинковой и платиновой пластин в разбавленной серной кислоте, то она приостанавливает действие последней или даже двух таких пар почти так же полно, как промежуточ-

¹ Постепенное усиление действия всех пятидесяти пар пластин было обусловлено повышением температуры в слабо заряженных батареях при прохождении тока; в результате чего увеличивалась возбуждающая энергия жидкости внутри них;

ная платиновая пластина (1011), или как если бы вместо меди там была платина. Фактически она играет роль промежуточной разлагающей пластины, и поэтому вся пара не облегчает, а тормозит прохождение тока.

1046. Чрезвычайно вредное действие получается, если случайно или вообще почему-нибудь перевернуть пластины другой стороной. Перевернутые пластины могут не только создать противодействие току, но еще и тормозящий эффект, как безразличные [в химическом отношении] пластины, так как прежде чем сможет пройти ток, на их поверхности должно произойти разложение в соответствии с его направлением. Поэтому они прежде всего противодействуют току, как это делали бы промежуточные пластины (1011—1018), и к этому они добавляют силу противодействия, как противоположные гальванические пластины. Я нашел, что если в батарее из четырех пар цинковых и платиновых пластин в разбавленной серной кислоте одну пару перевернуть другой стороной, то она почти полностью нейтрализует действие всей батареи.

1047. Имеется много других причин обратного действия торможения и неправильностей в действии гальванической батареи. Сюда относится часто наблюдаемое осаждение в элементах на цинке меди; на вредное действие его указывалось выше (1006). Однако представляемый этими причинами интерес, думается, недостаточно велик, чтобы оправдать дальнейшее удлинение настоящего доклада; доклад этот должен, по мысли автора, являться исследованием теории гальванического элемента, а не подробным рассмотрением практического применения последнего.¹

Примечание. Многие из взглядов и опытов данной серии моих экспериментальных исследований являются одновременно поправками к теории электрохимического разложения, данной в пятой и седьмой сериях настоящих исследований ее дальнейшим развитием. В некоторые

¹ По поводу дальнейших практических выводов, связанных с этими вопросами учения о гальванической батарее, см. десятую серию, раздел 17, пп. 1136—1160; Дек. 1838 г.

выражения я в настоящее время ввсс бы изменения; это те, которые относятся к независимости выделяющихся элементов по отношению к полюсам, или элекстродам, и отнесение их выделения исключительно к внутренним силам (524, 537, 661). Данный доклад полностью отражает мои нынешние взгляды; для ознакомления с ними я могу отослать к пп. 891, 904, 910, 917, 918, 947, 963, 1007, 1031 и т. д. Я надеюсь, что как поправка это примечание будет признано для настоящего момента достаточным; я хотел бы отложить пересмотр всей теории электрохимического разложения до того времени, когда у меня составитс более ясное представление о том, каким способом рассматриваемая сила может то оказываться связанной с частицами, которым сообщает их химические притяжения, то проявляться как свободное электричество (493, 957).

*Королевский институт
31 марта 1834 г.*

М. Ф.

ДЕВЯТАЯ СЕРИЯ

Раздел 15. Об индуктивном влиянии электрического тока на самого себя и об индуктивном действии электрических токов вообще.

Представлено 18 декабря 1834 г.

Доложено 29 января 1835 г.

РАЗДЕЛ 15

Об индуктивном влиянии электрического тока на самого себя и об индуктивном действии электрических токов вообще

1048. Излагаемые далее исследования относятся к весьма замечательному индуктивному действию электрических токов или различных частей одного и того же тока (74) и указывают на близкую связь между таким индуктивным действием и непосредственным прохождением электричества через проводящие тела, и даже прохождением электричества, проявляющимся в виде искры.

1049. Вопрос этот возник в связи с фактом, сообщенным мне г. Дженкином (Jenkin); факт этот заключается в следующем. Если для соединения между двумя пластинами гальванической батареи, состоящей из одной пары металлов, служит обыкновенная проволока небольшой длины, то никакими ухищрениями экспериментатору не удастся получить от этой проволоки электрического удара, но если взять для этой цели обмотку электромагнита, то всякий раз при размыкании соединения с гальванической батареей ощущается удар; необходимо только в каждой руке держать по одному концу проволоки.

1050. Одновременно наблюдается другое, давно известное ученым явление, а именно: в месте разъединения проскакивает яркая электрическая искра.

1051. Краткий отчет об этих и некоторых других результатах такого же рода, которые я наблюдал при употреблении длинных проводов, был опубликован в *Philosophical Magazine* за 1834 г.,¹ и я дополнил их некоторыми соображениями об их природе. Дальнейшие исследования заставили меня признать неправильность моих первоначальных представлений и, в конце концов, привели меня к отождествлению этих явлений с явлениями индукции, о которых я имел честь докладывать в первой серии настоящих исследований (1—59).² Эти результаты дают дальнейшее расширение нашим взглядам на электрические токи и выясняют некоторые особенности, а потому я, несмотря на указанную тождественность, счел их достойными внимания Королевского общества.

1052. *Источник*, которым я пользовался, состоял из цинкового цилиндра, вставленного между двумя половинами двойного медного цилиндра и предохраненного от металлического контакта с последним обычным путем при помощи пробок. Цинковый цилиндр имел восемь дюймов в высоту и четыре дюйма в диаметре. Как он, так и медный цилиндр были снабжены жесткими проволоками, оканчивающимися чашечками с ртутью; именно в этих чашечках производилось замыкание или размыкание контактов с проводами, спиралями или электромагнитами, которые входили в цепь. На всем протяжении остальной части этого доклада (1079) я буду обозначать эти чашечки через *G* и *E*.

1053. Было изготовлено несколько *спиралей*, из которых некоторые необходимо описать. На картонную трубку было намотано четыре медных провода, толщиной в одну двадцать четвертую дюйма; каждый из них образовал спираль одинако-

¹ Vol. V, 349, 444.

² *Philosophical Transactions*, 1832, стр. 126.

вого направления от одного конца к другому; отдельные витки проводов разделялись друг от друга шнуром, а спирали, наматанные поверх их, предохранялись от соприкосновения с ними проложенным между ними коленкором. Длины проводов, образующих спирали, были равны 48, 49,5, 48 и 45 футам. Первый и третий провода были соединены вместе таким образом, что образовали одну общую спираль длиной 96 футов; второй и четвертый провода были соединены подобным же образом; полученная таким образом вторая спираль тесно переплеталась с первой и имела в длину 94,5 фута. Эти спирали будем различать цифрами I и II. Они были тщательно исследованы с помощью сильного тока электричества и гальванометра; было установлено, что никаких соединений между этими спиралями не было.

1054. На подобной же картонной трубке была изготовлена другая спираль; для нее было взято два куска того же медного провода, каждый длиной по сорок шесть футов. Эти провода были соединены в одну общую спираль в девяносто два фута длиной; она была, таким образом, по размерам почти равна каждой из предыдущих спиралей, но не была с ними в тесной индуктивной связи. Эту спираль мы будем обозначать цифрой III.

1055. Четвертая спираль была изготовлена из очень толстого медного провода диаметром в одну пятую дюйма; длина провода была равна семидесяти девяти футам, не считая прямых конечных участков.

1056. *Электромагнит*, которым я главным образом пользовался, представлял собой цилиндрический стержень из мягкого железа длиной в двадцать пять дюймов и диаметром в один и три четверти дюйма; он был согнут в виде кольца так, что концы его почти соприкасались, и окружен тремя катушками из толстого медного провода, подобные концы которых были накрепко соединены друг с другом; каждый из этих концов был припаян к медному стержню, который служил проводящим продолжением провода. Таким образом всякий пропущенный через стержни ток разветвлялся в окружающих кольцо спиралях на

три части, которые однако все имели одно и то же направление. Поэтому указанные три провода можно рассматривать как один, толщина которого в три раза больше, чем у провода, который был намотан в действительности.

1057. Можно было по желанию вводить в любую из описанных (1053 и т. д.) спиралью стержень из мягкого железа и таким образом получать другие электромагниты.

1058. Я пользовался грубым по устройству *гальванометром*; у него была всего одна магнитная стрелка; его показания были не особенно точны.

1059. Явления, которые нам предстоит рассмотреть, *зависят от того проводника*, который образует часть цепи, соединяющей цинковую и медную пластины источника; я буду рассматривать такие проводники четырех различных видов: спираль электромагнита (1056), обыкновенную спираль (1053 и т. д.), *длинный* растянутый провод, расположенный так, что отдельные части его оказывают друг на друга только слабое влияние или совсем его не обнаруживают, и наконец, *короткий* провод. Во всех случаях провод был медный.

1060. Лучше всего эти особые явления обнаруживаются с *электромагнитом* (1056). Когда я вводил его в цепь источника, то при *замыкании* контакта искры не было, но при *размыкании* контакта появлялась очень большая и яркая искра; ртуть сгорала в большом количестве. То же относится к удару: если руки были смочены в соленой воде и между ними и проводами существовал хороший контакт, то при *замыкании* контакта у источника удара не ощущалось, при *размыкании* же контакта— весьма сильный удар.

1061. Когда соединительным проводом служили *спирали* I или II (1053 и т. д.), при размыкании контакта также получалась сильная искра, при замыкании же никакой [заметной] искры не было. При попытках получить от этих спиралей удар мне сначала не удавалось добиться успеха. Когда я соединял подобные концы спиралей I и II так, что две спирали уподобились одной, с проводом двойной толщины, я мог получить

только-только заметное ощущение. Со спиралью из толстого провода (1055) получался отчетливый удар. Затем я поместил язык между двумя серебряными пластинками, а их соединил посредством проволок с теми местами цепи, которых перед тем касались руки (1064); тогда при *размыкании* контакта ощущался сильный удар, а при *замыкании* контакта — никакого.

1062. Таким образом способность производить эти явления присуща простой спирали так же, как и электромагниту, хотя далеко не в такой сильной степени.

1063. При внесении в спираль стержня из мягкого железа она становилась электромагнитом (1057), и ее сила мгновенно и сильно возрастала. Внесение в спираль медного стержня не давало никакого изменения, и действие было таким же, как при опытах с одной спиралью. Когда я две спирали I и II превращал в одну спираль с проводом удвоенной длины они производили большее действие, чем одна спираль I или II.

1064. При переходе от спирали к обычному *длинному проводу* были получены следующие явления. Медный провод, диаметром в 0,18 дюйма и длиной в 132 фута, был протянут на полу лаборатории и служил соединительным проводом (1059); при замыкании контакта он не давал заметной искры, при размыкании искра была яркая, хотя и не такая яркая, как при спирали (1061). При попытках получить удар в момент замыкания контакта мне не удалось заставить электричество пройти через руки; но когда я взял две серебряные пластинки, прикрепленные небольшими проволочками к концам главного провода, и ввел между этими пластинками язык, я мог получить сильные удары на язык и десны; я легко мог вызывать сокращения у камбалы, угря и лягушки. Ни одно из этих действий не удавалось получить непосредственно от источника, т. е. когда язык, лягушка или рыба были одинаково, а следовательно сравнимым образом, включены в цепь между цинковой и медной пластинками, которые на остальном протяжении были разделены друг от друга кислотой, служившей для возбуждения пары, или же воздухом. Яркая искра и удар, полу-

чаемые только при размыкании контакта, суть, таким образом, явления того же порядка, что и явления, получаемые в более высокой степени с помощью спирали и — в еще более высокой степени — с помощью электромагнита.

1065. Для сравнения растянутого провода со спиралью я брал в качестве проводника попеременно спираль I, содержащую девяносто шесть футов провода, и протянутые на полу лаборатории девяносто шесть футов провода того же диаметра; в момент разъединения первая давала значительно более яркую искру, чем второй. Далее я свернул двадцать восемь футов медного провода в виде спирали; она дала в момент отключения источника сильную искру; а когда я затем быстро развернул его и сделал опыт снова, провод дал значительно более слабую искру, чем раньше, хотя ничего не изменилось, за исключением придания проводу спиральной формы.

1066. Так как превосходство спирали над проводом имеет большое значение для теории явления, то я приложил особенные старания к тому, чтобы установить этот факт с уверенностью. Медный провод в шестьдесят семь футов длиной был изогнут в середине таким образом, что получился двойной конец, который можно было присоединить к источнику; первая половина этого провода была свернута в спираль, а другая оставалась растянутой. Когда эти половины попеременно включались в качестве соединительного провода, то свернутая в спираль половина давала гораздо более сильную искру. Она давала даже более сильную искру, чем в том случае, когда она и растянутый провод служили совместно двойным проводником.

1067. При коротком проводе все эти явления исчезали. Когда провод имел в длину всего два или три дюйма, то искру при размыкании соединения едва можно было заметить. Когда провод был длиной в десять или двенадцать дюймов и умеренно толстый, то небольшую искру получить было уже легче. С возрастанием длины искра становится соответственно ярче, пока при чрезмерной длине сопротивление металла как проводника не начинает искажать этот основной результат.

1068. Влияние увеличения длины провода было ясно показано следующим образом: 114 футов медного провода, в одну восемнадцатую дюйма диаметром, было протянуто на полу; они служили соединительным проводом; провод оставался холодным, но при размыкании контакта давал яркую искру. Я перекрутил его таким образом, что оба его конца находились в контакте друг с другом вблизи от концов; он снова был взят в качестве соединительного провода, причем теперь в цепь было включено всего двенадцать дюймов провода; вследствие того, что через провод проходило большое количество электричества, он сильно нагревался, и, тем не менее, искра при размыкании контакта была едва видима. Опыт был повторен с проводом диаметром в одну девятую дюйма и длиной в тридцать шесть футов, и с теми же результатами.

1069. Что эти явления, а равно и это действие тождественны при всех видах опыта, очевидно из того, каким способом можно их постепенно усилить, начиная от действий, производимых самым коротким проводом и кончая действиями сильнейшего электромагнита; такая возможность — изучать то, что произойдет при употреблении самого мощного прибора, а потом пытаться получать такие же результаты и делать из них выводы с помощью более слабых приборов — представляет большие выгоды при установлении истинных причин явлений.

1070. Это действие, очевидно, зависит от провода, который служит проводником, ибо оно меняется с изменением длины или формы последнего. Можно считать, что и самый короткий провод проявляет полностью те действия искры или удара, которые может произвести своей силой источник; все же добавочные силы, которые возбуждаются в описанных устройствах, обусловлены некоторым длительным или кратковременным действием тока в самом проводе. Что оно представляет собой действие *кратковременное*, происходящее только в момент размыкания контакта, будет полностью доказано дальше: (1089, 1100).

1071. С момента замыкания контакта до момента, предшествующего разъединению, т. е. в течение всего промежутка времени, пока *длится* ток, не происходит никакого изменения количества или напряжения тока, если не считать того изменения, которое связано с увеличением сопротивления, представляемого прохождению электричества длинным проводом по сравнению с коротким. Для количественной проверки этого положения в металлическую цепь, служащую для соединения пластин небольшого источника, были одновременно включены спираль I (1053) и гальванометр (1058); отклонение последнего затем и наблюдалось; после этого внутрь спирали вводился сердечник из мягкого железа, и как только мгновенное действие прекращалось и стрелка устанавливалась, ее показание вновь отсчитывалось; при этом оказалось, что она стоит на том же самом делении, что и раньше. Таким образом при непрерывном токе через проволоку проходило одно и то же количество электричества как в присутствии мягкого железа, так и без него, несмотря на то, что те особые явления, которые возникают в момент размыкания, при таком изменении условий сильно отличались по своей силе.

1072. В условиях, благоприятствующих рассматриваемым результатам, присущее постоянному току качество *напряжения* не претерпевало изменений, которыми можно было бы объяснить явления; это было установлено следующим образом. Ток, возбуждаемый источником, пропускаться через короткие провода, и для определения его напряжения его электролизующей силе подвергались различные вещества (912, 966 и т. д.); затем его пропускали через обмотку сильного электромагнита (1056) и снова, таким же способом, определяли его напряжение; при этом оказалось, что оно не изменялось. С другой стороны, постоянство *количества* проходившего в вышеупомянутом опыте электричества (1071) является лишним доказательством того, что напряжение измениться не могло, ибо если бы вследствие введения мягкого железа оно возросло, то имелись бы все основания полагать, что количество

электричества, проходящее за данный промежуток времени, также возросло бы.

1073. На самом деле при многих видоизменениях опыта установившийся ток *теряет* в силе, а явления при размыкании контакта при этом *усиливаются*. Это достаточно выясняется из сравнения опытов с длинными и короткими проводами (1068) и еще более резко подтверждается следующими видоизменениями опыта. К одному из концов длинного соединительного проводника припаем один или два дюйма тонкой платиновой проволоки (примерно в одну сотую дюйма диаметром) и такой же кусок той же платиновой проволоки — к одному из концов короткого соединительного проводника; затем для сравнения действий этих двух соединений будем замыкать и размыкать контакт между платиновыми концами и ртутью в чашечке *G* или *E* (1079). При коротком проводе, вследствие большого количества электричества, *платина будет раскаляться постоянным током*, но искра при размыкании контакта будет едва видна; при более длинном соединительном проводе, который своим сопротивлением ослабляет ток, платина при прохождении тока останется холодной, но в момент его прекращения даст яркую искру; таким образом получается странный результат: ослабление искры и удара при сильном токе и усиление этих действий при слабом. Итак, хотя искра и удар в момент замыкания и являются следствием значительного напряжения и количества тока в *этот момент*, но они не могут служить непосредственным мерилем или указателем напряжения или количества проходившего перед этим постоянного тока, которому они в конечном счете *обязаны своим существованием*.

1074. Когда пользуются относительной яркостью искры для оценки интенсивности этих явлений, весьма существенно помнить некоторые обстоятельства, связанные с ее происхождением и внешним видом (958). Под обыкновенной искрой мы понимаем яркое проявление электричества, внезапно проскакиваю-

щего через воздушный промежуток или через другое плохое проводящее вещество. Природа гальванической искры иногда ничем не отличается, но эта искра большей частью обусловлена раскаливанием или даже воспламенением весьма малого количества хорошего проводника; так обстоит дело особенно в том случае, когда источник состоит всего из одной пары или небольшого числа пар пластин. Это явление можно очень хорошо наблюдать, если одна или обе предназначенные для контакта металлические поверхности являются твердыми и заостренными. В тот момент, когда они приходят в соприкосновение, ток проходит; он нагревает, раскаляет и даже воспламеняет соприкасающиеся острия, и по внешнему виду можно думать, будто при замыкании контакта проскочила искра, на самом же деле контакт был замкнут раньше, и самое явление представляет собой лишь случай накаливания током, совершенно аналогичный раскаливанию тонкой платиновой проволоки, соединяющей концы гальванической батареи.

1075. Когда одна или обе взятые поверхности состоят из ртути, яркость искры значительно повышается. Однако, поскольку это явление обусловлено действием на металл, а, может быть, и сгоранием его, постольку такие искры следует сравнивать с другими искрами только в том случае, если они получаются также от ртутных поверхностей, и нельзя сравнивать их с искрами, которые получены между поверхностями, скажем, платины или золота, ибо в этом случае искра оказывается значительно менее яркой с виду, даже при одинаковом количестве проходящего электричества. Вполне возможно, что обычные условия сгорания могут повлиять даже на продолжительность вспышки, и что искры, получаемые между ртутью, медью или другими окисляющимися веществами, будут существовать гораздо дольше, чем искры между платиной или золотом.

1076. Если конец короткого зачищенного медного провода прикрепить к одной из пластин источника и осторожно опустить на поверхность ртути, соединенной с другой пластиной, то можно получить почти непрерывную искру. Я приписываю

это последовательности действий следующего рода: сначала контакт, затем раскаливание соприкасающихся точек; отступление ртути в силу механического влияния развившегося в месте контакта тепла и электромагнитного состояния этих частей в данный момент;¹ разрыв контакта и получение зависящего от этого своеобразного яркого явления; возобновление контакта благодаря обратному приближению поверхности колеблющейся ртути, затем повторение того же ряда явлений, и притом с такой быстротой, которая создает впечатление непрерывного разряда. Если вместо короткого соединительного провода взять длинный или же электромагнит, то можно получить подобную картину, постукивая по сосуду, содержащему ртуть, и приводя последнюю в колебания; однако теперь искры обычно не следуют друг за другом столь же быстро и не создают впечатления непрерывной искры, вследствие того, что при длинном проводе или электромагните как для полного развития тока (1101, 1106), так и для его *полного прекращения* требуется время.

1077. Возвратимся к интересующим нас явлениям. Первое, что приходит в голову, — то, что электричеству, циркулирующему в проводе, присуще нечто подобное *количеству движения или инерции*, и что именно вследствие этого длинный провод производит в момент прекращения тока такие действия, каких короткий провод произвести не может. Однако такое объяснение тут же устраняется фактом, что провод одной и той же длины создает действия различной силы в зависимости от того, просто ли он растянут, свернут в спираль или же составляет обмотку электромагнита (1069). Приводимые далее опыты (1089) покажут еще более убедительно, что представление о количестве движения здесь неприменимо.

1078. Яркая искра у источника и удар через руки, повидному, обусловлены одним и тем же проходящим в длинном про-

¹. Quarterly Journal of Science, XII, стр. 420.

воде током; последний при этом делился на части, так как ему представляются два пути: через тело и через источник; и в самом деле, не подлежит сомнению, что искра в месте разъединения [цепи] с источником появлялась не вследствие прямого действия последнего, а благодаря силе, немедленно проявляющейся в соединительном проводе (1070). Отсюда следовало, что, заменив человеческое тело более совершенным проводником, можно было бы заставить весь экстракт пройти через этот участок; таким образом его можно было бы отделить от того тока, который источник производит своим непосредственным действием, и изучать его *направление* без помехи со стороны первоначального и производящего действие тока. Это предположение подтвердилось, так как при соединении концов главного провода поперечным проводом в два или три фута длиной, если последний приложить как раз в том месте, где руки ощущали удар, весь экстракт проходил по новому пути, и в этом случае при разъединении у контактов источника искра получалась не лучше такой,

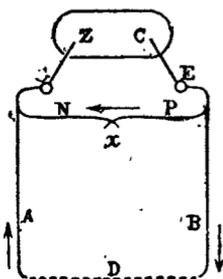


Рис. 105.

какую можно произвести с помощью короткого провода.

1079. Отделенный таким образом ток был исследован с помощью гальванометра и прибора для разложения, которые включались в цепь этого провода. Об этом токе я буду всегда говорить как о токе в поперечном проводе или поперечных проводах, чтобы не могло возникнуть никакого недоразумения в отношении его местонахождения или происхождения. На прилагаемом рисунке *Z* и *C* представляют собой цинковую и медную пластины источника; *G* и *E* — чашечки со ртутью, в которых происходит замыкание или размыкание контакта (1052); *A* и *B* — концы провода *D*, т. е. длинного провода, спирали или же электромагнита, вводимых в цепь; *N* и *P* суть поперечные провода, которые можно соединять друг с другом в точке *x* или прямо, или через гальванометр (1058), или через электролитический прибор (312, 316).

Получение удара, производимого током в поперечном проводе, независимо от того, что собой представляет провод D : длинный растянутый провод, спираль или же электромагнит, было описано выше (1064, 1061, 1060).

1080. Искру от тока в поперечном проводе можно было получить в точке x следующим образом: D представлял собой электромагнит, металлические концы в точке x крепко прижимались друг к другу или же их слегка терли друг о друга, а контакт в G или E в это время размыкался. Когда соединение в точке x было безупречно, в G или E появлялась лишь слабая искра, или она вообще не появлялась. Когда условия сближения [проводов] в точке x благоприятствовали, требуемому результату, то в этом месте в момент размыкания проскакивала яркая искра; наоборот, у G и E искры не возникало; эта искра представляла собой яркое прохождение экстратока через поперечные провода. Когда в точке x не было контакта и ток в этом месте не проходил, тогда искра появлялась у G или у E , т. е. экстраток прокладывал себе дорогу через самый источник тока. Такие же результаты получались при замене электромагнита на участке D спиралью или же растянутым проводом.

1081. Когда я вводил в x тонкую платиновую проволочку и пользовался на участке D электромагнитом, то до тех пор, пока сохранялся контакт, видимых действий не было; но при размыкании контакта в G или E проволочка мгновенно раскалялась и плавилась. Можно было в x подобрать более длинную или более толстую проволоку таким образом, чтобы при каждом размыкании контакта в G или E происходило раскаливание, но без плавления.

1082. Получить такой же эффект со спиральями или проводами довольно трудно, и по очень простым причинам: при спиральях I, II или III задерживающее действие по отношению к току вследствие большой длины провода было таково, что можно было поддерживать в раскаленном состоянии у поперечных проводов, при сохранении контакта, целый дюйм платиновой проволоки, толщиной в одну пятидесятую дюйма,

что производилось той частью электричества, которая через нее проходила. Поэтому особые действия, которые сопровождали замыкание или размыкание контакта, невозможно было отличить от этого постоянного действия. При спирали из толстой проволоки (1055) результаты получались такие же.

1083. Исходя из известного факта, что электрические токи большого количества, но низкого напряжения, хотя и способны раскалить толстые проволоки, но не могут производить этого действия на тонких проволоках, я включал в x очень тонкую платиновую проволочку, уменьшая ее диаметр до тех пор, пока при размыкании контакта в G или E там не появлялась искра. Можно было включить у x четверть дюйма такой проволоки, и при этом при *сохранении* контакта в G или E , она не раскалялась; когда же контакт в одной из этих точек размыкался, эта проволочка раскалялась докрасна; этим подтверждалось, что в этот момент получался индуцированный ток.

1084. Затем я получал при помощи тока в поперечном проводе *химическое разложение*, причем на участке D был включен электромагнит, а в x — прибор для разложения, с раствором иодида калия в бумаге (1079). Проводимость соединительной системы ABD была достаточна для того, чтобы пропустить весь первичный ток, и поэтому при *сохранении* контакта в G и E разложение в x не происходило; когда же контакт размыкался, в x немедленно возникало разложение. Иод выделялся у провода N , а не у провода P ; это указывало, что по размыкании контакта ток через поперечный провод проходил *в направлении, противоположном* указанному стрелкой, т. е. тому, который шел бы через него от источника.

1085. В этом опыте в месте размыкания появляется яркая искра; это доказывает, что через прибор в x вследствие его малой проводимости проходит лишь небольшая часть экстра-тока.

1086. Получение химических действий с простыми спиралями и проводами оказалось затруднительным из-за малой индуктивной способности этих систем, а также вследствие того,

что при очень сильном источнике в x проходит сильный постоянный ток (1082).

1087. Но наиболее поучительные результаты получались тогда, когда в x вводился *гальванометр*. Если пользоваться на участке D электромагнитом и сохранять контакт, отклонение прибора указывает на существование тока, проходящего от P к N в направлении стрелки; часть возбужденного источником электричества проходила через поперечный провод, но через часть установки, обозначенную ABD , как то указано стрелками, проходила другая, значительно большая часть. Затем магнитная стрелка с помощью булавок, воткнутых с противоположных сторон двух ее концов, была возвращена в положение равновесия, которое она занимала при отсутствии тока; после этого при *размыкании* контакта в G или E , она сильно отклонялась в противоположном направлении, указывая этим, в согласии с химическими действиями (1084), что экстраток в поперечном проводе направлен *обратно* току, указанному стрелкой, т. е. *обратно* току, производимому прямым действием источника.¹

1088. При одной только *спирали* (1061) указанные явления наблюдались с трудом вследствие более слабой индуктивной силы такого устройства, противоположного действия индукции в проводе самого гальванометра, механических условий и напряжения стрелки, вызываемого тем, что она закреплялась (1087), а ток вследствие сохранения контакта в это время проходил вокруг нее; а также в силу других причин. При *растянутом проводе* (1064) все эти обстоятельства оказывали еще большее влияние и, следовательно, давали еще меньше шансов на успех.

1089. Эти опыты устанавливают существенное различие между первичным или возбуждающим током и экстратокком в отношении количества интенсивности и даже направления;

¹ Было экспериментально установлено, что если сильный ток пропускаться только через гальванометр, а стрелка, как и ранее, удерживалась в положении равновесия, то в момент прекращения тока не происходило отклонения стрелки в противоположном направлении.

они привели меня к заключению, что экстраток тождествен с описанным в первой серии настоящих исследований (6, 26, 74) индуцированным током; вскоре мне удалось подтвердить это мнение и одновременно получить не только частичное (1078), но и полное отделение одного тока от другого.

1090. Двойная спираль (1053) была расположена таким образом, что образовала соединительный провод между пластинами источника, причем по спирали II ток не проходил, и концы ее соединены не были. При таких условиях спираль I действовала очень хорошо и в момент размыкания давала в месте разъединения хорошую искру. Затем противоположные концы спирали II были соединены друг с другом так, что образовали замкнутый провод, а спираль I была оставлена без изменений; но теперь от последней *не* удавалось получить искры в месте разъединения, разве что едва заметную. Затем концы спирали II были поднесены так близко друг к другу, что каждый пробегающий по этой спирали ток должен был бы проявиться в виде искры. Таким способом при размыкании соединения спирали I с источником получалась искра от спирали II, а у размыкаемого конца самой спирали I она, наоборот, не появлялась.

1091. Когда я вводил в цепь, образуемую спиралью II, гальванометр или прибор для разложения, мне легко удавалось получать отклонения стрелки и разложения, вызываемые индуцированным током, который получался вследствие размыкания контакта спирали I, и даже током, вызываемым замыканием контакта между этой спиралью и источником; в этих случаях результаты указывали, что два полученные таким путем индуцированные токи имели противоположные направления (26).

1092. Все эти явления, за исключением явления разложения, были воспроизведены с помощью двух растянутых длинных проводов, которые не имели формы спирали, но были помещены близко друг к другу; таким образом было доказано, что *экстраток* можно было переместить из провода, несущего перво-

начальный ток, в соседний; в то же время было установлено тождество экстратока как в отношении направления, так и во всех других отношениях с токами, производимыми индукцией (1089). Таким образом относительно яркой искры и удара при размыкании можно сказать следующее: если установить ток в проводе и параллельно ему поместить другой провод, образующий замкнутую цепь, то в момент прекращения тока в первом он индуцирует во втором ток *того же самого* направления, причем в первом проводе в этом случае появляется лишь слабая искра; если же второй провод отсутствует, то размыкание первого провода индуцирует в нем самом ток того же направления, дающий сильную искру. Сильная искра в уединенном длинном проводе или спирали в момент размыкания является таким образом эквивалентом тока, который был бы произведен в соседнем проводе, если бы для такого вторичного тока была представлена возможность.

1093. Если рассматривать эти явления, как результат индукции электрических токов, то многие из законов действия в предыдущих опытах становятся гораздо более очевидными и точными. Так, например, делается понятным различное действие коротких и длинных проводов, спиралей и электромагнитов (1069). Если наблюдать индуктивное действие провода длиной в один фут на расположенный рядом провод длиной также в один фут, то оно оказывается очень слабым; но если тот же самый ток пропустить через провод длиной в пятьдесят футов, то он будет индуцировать в соседнем пятидесятифутовом проводе в момент замыкания или размыкания контакта значительно более сильный ток, так как каждый лишний фут провода приносит нечто в суммарное действие; по аналогии мы заключаем, что такое же явление должно иметь место и тогда, когда соединительный проводник служит одновременно проводником, в котором образуется индуцированный ток (74); в этом и заключается причина того, что длинный провод дает при размыкании контакта более яркую искру, чем короткий (1168), хотя через него и течет гораздо меньше электричества.

1094. Если длинный провод свить в спираль, то он при разомкнутом контакте будет давать еще большие искры и удары, ибо благодаря индуктивному действию витков друг на друга каждый виток будет помогать соседнему, и сам, в свою очередь, получит такую помощь; суммарное действие значительно возрастет.

1095. Когда мы пользуемся электромагнитом, действие усиливается еще больше вследствие того, что железо, намагниченное силой непрерывного тока, в момент его прекращения будет терять свой магнетизм и при этом будет стремиться произвести в окружающем его проводе электрический ток (37, 38) того же направления, что и ток, который должен произвести прекращение тока в самой спирали.

1096. Пользуясь изложенными выше законами индукции электрических токов, можно было бы придумать разнообразные новые условия опытов, и их результаты могли бы служить для проверки правильности высказанного только что взгляда. Если сложить вдвое длинный провод так, чтобы токи в двух его половинах давали противоположные действия, то в момент размыкания он не должен был бы давать заметной искры; и так оно в действительности и было, ибо покрытый шелком провод, длиной в сорок футов, будучи сложен вдвое и плотно увязан в средней части, до расстояния в четыре дюйма от концов, давал в таком виде едва заметную искру; но когда он был распрямлен и его части были раздвинуты, он давал сильную искру. Две спирали I и II были соединены своими подобными концами, а другими концами они соединялись с пластинами источника, так что образовалась одна длинная спираль, у которой одна половина была направлена против другой; и, несмотря на то, что спираль содержала около двухсот футов провода, она при таких условиях давала едва ощутимую искру даже в том случае, когда внутри нее находился сердечник из мягкого железа. Когда она была превращена в спираль одного направления такой же длины, она давала очень яркую искру.

1097. Подобные же доказательства можно получить из взаимного индуктивного действия двух отдельных токов (1110);

с точки зрения общих принципов существенно установить согласие в действии двух таких токов. Так, два одинаково направленные тока при одновременном их прекращении должны своим взаимным влиянием помогать друг другу; а если они проходят в противоположных направлениях, то должны при таких же условиях противодействовать друг другу. Сначала я пытался получить оба тока от двух различных источников и, пропуская их через спирали I и II, пробовал производить одновременное замыкание механическим путем. Однако это мне не удавалось: одна цепь всегда замыкалась раньше другой и давала при таких условиях слабую искру или не давала ее вовсе, так как индуктивная сила ее расходовалась на создание тока в цепи, оставшейся замкнутой (1090); тот ток, который прекращался позже, всегда давал яркую искру. Если бы когда-нибудь потребовалось установить, производятся ли два замыкания точно в один и тот же момент, то такие искры представили бы для этого способ, обладающий высокой¹ степенью совершенства.

1098. Мне удалось подтвердить эти положения другими средствами. В качестве концов, с помощью которых можно было замыкать и размыкать контакт с источником, было взято два коротких толстых провода. Состоящая из I и II (1053) сложная спираль была установлена таким образом, что концы двух спиралей можно было соединять с двумя соединительными проводами, и чтобы ток, проходящий через толстые провода, подразделялся в двух спиральях на две равные части; эти два тока, в зависимости от способа соединения, по желанию пропускались либо в одинаковом, либо в противоположном направлениях. Таким путем можно было получить два тока, и оба можно было прекращать одновременно, потому что разъединение можно было производить в G или E , удаляя один провод. Когда спирали включались в противоположных направлениях, то в месте разъ-

¹ В издании 1839 г. имеется меняющая смысл фразы опечатка *infinitesimal* вместо *infinite*, как напечатано в *Philosophical Transactions* (прим. пер.).

единения получалась едва заметная искра; когда же они соединялись согласно, искра получалась очень яркая.

1099. В дальнейшем постоянно работала спираль I, причем иногда ее, как и ранее, соединяли со спиралью II в согласном направлении, а иногда — со спиралью III, находившейся на небольшом от нее расстоянии. Соединение спиралей I и II представляло собой два тока, способных в силу своей близости действовать друг на друга индукцией, и она давала более яркую искру, чем система I и III, где два тока не могли проявить своего взаимного влияния; однако различие было не так значительно, как я ожидал.

1100. Итак, все эти явления доказывают, что указанные эффекты обусловлены индуктивным действием, происходящим в момент прекращения главного тока. Одно время я полагал, что действие, которым они обусловлены, длится в течение *всего времени* существования тока, и ожидал, что стальной магнит будет, подобно стрелке из мягкого железа, оказывать усиливающее влияние в зависимости от его положения в спирали. Однако это не так, ибо твердая сталь или магнит в спирали действуют не так сильно, как мягкое железо; каким образом магнит расположен в спирали, — это также не играет никакой роли, и по той простой причине, что явление зависит не от постоянного состояния сердечника, а от *изменения его состояния*; изменение же состояния магнита или твердой стали в момент разъединения контакта не может быть так сильно, как у мягкого железа, а потому не может произвести такого же действия в смысле создания путем индукции тока электричества (34, 37).

1101. Электрический ток действует индуктивно с одинаковой силой в момент своего возникновения и в момент прекращения (10, 26), но в противоположных направлениях. Сводя рассматриваемые явления к индуктивным действиям, мы должны поэтому прийти к заключению, что в длинном проводе, спирали

или электромагните при каждом замыкании контакта с источником должны возникать соответствующие явления противоположного характера. В первый момент эти явления стремятся вызвать в длинном проводнике некоторое сопротивление, производя результат, эквивалентный удару или искре в обратном направлении. Однако очень трудно придумать способ, который бы давал возможность распознать такие отрицательные результаты; впрочем, не исключена возможность, что одновременно производится и некоторое положительное действие; и нужно только знать, чего следует ожидать; поэтому, я полагаю, стоило бы упомянуть о тех немногих относящихся к этому предмету фактах, которые мне известны.

1102. Электромагнит и электролитический прибор были помещены в точке x , как было описано выше (1084), с той только разницей, что я повышал интенсивность химического действия в источнике до тех пор, пока электрический ток не оказывался способным давать только-только самые слабые признаки разложения при поддержке контакта в G и E (1079); иод появлялся, конечно, у конца поперечного провода P . Кроме того, провод N отделялся от провода A в точке r , так что в этой точке по желанию можно было производить замыкание и размыкание. При этих условиях несколько раз подряд был проделан следующий ряд операций: контакт в r размыкался, затем размыкание производилось в G , потом замыкался контакт в r и, наконец, возобновлялся контакт в G ; таким образом устранялась возможность какого бы то ни было тока от N к P , происходящего от размыкания контакта, тогда как всякое усиление тока от P к N , обусловленное замыканием контакта, можно было наблюдать. Таким путем было найдено, что с помощью нескольких замыканий контакта можно получить гораздо более сильное действие разложения (вызывая выделения иода у P), чем с помощью тока, который проходил бы в течение значительно большего промежутка времени при замкнутом контакте. Я приписываю это действию индукции в проводе ABD в момент замыкания, в результате которого данный провод становится худшим про-

водником, или, вернее, на момент задерживается прохождение через провод электричества, так что по пути, представляемом поперечным проводом NP , направляется большая часть создаваемого в источнике электричества. В момент прекращения индукции провод ABD полностью восстанавливал свою способность проводить постоянный ток электричества, которая, как мы знаем из предшествующих опытов (1060), могла сильно возрасти благодаря противоположному индуктивному действию, возникающему в момент размыкания контакта в Z или C .

1103. Затем в x вводился гальванометр, и отмечалось отклонение стрелки при сохранении контакта в G и E ; после этого стрелка, как и раньше, закреплялась в отклоненном положении (1087), так что при прекращении тока она не могла вернуться в положение равновесия, а оставалась в том положении, в котором ее удерживал бы ток. Затем размыкался контакт в G или E , причем, конечно, видимого действия не происходило; затем контакт возобновлялся, и стрелка мгновенно отклонялась, переходя от воткнутых булавок в положение, еще более удаленное от равновесия, чем то, которое было бы вызвано постоянным током; таким образом можно было показать временным избытком тока в поперечном проводе временную задержку его в участке ABD .

1104. Подобрал в x платиновую проволочку (1081) таким образом, чтобы она не раскалялась током, проходящим через нее при *поддержании* контакта в G и E , но доходила до красного каления при несколько более сильном токе, я легко мог вызывать раскаливание ее как при *замыкании контакта*, так и при *размыкании его*. Этот результат, в свою очередь, указывал на наличие кратковременной задержки в ABD при замыкании контакта, а также на наличие противоположного действия при размыкании. Электрические токи, производившие в этих двух случаях раскаливание проволоки в x , конечно, проходили в противоположных направлениях.

1105. С одной только *спиралью* я, по уже упомянутым причинам (1088), не мог получить в x отчетливого отклонения,

которое следовало бы приписать этому дополнительному действию в момент замыкания. Когда я брал в этом месте очень тонкую платиновую проволочку (1083), мне удавалось в момент замыкания раскалить ее таким же образом, но отнюдь не в такой же степени, как при помощи электромагнита (1104).

1106. Как и в описанных выше случаях (1090), мы можем изучить и оценить действия при замыкании контакта, перенося индуктивную силу из провода, несущего первичный ток, в соседний; в этом случае как из химического действия, так и из показаний гальванометра мы можем почерпнуть уверенность, что, подобно действию и противодействию, силы при замыкании и размыкании контакта равны по величине, но противоположны по направлению (1091). Следовательно, если явление при замыкании контакта выражается лишь в задержке тока в первый момент его существования, то по своей величине эта задержка должна быть эквивалентна тому значительному усилению того же тока, которое происходит в момент размыкания контакта.

1107. Значит, здесь обстоятельства таковы, что напряжение и количество электричества, проходящего в токе, в момент возникновения или усиления тока меньше, а в момент его ослабления или прекращения — больше, чем они бы были, если бы возникающее в этот момент индуктивное действие не имело места, или иначе: чем напряжение и количество электричества в первичном проводе, несущем ток, если бы индуктивное действие перенести из этого провода в соседний (1090).

1108. Судя по той легкости, с какой индуктивные действия передаются соседним проводам, и по производимым действиям вообще, можно думать, что индуктивные силы — поперечны, т. е. что они проявляются в направлении, перпендикулярном направлению производящего и производимого токов; повидимому, они в точности могут быть представлены магнитными кривыми и находятся в тесной связи с магнитными силами, а, может быть, и тождественны с ними.

1109. Не подлежит сомнению, что ток в одной части провода может путем индукции действовать на другие части *того*

же самого провода, находящиеся рядом, т. е. расположенные в той же вертикальной плоскости (74) или несколько наклонные к нему (1112), точно так же, как он может действовать, создавая ток в соседнем проводе или в соседнем витке того же провода. Именно это и создает впечатление, что ток действует на *самого себя*; однако из всех опытов и по аналогии следует, что элементы (если так можно выразиться) токов не могут действовать на самих себя и тем вызывать рассматриваемое явление, а производят его таким способом, что возбуждают ток в расположенном рядом проводящем веществе.

1110. Некоторые выражения, которыми я пользовался, могут создать впечатление, что по существу индуктивное действие представляет собой действие одного тока на другой или одного элемента тока на другой элемент того же тока. Чтобы не дать повода к подобным заключениям, я должен пояснить свою мысль более определенно. Если взять замкнутый на себя провод, то мы можем возбудить в нем ток, который будет проходить по цепи кругом, не увеличивая электричества, которое находилось в проводе ранее. Насколько можно судить, электричество, которое проявляется в форме тока, есть то же самое электричество, которое до этого было в проводе неподвижно; и хотя мы до сих пор не в состоянии указать, в чем состоит существенное различие между состояниями электричества в такие моменты, но распознать эти два состояния легко. Когда ток действует путем индукции на рядом с ним расположенное проводящее вещество, то, вероятно, он действует на имеющееся в этом проводящем веществе электричество, — все равно, находится ли последнее в состоянии *тока* или же оно *неподвижно*; в первом случае он усиливает или ослабляет ток, смотря по его направлению; во втором — создает ток; величина же индуктивного действия в обоих случаях, вероятно, одинакова. При том ограничительном смысле, в котором в настоящее время понимается термин «ток» (283, 517, 667), было бы, следовательно, ошибкой утверждать, что индуктивное действие обусловлено взаимодействием двух или большего числа токов.

1111. Некоторые явления, как, например, явления в спиральных (1066) с одинаково или противоположно направленными токами (1097, 1098), создание токов в лежащих рядом проводах (1090), указывали, повидимому, что ток может с большей легкостью вызывать индуктивное действие в соседнем проводе, чем в проводе, несущем его; а в таком случае можно было бы ожидать, что замена одного провода пучком проводов привела бы к иным результатам. Поэтому были произведены следующие опыты. Медный провод диаметром в одну двадцать третью дюйма был разрезан на куски длиной в пять футов каждый; по шести таких отрезков было сложено пучком, а противоположные концы их были припаяны к двум медным стержням. Этим приспособлением можно было пользоваться как разряжающим проводом, но основной ток мог подразделяться на шесть параллельных потоков, которые можно было тесно сжать или же, раздвигая провода, более или менее изъять один из-под влияния другого. Мне кажется, что когда при размыкании контакта шесть проводов были сближены, искра получалась несколько ярче, чем когда они были раздвинуты.

1112. Другой пучок, содержащий двадцать таких проводов, имел в длину восемнадцать футов; концевые стержни были диаметром в одну пятую дюйма и длиной шесть дюймов каждый. Этот пучок сравнивался с куском медного провода в девятнадцать дюймов длиной и одну пятую дюйма диаметром. При размыкании контакта, пучок давал более слабую искру, чем провод, даже тогда, когда отдельные жилы были связаны вплотную шнуром; при их раздвижении пучок давал еще более слабую искру. В общем, однако, ослабление действия было не так велико, как я ожидал, и я сомневаюсь, чтобы эти результаты можно было считать доказательством того, что приведшее к этим опытам предположение справедливо.

1113. Повидимому, индуктивная сила, с которой два элемента одного и того же тока (1109, 1110) действуют друг на друга, уменьшается по мере того, как соединяющая их прямая наклоняется к направлению тока, и исчезает совсем, когда она становится параллельна току. Некоторые результаты заставляют

меня подозревать, что в этом случае она превращается даже в отмеченную Ампером ¹ отталкивательную силу, которая является причиной описанного сэром Гемфри Дэви ² образования бугорков на ртути, и которая, с другой стороны, связана, вероятно, со свойством интенсивности.

1114. Несмотря на то, что рассматриваемые явления происходят только при замыкании и размыкании контакта (в промежутках ток, повидимому, не испытывает никаких сторонних влияний), я не могу противиться впечатлению, что и во время длительного существования тока (60, 242) имеют место соответствующие связанные с этим явления, производимые действием элементов электрического тока в поперечном направлении. В самом деле, действие такого рода проявляется в магнитных отношениях между частями тока. Но если допустить, как это мы сейчас сделаем, что такие поразительные и различные результаты в момент возникновения и прекращения тока создаются магнитными силами, то все же, повидимому, остается в этой цепи явлений одно звено, одно колесико в физическом механизме этого действия, которое до сих пор нам неизвестно. Если мы будем рассматривать электричество и магнетизм как следствия двух сил некоторого физического агента или особого состояния материи, проявляющегося в определенных, перпендикулярных друг другу направлениях, то, как мне кажется, мы должны допустить, что два этих состояния, или силы, в большей или меньшей степени могут переходить друг в друга; это значило бы, что отношение между электрической и магнитной силами, которыми обладает данный элемент, не остается постоянным, но что посредством некоторого, в настоящий момент нам неизвестного процесса или посредством изменения условий эти две силы могут в некоторой степени переходить одна в другую. Как же иначе ток данного напряжения и количества был бы в состоянии поддерживать своим прямым действием такое состояние, которое, если дать ему возможность проявлять

¹ Recueil d'Observations Electro-Dynamiques, стр. 285.

² Philosophical Transactions, 1823, стр. 155.

противодействие (при прекращении первоначального тока), создает второй ток, обладающий значительно более высоким напряжением и количеством, чем первоначальный ток. Это явление не может быть следствием прямого противодействия электрической силы, а если оно обусловлено превращением электрической силы в магнитную и обратно, то это указывает, что в отношении *того агента* в проводящем проводе, который является непосредственной причиной этих сил, последние различаются чем-то большим, чем просто направлением.

1115. Что касается того, что в различных случаях при замыкании и размыкании контакта проявляются противоположные действия, разделенные промежуточным и безразличным состоянием, то это разделение, вероятно, является только кажущимся, а не действительным. Если проводимость электричества осуществляется посредством колебаний (283) или каким-либо другим способом, при котором последовательно и с большой быстротой возбуждаются и нейтрализуются противоположные силы, то мы могли бы ожидать особого и противоположного по направлению развития силы в начале и в конце тех периодов, в течение которых длится проводящее действие (это до некоторой степени напоминает цвета, получающиеся по краям не вполне развитого солнечного спектра), а промежуточные действия, хотя их нельзя обнаружить тем же путем, могут оказаться весьма существенными и, может быть, и составляют самую сущность проводимости. Именно в силу подобных взглядов и соображений, которые, мне представляется, находятся в связи с самыми основными законами и данными учения об электричестве, я решил заняться более подробно, чем бы это сделал при других обстоятельствах, экспериментальным изучением описанных в настоящем докладе явлений.

1116. Прежде чем кончить, я хочу вкратце заметить, что точно такого же рода явления получались, когда я вместо единственной пары (1052) пользовался для опытов гальванической батареей из пятидесяти пар пластин. В силу приведенных выше причин искра при замыкании контакта была очень слаба

(1101, 1107), а искра при размыкании контакта — очень сильна и ярка. Характер *длительного* разряда тока, повидимому, не менялся, все равно, какой провод служил для замыкания цепи: короткий провод или мощный электромагнит.

1117. Получающиеся в момент возникновения и прекращения тока явления (которые при получении тока от гальванического прибора разделены некоторым промежутком времени) должны возникать одновременно, когда через длинный провод проходит обыкновенный электрический разряд. Полностью ли эти явления нейтрализуют друг друга в том случае, когда происходят в точности одновременно, или же они сообщают этому разряду некоторые особые свойства, — этот вопрос требует дальнейшего изучения, но весьма вероятно, что особый характер и резкость извлекаемых из длинного провода искр зависят отчасти от повышения напряжения, которое имеет место к концу разряда вследствие происходящего в этот момент индуктивного действия.

1118. Важное значение этих принципов действия с очевидностью обнаруживается в спиральном проводе магнитоэлектрических машин (как, например, прекрасного прибора г. Секстона) (Saxton). Конструкция этого прибора такова, что ток в течение первых моментов своего образования может проходить по замкнутой металлической цепи значительной длины; сила его постепенно возрастает, а затем ток внезапно прекращается вследствие размыкания металлической цепи; таким образом проходящему в этот момент электричеству *посредством индукции* сообщается высокое напряжение (1064, 1060). На это напряжение указывают не только яркость искры и сила удара, но и обнаруживаемая опытом необходимость хорошо изолировать витки спирали, в которой образуется ток; сила, которую указанное напряжение придает в эти моменты току, значительно превосходит ту, которую мог бы создать упомянутый прибор, если бы тот принцип, который составляет предмет настоящего доклада, не играл в нем некоторой роли.

Королевский институт,
8 декабря 1834 г.

ДЕСЯТАЯ СЕРИЯ

Раздел 16. О гальванической батарее усовершенствованного типа. Раздел 17. Некоторые практические указания по вопросу о конструкции гальванической батареи и пользовании ею.

Поступило 16 июня. Доложено 18 июня 1835 г.

1119. Недавно мне пришлось изучать гальваническую батарею практически, с целью усовершенствовать ее конструкцию и употребление, и хотя я далек от того, чтобы приписывать полученным мною выводам значение, равносильное открытию какого-либо нового закона или принципа, но, тем не менее, считаю, что они имеют известную цену, а потому краткое изложение их в связи с предшествующими докладами заслужит одобрение Королевского общества.

РАЗДЕЛ 16

О гальванической батарее усовершенствованного типа

1120. В простой гальванической цепи (то же справедливо и для батареи) химические силы, которые, проявляя свое действие, сообщают прибору его силу, распадаются, вообще говоря, на две части: проявление одной части ограничено одним местом, тогда как вторая передается по всей цепи (947, 996); последняя образует электрический ток прибора; первая, наоборот, целиком теряется или растрачивается. Отношение между этими двумя частями силы может под влиянием обстоятельств изменяться в широких пределах: так, в разомкнутой батарее, *все дей-*

ствие происходит в одном месте; в батарее обыкновенной конструкции при соединении друг с другом ее концов *значительная часть* сил находится в обращении, а в описанной мною (1010) усовершенствованной батарее *все* химические силы находятся в обращении и превращаются в электричество. Отношение между местными и передаваемым при заданных условиях действиями можно установить по количеству цинка, растворяющегося на пластинах (865, 1126) и по величине производимого в вольт-электрометре (711, 1126) или в другом приборе разложения; таким путем можно точно определить отдачу гальванического прибора и потерю химической силы у его цинковых пластин.

1121. Составим гальваническую батарею из цинка и платины, и пусть последний металл окружает первый, как в модели с двойными медными пластинками; для возбуждения всей системы будем пользоваться разбавленной серной кислотой; тогда между смежными платиновыми поверхностями не потребуется никаких изолирующих перегородок из стекла, фарфора или воздуха; и если только они металлически не соприкасаются, то та же самая кислота, которая, находясь между цинком и платиной, вызывает сильное действие батареи, не произведет разряда электричества между двумя поверхностями платины и не вызовет ослабления силы всей батареи. Это является необходимым следствием того сопротивления прохождению тока, которое, как я показал выше, возникает в месте разложения (1007, 1011), ибо это сопротивление вполне способно приостановить ток, а потому действует как изоляция для электричества смежных пластин, поскольку напряжение тока, стремящегося пройти между ними, никогда не бывает выше того, которое производится действием одной пары.

1122. Если металлом, окружающим цинк, будет медь (1045), а кислота будет азотно-серная (1020), то между смежными медными пластинами имеет место слабый разряд, если только не имеется другого канала, через который могут обращаться силы; если же такой канал имеется, указанный обратный разряд

крайне ослабляется в соответствии с законами, изложенными в восьмой серии настоящих исследований.

1123. Исходя из этих принципов, я пришел к конструкции гальванической батареи, в которой медные пластины, окружающие обе поверхности цинка, как в конструкции Волластона, отделены друг от друга исключительно промежуточным слоем бумаги или еще как-нибудь иначе, чтобы только предупредить металлический контакт; таким образом получается компактный, мощный, дешевый и удобный прибор. Однако, ознакомившись с тем, что было сделано ранее, я обнаружил, что эта новая батарея во всех существенных отношениях совпадает с изобретенной и описанной профессором Пенсильванского университета д-ром Гейром, я с большим удовольствием пользуясь случаем указать это.

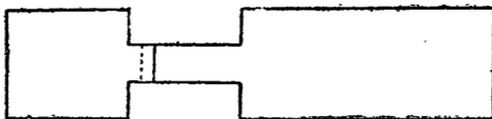


Рис. 106.

1124. Д-р Гейр подробно описал свою батарею.¹ Смежные медные пластины отделяются в ней друг от друга с помощью тонких деревянных щепочек, а чтобы налить кислоту на пластины или слить ее с них, достаточно повернуть на четверть оборота ось, к которой прикреплены как ящик, содержащий пластины, так и второй ящик, куда собирается жидкость. Я нашел эту систему самой удобной из всех и поэтому на ней остановился. Цинковые пластины я вырезал из листового металла; к ним были припаяны медные пластины, после чего они получили вид, изображенный на рис. 106. Затем я согнул их по шаблону, причем им был придан тот вид, который изображен на

¹ Philosophical Magazine, 1824, LXIII, стр. 241 или Silliman's Journal, VII. См. также предыдущую статью д-ра Гейра: Annals of Philosophy, 1821, I, стр. 329, в которой он указывает, что изоляция между медными пластинами не нужна.

рис. 107. Они были вложены в изготовленный для них деревянный ящик, в том порядке, который мы видим на рис. 108;¹ для того чтобы цинковые пластины не касались медных, между ними были проложены куски пробки, а чтобы помешать соприкосновению смежных поверхностей меди, между ними было проложено по одному или по два слоя картона. Это устройство оказалось



Рис. 107.

настолько удобным, что батарею в сорок пар пластин можно было разобрать в течение пяти минут и собрать заново в полчаса; длина всей системы не превосходила пятнадцати дюймов.

1125. Такая батарея в сорок пар пластин, площадью по три квадратных дюйма каждая, сравнивалась в отношении накаливания платиновой проволоки, разряда между остриями из древесного угля, удара на человеческое тело и т. д. с батареей в сорок пар четырехдюймовых пластин; в этой батарее медные пластины были двойные; пары были помещены в фарфоровые сосуды, подразделенные на изолированные элементы; крепость кислоты, служившей для возбуждения, в обоих случаях была одна и та же. В отношении всех этих действий первая батарея оказалась вполне одинаковой с последней. При сравнении еще одной батареи новой конструкции, содержавшей двадцать пар четырехдюймовых пластин, и батареи из двадцати пар четырехдюймовых пластин в фарфоровых сосудах с кислотой той же крепости, новая батарея превосходила старую в отношении указанных выше действий, а особенно в отношении накаливания проволоки.

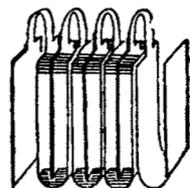


Рис. 108.

1126. В этих опытах сила новой батареи ослабевала значительно быстрее, чем в старой конструкции, и это являлось необходимым следствием того, что для ее возбуждения имелось меньше кислоты; количество последней в случае сорока пар пластин новой конструкции составляло всего одну седьмую

¹ Бумажки между медными пластинами на рисунке для ясности опущены,

часть того, которое служило для сорока пар пластин в фарфоровых сосудах. Поэтому для сравнения разлагающей способности этих двух гальванических батарей и для получения точных данных об их относительных достоинствах были проделаны опыты следующего рода. Батареи заливались известным количеством кислоты определенной крепости; электрический ток пропусклся через вольта-электрометр (711), снабженный электродами длиной в 4 дюйма и шириной в 2,3 дюйма и представлявший току возможно меньшее сопротивление; выделяемые газы собирались и измерялись для определения количества разложенной воды. Затем вся работавшая кислота перемещивалась, и определенная часть ее подвергалась анализу осаждением и кипячением с избытком карбоната натра; осадок хорошо отмывался, сушился, прокаливался и взвешивался. Таким путем было установлено количество окисленного и растворенного кислотой металла; можно было вычислить количество металла, растворившегося с каждой или со всех цинковых пластин, и его можно было сравнить с количеством разложенной в вольта-электрометре воды. Для сравнимости полученных данных я сделал пересчет таким образом, чтобы выразить в эквивалентах цинка потери на пластинах на один эквивалент воды, разложенной в вольта-электрометре; эквивалент воды я принимал равным 9, а цинка — 32,5 и считал, что 100 кубических дюймов смеси кислорода и водорода, собранных в пневматической ванне, получается от разложения 12,68 грана воды.

1127. В этих опытах я испытывал три кислоты: серную, азотную и соляную. Серная кислота представляла собой крепкое купоросное масло; один кубический дюйм ее был эквивалентен 486 грамам мрамора. Азотная кислота была почти совершенно чистая; один кубический дюйм ее растворял 150 гран мрамора. Соляная кислота также была почти совершенно чистая, и один кубический дюйм ее растворял 108 гран мрамора. Эти кислоты разбавлялись всегда водой по объему; единицей объема был кубический дюйм.

1128. Была приготовлена кислота, состоящая из 200 частей воды, $4\frac{1}{2}$ частей серной кислоты и 4 частей азотной; этой кисло-

той были заряжены как моя батарея, содержащая сорок пар трехдюймовых пластин, так и четыре соединенные последовательно батареи в фарфоровых сосудах, которые содержали по десять пар четырехдюймовых пластин (медные были двойные). Эти две батареи работали попеременно, и каждой давали действовать минут двадцать — тридцать, пока кислота не истощалась почти совершенно; в течение всего этого времени тщательно поддерживалось соединение с вольта-электрометром, а кислота в сосудах время от времени перемешивалась. При таких условиях первая батарея работала настолько хорошо, что на каждый эквивалент разложенной в вольта-электрометре воды с отдельной пластины растворялось всего от 2 до 2,5 эквивалента цинка. Среднее из четырех опытов дало 2,21 эквивалента на каждую пластину, или 88,4 на всю батарею. В батарее с фарфоровыми сосудами расход был равен 3,54 эквивалента на каждую пластину, или 141,6 на всю батарею. В совершенной гальванической батарее из сорока пар пластин (991, 1001) расход был бы равен одному эквиваленту на каждую цинковую пластину, или сорока эквивалентам на всю систему.

1129. Подобные же опыты были произведены с двумя гальваническими батареями, содержащими одна двадцать пар расположенных как мною описано (1124) четырехдюймовых пластин, а другая — двадцать пар четырехдюймовых пластин в фарфоровых сосудах. Среднее из пяти опытов дало для первой расход в 3,7 эквивалента цинка на каждую пластину, или 74 на всю батарею; для последней среднее из трех опытов было равно 5,5 эквивалента на каждую пластину, или 110 на всю систему; при выводе этого заключения не были приняты во внимание два опыта, сильно говоривших против батарей в фарфоровых сосудах; было принято, что при них случайно проявилось какое-то неизвестное вредное влияние. Во всех этих опытах из предосторожности не сравнивались друг с другом *новые* и *старые* пластины, что могло бы внести серьезные ошибки в наши заключения (1146).

1130. При работе десяти пар [пластин] новой системы расход цинка на каждую пластину был равен 6,76 эквивалента,

или 67,6 на всю батарею. При десяти парах обыкновенной конструкции в фарфоровом сосуде количество окисленного цинка в среднем равнялось 15,5 эквивалента на каждую пластину, или 155 на всю батарею.

1131. Таким образом не может быть никакого сомнения относительно равноценности и даже значительного превосходства гальванической батареи этого типа над самыми лучшими из бывших до сих пор в употреблении, а именно над батареей с двойными медными пластинками, с изолированными отдельными элементами. Можно, следовательно, обходиться без изоляции медных пластин, и это-то обстоятельство, главным образом, и позволяет делать те различные изменения в конструкции батареи, которые придают ей ее практические преимущества.

1132. Преимущества этой конструкции батареи весьма многочисленны и велики: I. Она чрезвычайно компактна, ибо ящик, потребный для 100 пар пластин, будет длиной не более трех футов. II. По плану д-ра Гейра ящик вращается вокруг медных осей, опирающихся на медные подшипники; последние представляют собой *неподвижные* зажимы; я нашел, что очень удобно соединить их с двумя чашечками со ртутью, укрепленными спереди на стойке прибора. Эти неподвижные зажимы представляют большое преимущество, так как посредством их можно производить соединения между предназначенным для употребления прибором и батареей *раньше*, чем последняя приведена в действие. III. Батарея приводится в готовность в один момент; одной кружки разбавленной кислоты достаточно для зарядки 100 пар четырехдюймовых пластин. IV. Батарея начинает работать при наклоне ящика на четверть поворота, и при этом получается то большое преимущество, что для опыта не пропадает действие *первого контакта* между цинком и кислотой, которое в два, а иногда даже в три раза превосходит то действие, которое батарея способна давать одну или две минуты спустя (1036, 1150). V. По окончании опыта кислоту можно сразу вылить из пространства между пластинами, так что батарея никогда не расходуется в разомкнутом состоянии; кислота без

необходимости не истощается; цинк бесполезно не тратится; и мало того, что мы избегаем этих неприятностей, кислота перемешивается и становится однородной, что сильно и хорошо отражается на результатах (1039); при переходе же к следующему опыту снова получается выгодное действие *первого контакта*. VI. Экономия цинка очень велика. Дело не только в том, что при своем действии цинк совершает больше гальванической работы (1128, 1129), но и в том, что предотвращается *всякое* разрушение его в период между опытами, что случается в батареях обыкновенных типов. Эта экономия настолько велика, что, по моей оценке, полезная отдача цинка при новой конструкции батареи в три раза больше, чем при обыкновенной конструкции. VII. Значение этой экономии заключается не только в том, что сберегается стоимость цинка, но и в том, что батарея становится значительно легче и удобнее в обходе, а также и в том, что при сборке батареи поверхности цинковых и медных пластин могут быть значительно сильнее сближены, и можно оставлять их в таком состоянии до тех пор, пока они не израсходуются; последнее является весьма важным преимуществом (1148). VIII. Далее, так как вследствие экономии металла работу более толстых могут выполнять более тонкие пластины, то можно брать для устройства батарей листовой цинк; а я нашел, что листовой цинк в действии превосходит литой; это превосходство я склонен приписывать большей его чистоте (1144). IX. Еще одно преимущество заключается в экономии потребляемой кислоты; эта экономия пропорциональна уменьшению количества растворяющегося цинка. X. Кислота, кроме того, легче используется до конца, а количество ее так незначительно, что никогда не встречается оснований к тому, чтобы вторично пользоваться старой кислотой. Отработанная кислота, стоящая без употребления, часто растворяет частицы меди, которая содержится в перемешанных с кислотой темных хлопьях, получающихся из цинка; всякое же количество растворенной в кислоте меди приносит значительный вред, так как вследствие *местного* взаимодействия кислоты и цинка медь

обнаруживает стремление осаждаться на последнем, чем уменьшается его гальваническая отдача (1145). XI. Если для зарядки пользоваться надлежащей смесью азотной и серной кислот (1139), газа в батарее не выделяется, так что батарею, состоящую из нескольких сот пар пластин, можно без всякого неудобства ставить поблизости от экспериментатора. XII. Если в течение ряда опытов кислота истощится, то ее без всякого труда можно вылить и заменить другой, а по окончании опытов пластины легко промыть, что тоже представляется большим преимуществом. И мне кажется, что батарея д-ра Гейра не приносит в жертву друг другу, смотря по обстоятельствам, то удобство, то силу, то экономию, чтобы достигнуть желаемой цели, а дает все эти преимущества сразу.

1133. Имеются, однако, и некоторые недостатки, на исправление которых у меня до сих пор не было времени, хотя я и надеюсь; что в конце концов я с ними справлюсь. Один из них заключается в чрезвычайной трудности изготовить деревянный ящик, который бы был длительно водонепроницаем при тех сменах смачивания и высушивания, которым подвергается гальванический прибор. Для устранения этого недостатка г-н Ньюмен (Newman) в настоящее время занят получением фарфоровых сосудов. Другим недостатком является осаждение меди на цинковых пластинах. Я думаю, что оно обусловлено преимущественно тем обстоятельством, что при опоражнивании батареи слои бумаги между медными пластинами удерживают кислоту, и что эта кислота, действуя понемногу на медь, образует соль, которая постепенно смешивается со следующей порцией кислоты и восстанавливается на цинковой пластине в результате местного действия (1120); сила всей батареи тогда уменьшается. Я рассчитываю, что, пользуясь стеклянными или деревянными прокладками для отделения по краям медных пластин, можно в достаточной мере предотвратить их соприкосновение, а пространство между ними будет при этом настолько доступно, что кислоту можно будет выливать и отмывать, и таким образом по окончании опытов, для которых мы пользовались батареей, удалять эту кислоту *отвсюду*.

1134. Существенное превосходство батарей, которые я соорудил по этому плану, прежде всего и главным образом обусловлено, я полагаю, более тесной близостью поверхностей цинка и меди: в моих батареях они отстоят друг от друга всего на одну десятую дюйма (1148), а затем — лучшим качеством листового цинка, по сравнению с литым, которым пользуются для устройства обыкновенного элемента. Изоляция между смежными поверхностями меди, конечно, не может быть недостатком, но я не нахожу, чтобы в ней заключалось какое-либо преимущество; и действительно, иногда я пользовался как при сорока парах трехдюймовых, так и при двадцати парах четырехдюймовых пластин тщательно провощенной бумажкой¹ таких размеров, что при загибании по краям они находили друг на друга и образовали элементы, изолированные так же хорошо, как в фарфоровых сосудах; но заметного преимущества в отношении химического действия я при этом не получал.

1135. Так как принципиально должна иметь место утечка части электричества от краев цинковых и медных пластин к стенкам ящика, то я считал бы полезным (и имею в виду сделать это) построить батареи с пластиной или пластинами из кронгласа по стенам ящика; на дне таковых не требуется, хотя покрытие стеклом днища и краев было бы не вредно. Укреплять пластины не надо, достаточно просто установить их на своих местах; не требуется также, чтобы они были целиком из одного куска.

РАЗДЕЛ 17

Некоторые практические указания по вопросу о конструкции гальванической батареи (1034 и т. д.) и пользовании ею

1136. Каждый ученый электрохимик знаком с практическими результатами, полученными с гальванической батареей гг. Гей-Люссаком и Тенаром и изложенными на первых сорока пяти

¹ Один лист изготовленной таким образом бумаги мог изолировать электричество в сорок пар пластин.

страницах их «Физико-химических исследований». Хотя последующие результаты имеют в основном тот же характер, тем не менее, достаточным оправданием для них служат успехи, достигнутые в этой отрасли знания за последние годы, открытие закона об определенности действия электричества и более точный и научный способ оценки результатов по числу затраченных эквивалентов цинка.

1137. Природа и крепость кислоты. Моя батарея, состоявшая из сорока пар трехдюймовых пластин, заряжалась кислотой, состоявшей из 200 частей воды и 9 частей купоросного масла. Если взять среднее из данных всех опытов, каждая пластина на один эквивалент разложенной в вольт-электрометре воды теряла 4,66 эквивалента цинка, или 186,4 эквивалента на всю батарею. При зарядке смесью из 200 частей воды и 16 частей соляной кислоты каждая пластина теряла 3,8 эквивалента цинка на эквивалент разложенной воды, т. е. вся батарея теряла 152 эквивалента цинка. Будучи заряжена смесью 200 частей воды с 8 частями азотной кислоты, каждая пластина теряла на один эквивалент разложенной воды 1,85 эквивалента цинка, или 74,16 эквивалента на всю батарею. Серная и соляная кислоты выделяли у пластин батареи много водорода; азотная кислота газа совсем не выделяла. Относительная крепость исходных кислот была дана выше (1127), но различие в этом отношении не вызывает существенных различий в результатах, если выражать последние в эквивалентах (1140):

1138. Таким образом наилучшей для этой цели оказывается азотная кислота. Ее превосходство основано, повидимому, на том, что она, по причинам, разъясненным выше (905, 973, 1022), способствует электролизу жидкости в элементах батареи, а потому содействует и переносу электричества и созданию способных к передаче по цепи сил (1120).

1139. Можно было бы, следовательно, ожидать, что добавление азотной кислоты улучшит серную и соляную кислоты. Действительно, когда та же самая батарея заряжалась смесью из 200 частей воды, 9 частей купоросного масла и 4 частей азотной

кислоты, то расход цинка на каждую пластину был равен 2,786, а на всю батарею — 111,5 эквивалента. Когда кислота состояла из 200 частей воды, 9 частей купоросного масла и 8 частей азотной кислоты, то расход на каждую пластину составлял 2,26, а на всю батарею — 90,4 эквивалента. Когда батарея была заряжена смесью из 200 частей воды, 16 частей соляной и 6 частей азотной кислоты, то расход на одну пластину составлял 2,11 эквивалента, или 8,44 эквивалента на всю батарею. Подобные же результаты получались с моей батареей, состоявшей из двадцати пар четырехдюймовых пластин (1129). Отсюда очевидно, что добавление азотной кислоты к серной весьма полезно, а поэтому смесь, которую я с этого времени употреблял для обычных опытов, составлялась обыкновенно из 200 частей воды, $4\frac{1}{2}$ частей купоросного масла и 4 частей азотной кислоты.

1140. Не следует полагать, что вышеуказанные различия происходили от разной крепости кислот, ибо я нашел, что в известных пределах электролитические действия почти пропорциональны крепости кислот, так что выражение для силы, данное в эквивалентах, остается почти постоянным. Так, когда я заряжал батарею смесью из 200 частей воды и 8 частей азотной кислоты, каждая пластина теряла 1,854 эквивалента цинка. Когда жидкость состояла из 200 частей воды и 16 частей азотной кислоты, потеря на одну пластину составляла 1,82 эквивалента. Когда она состояла из 200 частей воды и 32 частей азотной кислоты потеря была равна 2,1 эквивалента. Здесь расхождения не превосходят тех, которые происходят от неизбежных неправильностей, зависящих не от крепости кислоты, а от других причин.

1141. Далее, когда я брал смесь из 200 частей воды, $4\frac{1}{2}$ частей купоросного масла и 4 частей азотной кислоты, то каждая цинковая пластина теряла 2,16 эквивалента, а когда та же самая батарея была заряжена составом из 200 частей воды, 9 частей купоросного масла и 8 частей кислоты, то каждая пластина теряла 2,26 эквивалента.

1142. Едва ли нужно говорить, что при правильной работе гальванической батареи медь не растворяется. Я обнаружил,

что при пользовании азотной кислотой — все равно, чистой или в смеси с серной — в элементах образуется много аммиака. Он образуется частью в качестве вторичного продукта разложения у катодов (663) различных порций жидкости, которая является необходимым в элементе электролитом.

1143. О д н о р о д н о с т ь з а р я д н о й ж и д к о с т и . Как я показал выше на опыте (1042 и т. д.), этот пункт является весьма существенным. Отсюда одно из значительных преимуществ механического устройства батареи д-ра Гейра.

1144. Ч и с т о т а ц и н к а . Если бы можно было получить чистый цинк, то это дало бы большие выгоды при постройке гальванического прибора (998). Обыкновенно у цинка при погружении его в разбавленную серную кислоту на поверхности остается в виде корки большее или меньшее количество нерастворимого вещества, содержащего разные металлы, как, например, медь, свинец, цинк, железо, кадмий и т. д., в металлическом состоянии. Разряжая часть способной передаваться по цепи силы, такие частицы придают ей по отношению ко всей батарее местный характер, и таким образом ослабляют действия. Как на признак более или менее совершенного действия батареи я могу указать на то, что от цинковых пластин не должен подниматься газ. Чем больше газа получается у этих поверхностей, тем сильнее местное действие, и тем меньше та сила, которая способна передвигаться по цепи. Оседающая корка неудобна еще тем, что предотвращает перемещение и возобновление жидкости на поверхности цинка. Наилучшим цинком является такой, который, растворяясь в разбавленной кислоте без остатка, растворяется при этом наиболее медленно; особенно следует избегать цинка, содержащего медь. Вообще говоря, я нашел, что наиболее чистым является листовой цинк льежский или фирмы Моссельман, и превосходство новой батареи (1134) частью следует приписать тому обстоятельству, что при ее устройстве я пользовался этим цинком.

1145. З а г р я з н е н и е ц и н к о в ы х п л а с т и н . После употребления пластины батареи следует очищать от металли-

ческого порошка на их поверхности, особенно если ими пользуются для установления законов действия самой батареи. В описанных опытах с батареями в фарфоровых сосудах (1125 и т. д.) эта предосторожность принималась всегда. Если среди большого числа чистых пластин примешается несколько загрязненных, то действие различных элементов делается неправильным, и сила, передаваемая по цепи, соответственно уменьшается, тогда как местная бесполезная сила возрастает. Для заливки батареи не следует пользоваться старой жидкостью, содержащей медь.

1146. Новые и старые пластины. Я нашел, что если в гальванических батареях пластины новые, они действуют гораздо сильнее, чем когда они уже служили два или три раза; нельзя поэтому сравнивать друг с другом новую и бывшую в употреблении батареи, и даже одну и ту же батарею при первом ее употреблении и после того, как она служила много раз. Моя батарея из двадцати пар четырехдюймовых пластин, залитая кислотой, состоящей из 200 частей воды, $4\frac{1}{2}$ частей купоросного масла и 4 частей азотной кислоты, при первом пользовании ею давала потерю в 2,32 эквивалента на пластину. При употреблении ее с той же самой возбуждающей жидкостью в четвертый раз потеря составляла от 3,26 до 4,47 эквивалента на пластину; среднее было равно 3,7 эквивалента. При первом употреблении сорока пар пластин (1124) потеря на каждую пластину была равна всего 1,65 эквивалента, а в дальнейшем потеря достигла 2,16; 2,17 и 2,52. Когда двадцать пар четырехдюймовых пластин в фарфоровых сосудах работали в первый раз, то было израсходовано всего 3,7 эквивалента на пластину, но после этого потери составляли 5,25; 5,36 и 5,9 эквивалента. Между тем, во всех этих случаях цинковые пластины перед каждым испытанием силы хорошо очищались от приставшей к ним меди и т. п.

1147. При прокатанном цинке уменьшение силы вскоре становилось как бы постоянным, т. е. не шло дальше. При литых же цинковых пластинах, которые имелись в батареях с фар-

форовыми сосудами, оно, повидимому, продолжалось до тех пор, пока, наконец, при той же кислоте каждая пластина не стала расходовать на то же количество действия вдвое больше цинка, чем вначале. Впрочем, эти батареи обнаруживали такие неправильности, что я не всегда мог определить те условия, которые влияют на величину электролитического действия.

1148. Близость меди и цинка. Общеизвестно значение этого пункта для конструкции гальванических устройств и то, что когда поверхности цинка и меди находятся близко друг к другу, получается более высокая сила в смысле непосредственного действия, чем когда они раздвинуты дальше. Я нахожу, что сила больше не только в первый момент, но значительно возрастает по сравнению с общей суммой химического действия у пластин также и общее количество силы, которую можно передать по цепи. Причина этого выигрыша вполне очевидна. Все, что стремится задержать обращение способной передаваться на расстояние силы (т. е. электричества), уменьшает относительное количество этой силы и увеличивает количество той, которая имеет местный характер (996, 1120). Но жидкость в элементах обладает этим задерживающим свойством, и, следовательно, оказывает вредное действие в большей или меньшей степени, в зависимости от количества этой жидкости между цинковыми и медными пластинами, т. е. в зависимости от расстояния между их поверхностями. Поэтому батарея, в которой пластины расположены вдвое ближе друг от друга, чем в другой, будет производить больше силы, передаваемой в цепи, и меньше местной, чем вторая; и в силу того, что электролит в элементах может проводить ток с большей легкостью, как напряжение, так и количество электричества при данном расходе цинка возрастают. Этому обстоятельству я, главным образом, и приписываю превосходство описанной мною (1134) батареи.

1149. Превосходство двойных медных пластин над простыми также отчасти объясняется уменьшением сопротивления, оказываемого находящимся между металлами электролитом. В самом деле, площадь поперечного сечения промежуточной кис-

лоты при двойных медных пластинах становится почти вдвое больше, чем при применении простых пластин, и поэтому кислота проводит электричество лучше. Но выгода двойных медных пластин заключается главным образом в том, что они как бы удваивают (или почти удваивают) действующую поверхность цинка, ибо в батарее с простыми медными пластинами, при обычном устройстве элементов, та сторона цинка, которая не обращена к поверхности меди, почти совершенно не принимает участия в гальваническом действии; а кислота продолжает на нее действовать, и металл растворяется, производя местное действие (947, 996). Когда мы берем двойную медную пластинку, медь оказывается также и против второй поверхности цинковой пластины, и тогда значительная часть действия на последнюю превращается в силу, передаваемую по цепи; таким образом сила батареи в смысле количества электричества сильно возрастает.

1150. Первое погружение пластин. То, что при первом погружении пластин — безразлично, старые они или новые (1146), — получается сильное действие, я в другом месте приписал тому, что кислота, соприкасающаяся с цинковой пластиной (1003, 1037), не успела измениться; по мере того как кислота нейтрализуется, ее возбуждающая способность в той же мере ослабевает. Батарея конструкции д-ра Гейра обеспечивает в этом отношении значительное преимущество благодаря перемешиванию жидкости и тому, что каждый раз при употреблении батареи непосредственно после перерыва к пластинам подводится как бы свежая поверхность кислоты.

1151. Число пластин.¹ Наивыгоднейшее число пластин в батарее, предназначенной для химического разложения, почти целиком зависит от того сопротивления, которое надлежит преодолеть в месте действия; но каково бы ни было это сопротивление, существует определенное число пластин, которое является более выгодным, чем всякое иное их число, большее или меньшее. Десять пар четырехдюймовых пластин

¹ Gay-Lussac et Thénard. Recherches Physico-Chimiques, I, стр. 29.

в фарфоровом сосуде обыкновенной конструкции, действуя в вольта-электрометре (1126) на разбавленную серную кислоту с удельным весом 1,314, давали в среднем расход цинка 15,4 эквивалента на пластину, или 154 эквивалента на всю батарею. Двадцать пар таких же пластин в той же кислоте расходовало только 5,5 на пластину, или 110 эквивалентов на всю систему. Когда же действовало сорок пар таких же пластин, то расход металла был равен 3,54 эквивалента на пластину, или 141,6 на всю батарею. Таким образом в устройстве с *двадцатью* пластинами расход цинка был выгоднее, чем при установках в *десять* или *сорок* пластин.

1152. Далее, десять пар моих четырехдюймовых пластин (1129) расходовали при разложении по 6,76 эквивалента цинка, или 67,6 на все десять, тогда как двадцать пар таких же пластин, возбуждавшихся той же самой кислотой, теряли по 3,7 эквивалента каждая, или 74 эквивалента на всю батарею. В других сравнительных опытах с различным числом пар пластин десять пар трехдюймовых (1125) пластин расходовали по 3,725 эквивалента, или 37,25 на всю батарею, тогда как двадцать пар теряли по 2,53 каждая, или 50,6 всего, а сорок пар расходовали в среднем по 2,21, или в общем 88,4 эквивалента. Таким образом и в том и другом случае увеличение числа пар пластин не давало никаких преимуществ в смысле полезного создания *передаваемой по цепи химической силы* при том же *общем количестве химической силы*, действовавшей у поверхностей возбуждения (1120).

1153. Но если бы я пользовался в вольта-электрометре более слабой кислотой, т. е. худшим проводником, то число пластин, необходимых, чтобы произвести наивыгоднейшее действие, возросло бы; а если бы я взял в вольта-электрометре проводник лучше того, который имелся на самом деле, то я мог бы свести это число всего до одной пары. Так, например, это было бы, если бы для замыкания цепи я взял толстый провод (865 и т. д.). Причина этих изменений вполне очевидна, если принять во внимание, что каждая последующая пластина ничего не добавляет к тому количеству способной передаваться на рас-

стояние силы или электричества, которое приводится в движение первой пластиной; необходимо только, чтобы имелся хороший проводник; следующие пластины стремятся только повысить *напряженье* этого количества, сделать его более способным преодолевать сопротивление плохих проводников (994, 1158).

1154. *Б о л ь ш и е и л и м а л ы е п л а с т и н ы.*¹ Какими пластинами выгодно пользоваться для целей электролиза — большими или малыми, это, очевидно, зависит от той легкости, с которой может проходить способная передаваться на расстояние сила, или электричество. Если для данного частного случая известно наивыгоднейшее число пластин (1151), то более выгодным окажется добавление цинка путем увеличения *размеров* пластин, а не их *числа*. В то же время значительное увеличение размеров пластин будет до некоторой степени повышать их наивыгоднейшее число.

1155. Не следует пользоваться в одной и той же батарее большими и малыми пластинами одновременно; малые пластины причиняют потерю силы в больших, если только не возбуждать их соответственно более сильной кислотой, ибо при определенной кислоте малые пластины не могут в течение заданного времени передать такое же количество электричества, какое может выделить та же самая кислота, действуя на пластины большего размера.

1156. *О д н о в р е м е н н ы е р а з л о ж е н и я.* Когда число пластин в батарее значительно превосходит наивыгоднейшее количество (1151—1153), то можно с выгодой производить одновременно два и более разложений. Так, сорок пар пластин (1124) давали в одном вольта-электрометре 22,8 кубических дюймов газа. Будучи точно таким же образом заряжены снова, они давали в каждом из двух вольта-электрометров по 21 кубическому дюйму. В первом опыте полный расход цинка был равен 88,4 эквивалента, а во втором — всего 48,28 эквивалента на все количество воды, разложенной в обоих вольта-электрометрах.

¹ Gay-Lussac et Thénard. Recherches Physico-Chimiques, I, стр. 29.

1157. Но когда подобным же образом были испробованы двадцать пар четырехдюймовых пластин (1129), то результаты получились обратные. При одном вольта-электрометре было получено 52 кубических дюйма газа, а при двух — только по 14,6 кубического дюйма в каждом. Количество кислоты в этих двух случаях не было одинаковым, но крепость была одна и та же. Когда же эти результаты были сделаны сравнимыми путем пересчета их на эквиваленты (1126), то было обнаружено, что расход металла в первом случае был равен 74, а во втором — 97 эквивалентам на всю разложенную воду. Эти результаты зависят, конечно, от тех же самых условий торможения, сопротивления и т. п., о которых я упоминал, говоря о надлежащем числе пластин (1151).

1158. Совершенно очевидно, что способность *передачи*, или, как ее обычно называют, *проводимость* подлежащего разложению электролита и других включенных в цепь тел, должна быть, по возможности, хорошей¹ (1020, 1120). При совершенном проводнике и хорошей батарее проходит почти все электричество, т. е. химическая сила *почти целиком* становится способной передаваться по цепи даже при одной паре пластин (867). При включении в цепь непроводника никакая часть химической силы не может передаваться по цепи. При несовершенном проводнике способность передаваться по цепи приобретает большая или меньшая часть химической силы, в зависимости от того, улучшаются или ухудшаются условия, благоприятствующие передаче сил через несовершенный проводник; к этим условиям относятся действительное усиление или улучшение проводимости, увеличение размеров электродов, сближение электродов и повышение интенсивности проходящего тока.

1159. Включение обыкновенной ключевой воды вместо одного из вольта-электрометров при двадцати парах четырехдюймовых пластин (1156) создавало такое сопротивление, что по цепи

¹ Gay-Lussac et Thénard. Recherches Physico-Chimiques, I, стр. 13, 15, 22.

могло проходить менее одной пятнадцатой того количества способной передаваться силы, которое обращалось бы без него. Таким образом четырнадцать пятнадцатых имевшейся в нашем распоряжении силы батареи было уничтожено, превратившись в местную силу (о чем свидетельствовало выделение газа у цинковых пластин), хотя платиновые электроды в воде имели три дюйма в длину, почти дюйм в ширину и отстояли друг от друга не более как на четверть дюйма.

1160. На это обстоятельство, т. е. повышение проводимости, увеличение размеров электродов и на их сближение, следует обратить особое внимание в вольта-электрометрах. Причины, от которых зависит их выгода, настолько очевидны, что развивать их подробнее здесь нет надобности.

Королевский институт.

11 октября 1834 г.

ОДИННАДЦАТАЯ СЕРИЯ

Раздел 18. Об индукции. Глава I. Индукция — действие смежных частиц. Глава II. Об абсолютном заряде материи. Глава III. Электрометр и индуктивный прибор, служившие для опытов. Глава IV. Индукция по кривым линиям. Глава V. Об удельной индукции или удельной индуктивной способности. Глава VI. Общие выводы относительно природы индукции.

Поступило 30 ноября. Доложено 21 декабря 1837 г.

РАЗДЕЛ 18

Об индукции

ГЛАВА I

Индукция — действие смежных частиц

1161. Учение об электричестве находится в той стадии, когда каждый из его отделов требует экспериментального изучения, и не только для того, чтобы открывать новые явления, но, что в данный момент гораздо существеннее, и для того, чтобы развивать способы, посредством которых производятся уже известные явления, и чтобы, таким образом, более точно определять самые основы действия этой необыкновенной и универсальной силы природы. И если ученый отдается исследованиям с ревностью, но одновременно с осторожностью, сочетая опыт с аналогиями, если он с недоверием относится к своим собственным предвзятым мнениям и факт ставит выше теории, если он не слишком поспешно делает обобщения и, что самое

важное, на каждом шагу готов подвергнуть свои собственные суждения всесторонней проверке как путем рассуждения, так и путем опыта, то для такого ученого ни одна отрасль знания не представит такого прекрасного и легкого поля для открытий, как эта. Что дело обстоит так, вполне подтверждается успехами, достигнутыми в области электричества за последние тридцать лет. Химия и учение о магнетизме одно за другим признали главенствующее значение электричества, и весьма вероятно, что все явления, производимые силами неорганической материи, а, может быть, и большинство тех, которые относятся к растительной и животной жизни, окажутся в конце концов ему подчиненными.

1162. Среди различного рода действий, по которым принято подразделять учение об электричестве, нет, я полагаю, ни одного, которое превосходило бы или хотя бы было сравнимо с тем, которое было названо *индукцией*. Индукция играет самую общую роль во всех электрических явлениях, участвуя, повидимому, в каждом из них, и носит в действительности черты первейшего существенного и основного начала. Ее понимание является настолько важным, что без более глубокого понимания ее природы нельзя, мне кажется, значительно продвинуться вперед в исследовании законов электричества; каким иным путем можно надеяться понять ту гармонию или даже единство действия, которое, несомненно, управляет возбуждением электричества посредством трения, химических реакций, тепла, магнитного влияния, испарения и даже в живом организме?

1163. В течение длительных экспериментальных исследований, предпринятых мною, я постоянно приходил к одному общему выводу, а именно: о необходимости признания двух сил или двух форм или направлений силы (516, 517), при невозможности отделить друг от друга эти две силы или два электричества ни в явлениях статистического электричества, ни в явлениях тока. В связи с этим меня преследовала мысль о невозможности ни при каких пока что условиях зарядить какое-либо вещество только одним или другим родом электричества; она пробудила

во мне желание страстно искать более ясное представление, чем все мне известные, о том, каким образом электрические силы связаны с частицами вещества, особенно при индуктивных действиях, к которым, повидимому, сводятся почти все остальные действия.

1164. Когда я открыл тот общий факт, что электролиты в твердом состоянии отказываются под действием тока отдавать свои элементы, хотя в жидком состоянии они легко их отдают (380, 394, 402), я решил, что нашел путь к выяснению индуктивного действия и к возможному подчинению многих разнородных явлений одному и тому же закону. В самом деле, пусть электролитом будет вода; если покрыть ледяную пластину с обеих сторон платиновой фольгой и эти обкладки соединить с каким-нибудь непрерывно действующим источником двух электрических сил, то лед будет заряжаться подобно лейденской банке; это случай обыкновенной индукции, но тока проходить не будет. Если лед растопить, то индукция до некоторой степени упадет, так как теперь ток проходить может, но прохождение тока обусловлено *особым расположением молекул* в частицах, допускающим перенос элементов электролита в противоположных направлениях; при этом степень разряда и количество выделяющихся элементов точно пропорциональны одна другому (377, 783). Безразлично, как мы будем производить зарядку металлических обкладок: посредством мощной электрической машины, сильной и большой гальванической батареи или одной пары пластин; это не меняет самого принципа действия, а влияет лишь на степень его проявления (360). Обыкновенная индукция имеет место всегда, если электролит твердый; если же он жидкий, то возникают химическое действие и разложение, если только нет препятствующих им действий; а иногда бывает очень важно сравнивать таким образом известные действия в их крайних проявлениях, чтобы получить возможность уяснить себе природу слабой стадии какого-либо действия, которое делается достаточно заметным для нас только в более сильной своей стадии (451). Поэтому, поскольку *индукция* является, повиди-

мому, *первой* ступенью в электролитическом действии, а *разложение* — *второй* (возможность разделения этих ступеней путем сообщения электролиту твердого или жидкого состояния, находится в наших руках), поскольку природа этой индукции та же, как той, которая производится любым из обычных способов в воздухе, стекле, воске и т. п., и поскольку, наконец, все явление в электролите представляет собой, повидимому, действие частиц, приведенных в особое или поляризованное состояние, то я естественно пришел к заключению, что обыкновенная индукция сама представляет собой во всех случаях *действие смежных частиц*,¹ и что электрическое действие на расстоянии (т. е. обыкновенное индуктивное действие) происходит не иначе, как через посредство промежуточного вещества.

1165. Уважение, которое я питаю к именам Эпинуса (Epinus), Кэвэндиша, Пуассона (Poisson) и других выдающихся людей, которые, как мне кажется, все в своих теориях индукцию рассматривают, как действие на расстоянии и притом по прямым линиям, долгое время мешало мне принять только что изложенное мнение. Правда, я всегда искал возможности, чтобы доказать правильность противоположного мнения, и время от времени ставил такие опыты, которые, казалось мне, должны были попасть в цель; таково, например, исследование твердых и жидких электролитов, находящихся под действием индукции, с помощью поляризованного света (951, 955); но лишь с недавних пор, и не сразу, чрезвычайная общность вопроса побудила меня к дальнейшему расширению моих опытов и опубликованию моих взглядов. В настоящее время я полагаю, что обычная индукция во всех случаях представляет собой действие смежных частиц, заключающееся в некоторого рода полярности,

¹ Слово *смежный* (contiguous), пожалуй, является не самым лучшим из тех, которые были бы пригодны здесь и в других местах, ибо оно не совсем точно, поскольку частицы не касаются друг друга. Я вынужден был употребить его, так как оно является общепринятым и давало мне возможность ясно и легко изложить теорию. Под смежными частицами я понимаю те, которые являются ближайшими. Дек. 1838 г.

а не является действием частиц или масс на значительные расстояния. Если же это справедливо, то установление истины такого рода должно чрезвычайно сильно сказаться на наших дальнейших успехах в исследовании природы электрических сил. Тесная связь между электрической индукцией и химическим разложением, между гальваническим возбуждением и химическим действием, перенос элементов в электролите; первопричина возбуждения во всех случаях, природа и отношение между проводимостью и изолирующим действием, между прямым и поперечным или боковым действием (а в этом и заключается электричество и магнетизм), множество других более или менее непонятных в настоящее время фактов — все испытало бы влияние новых взглядов и, может быть, получило бы полное объяснение, так как было бы приведено к одному общему закону.

1166. Я искал решающего подтверждения своего взгляда не только в его согласии с известными фактами, но и в тех следствиях, которые должны проистекать из него, если он справедлив, и особенно в таких следствиях, которые не согласуются с теорией действия на расстоянии. Мне казалось, что таким следствием является то направление, в котором может происходить индуктивное действие. Если оно происходит только по прямым линиям, то это, хотя и не решающим образом, но говорило бы против моего взгляда, а если и по кривым, то это было бы естественным следствием действия смежных частиц, но было бы совершенно несовместимо, по моему мнению, с принятым в существующих теориях действием на расстоянии, которое, согласно всем известным нам фактам и аналогиям, направлено всегда по прямым линиям.

1167. Далее, если индукция представляет собой действие смежных частиц, а также является первой фазой в процессе электролиза (1164, 949), то, казалось, имеется основание ожидать, что ее отношение к различным видам вещества, через которое она действует, будет различно, и что будет существовать нечто в роде *удельной электрической индукции* для различных тел; существование такой специфической величины неоспоримо доказывало бы зависимость индукции от частиц; и хотя

в теориях Пуассона и других никакого подобного предположения не делается, я скоро усомнился в общепринятом взгляде и приложил много труда к тому, чтобы подвергнуть этот вопрос точному экспериментальному изучению.

1168. Другой неустанно меня занимавший вопрос заключался в том, имеет ли электричество реальное и независимое существование в виде жидкости или жидкостей, или же оно представляет собой лишь свойство материи, подобное тому, каким мы считаем тяготение. Если бы удалось выяснить этот вопрос в ту или иную сторону, то это было бы огромным шагом вперед в настоящем познании природы, а так как это имеет прямое и существенное значение для моих представлений, то я всегда искал опытов, которые бы могли послужить для выяснения этого важного вопроса. Я делал много попыток доказать раздельное от материи существование электричества, пробуя сообщать какому-либо одному веществу независимый и только положительный или только отрицательный заряд. Все подобные попытки потерпели полную неудачу, какое я ни брал вещество и каким способом возбуждения или выделения электричества я ни пользовался. Вот эти неудачи и побудили меня рассматривать индукцию как действие частиц вещества, обладающих каждая *обеими* силами, присутствующими в совершенно равных количествах. По этим и другим причинам мне кажется желательным поставить замечания об абсолютном заряде материи первыми в ряду доказательств и рассуждений, которые я собираюсь привести в пользу моей точки зрения, что электрическая индукция есть действие смежных частиц изолирующей среды, или диэлектрика.¹

ГЛАВА II

Об абсолютном заряде материи

1169. Можно ли проводящее или непроводящее вещество зарядить явно или неявно, в какой то бы ни было степени, одной электрической силой, без участия другой?

¹ Словом *диэлектрик* я пользуюсь для обозначения вещества, при посредстве или через которое действуют электрические силы. Дек.; 1838 г;

1170. Прекрасные опыты Кулона (Coulomb) относительно равенства действия *проводников*, независимо от их вещества, а также распределение *всего* электричества на их поверхности¹ при надлежащем рассмотрении в достаточной мере доказывают, что *проводники нельзя зарядить* в объеме; до сих пор не обнаружено способа сообщать электричество проводнику таким образом, чтобы связать его частицы с одним электричеством, не связывая их одновременно с точно таким же количеством другого.

1171. Что касается электриков (electrics), или непроводников, то выводы сначала не представляются такими ясными. Их легко можно наэлектризовать в объеме либо прикосновением (1247), либо возбуждением; но когда они так заряжены один за другим, все случаи по рассмотрении оказывались случаями индукции, а не сообщением абсолютного заряда. Так, стекло внутри проводников, не соприкасающееся с проводником, можно было приводить в возбужденное состояние, но всегда оказывалось, что часть внутренней поверхности проводника находилась в противоположном и эквивалентном состоянии или же что в равно противоположном состоянии находилось другое место самого стекла, т. е. что последнее приобрело *индуктивный* заряд, а не *абсолютный*.

1172. Хорошо очищенный скипидар, который для большинства целей я считаю прекрасным жидким изолятором, был налит в металлический сосуд и изолирован, после чего была сделана попытка зарядить его частицы — иногда присоединением металла к электрической машине, а иногда погружением провода внутрь жидкости; однако, независимо от способа соединения, электричество одного только рода на жидкости не удерживалось, за исключением того, которое появлялось на внешней поверхности металла, причем это количество появлялось там только благодаря индуктивному действию через воздух на окружающие проводники. Когда скипидар был заключен в стеклянные сосуды, то сначала создавалось впечатление, как будто жидкость

¹ Mémoires de l'Académie, 1786, стр. 67, 69, 72; 1787, стр. 452.

получила от заряжающего провода абсолютный заряд электричества, однако это можно было легко свести к случаям обыкновенной индукции через жидкость, стекло и окружающий воздух одновременно.

1173. Эти опыты я продолжил с воздухом в большом масштабе. Я соорудил камеру, представляющую собой куб, ребро которого равнялось двенадцати футам. Была сколочена легкая кубическая деревянная рама, и вдоль и поперек ее, в различных направлениях, был натянут медный провод так, что стенки представляли крупную сетку; затем все это было покрыто бумагой, плотно прилежавшей к проводам и оклеенной во всех направлениях полосками станиоля, так что все части системы могли быть приведены в хорошее металлическое соединение, и вся она в каждой точке являлась хорошим проводником. Эта камера была изолирована в аудитории Королевского института; через ее стенку была пропущена стеклянная трубка длиной около шести футов, причем примерно четыре фута проходило внутри камеры, а два — снаружи, а через эту трубку к находящемуся внутри воздуху шел провод от большой электрической машины (290). Вращением машины воздух внутри камеры можно было приводить в состояние, которое назовем сильно наэлектризованным (хотя фактически это то же самое состояние, в котором находится воздух в комнате, в которой работает мощная машина), и одновременно вся внешняя поверхность изолированного куба сильно заряжалась. Но если соединить камеру с тем прекрасным разряжающим проводом, который описан в одной из предшествующих серий (292), и вращать машину таким образом, чтобы воздух внутри ее довести до его наивысшей степени заряда, и если потом быстро прервать соединение с машиной и в тот же момент или непосредственно за ним изолировать куб, то воздух внутри куба уже совершенно не мог сообщить ему дальнейшего заряда. Если какое-либо место в воздухе оказывалось наэлектризованным, как могут заряжаться стекло или другие изоляторы (1171), то это сопровождалось соответствующим противоположным действием *внутри* куба, так что действие

в целом представляло собой просто случай индукции; все попытки зарядить воздух объемно хотя бы ничтожным количеством одного электричества, но без участия другого, оканчивались неудачей.

1174. Я поместил внутри куба чувствительный электрометр с золотым листочком, а затем посредством внешнего соединения в течение некоторого времени очень сильно заряжал всю систему, но ни во время зарядки, ни после разряда ни электрометр, ни воздух внутри не обнаруживали ни малейших следов электричества. Я заряжал и разряжал всю систему различными путями, но ни в одном случае мне не удавалось получить ни малейших указаний на абсолютный заряд или на такой индуктивный заряд, при котором количество электричества одного рода хотя бы в малейшей степени превосходило количество другого. Я входил внутрь куба и оставался в нем, пользуясь зажженными свечами, электрометрами и всякими другими способами обнаружения электрического состояния, но мне не удалось обнаружить ни малейшего влияния на них или указания на проявление ими чего-либо особенного, хотя наружная поверхность куба была все время сильно заряжена, и от каждой точки его исходили искры и кистевые разряды. Заключение, к которому я пришел, сводится к тому, что непроводникам так же, как и проводникам, абсолютный и независимый заряд электричества до сих пор никогда не сообщался, и что, поскольку можно судить, такое состояние материи невозможно.

1175. Существует другой взгляд на этот вопрос, который можно принять, если полагать, что существует электрическая жидкость или жидкости. Может быть, и невозможно, чтобы существовала в свободном виде одна жидкость или состояние, и чтобы при этом путем индукции не создавалось другое, но все же возможны случаи, когда в изолированном объеме вещества, находящегося в каком-нибудь состоянии и незаряженного вследствие изменения этого состояния, выделяется то или другое электричество; и хотя образующееся таким образом электри-

чество могло бы немедленно возбудить по соседству противоположное состояние, но все же самое образование в *первый момент* одного электричества без другого представляло бы весьма существенный факт для теорий, предполагающих существование жидкости или жидкостей; в этих теориях, насколько я их понимаю, не приводится ни малейших доводов против возможности существования такого явления.

1176. Однако, несмотря на поиски, я не мог найти ни одного такого случая. Возбуждение электричества трением дает, как общеизвестно, обе силы в одинаковых количествах. Так же обстоит дело при получении электричества путем химического действия, несмотря на большое разнообразие веществ, которыми можно для этого пользоваться, и на огромное количество электричества, которое можно таким путем получить (371, 376, 861, 868, 961). Наиболее обещающие случаи изменения состояния — скажем: при испарении, при плавлении или при обратных процессах — все же дают обе формы этой силы в *равных* количествах; и такие случаи, как расщепление слюды и других кристаллов, разламывание серы и т. п., подчинены тому же самому ограничительному закону.

1177. Поэтому, поскольку позволяют судить уже проделанные опыты, представляется невозможным ни создать, ни уничтожить одну из электрических сил без равного и соответствующего изменения другой. В равной мере невозможно на опыте зарядить некоторое количество вещества одной из электрических сил без появления другой. Всякий заряд предполагает *индукцию*, так как ни в одном случае он не может быть произведен без нее; он предполагает также присутствие *обеих* форм этой силы как в момент своего появления, так и позже. Нельзя дать материи *абсолютного* заряда одной жидкостью, не существует скрытого состояния одного рода электричества. Этот результат, хотя и отрицательный, чрезвычайно важен, так как он, по всей вероятности, является следствием некоторой естественной невозможности, которая станет для нас ясной, когда мы поймем истинный характер и теорию электрической силы.

1178. Предшествующие рассуждения уже указывают на следующие выводы: вещества не могут быть заряжены абсолютно, а только относительно, по закону, тождественному с *индукцией*. Всякий заряд поддерживается индукцией. Все явления *напряжения* включают начало индукции. Всякое *возбуждение* обусловлено или непосредственно связано с индукцией. Все *токи* подразумевают предшествующее напряжение, а, значит, предшествующую индукцию. *Индукция* представляется существенным фактором как при первоначальном развитии электричества, так и при последующих электрических явлениях.

ГЛАВА III

Электрометр и индуктивный прибор, служившие для опытов

1179. Временно оставляя рассмотрение предыдущих фактов до того момента, когда их можно будет сопоставить с другими результатами, непосредственно касающимися важного вопроса о природе индукции, я опишу теперь приборы, которыми я имел случай пользоваться, а, имея в виду важность принципов, которые я стараюсь установить, это следует сделать столь ясно, чтобы не оставалось никаких сомнений в результатах.

1180. Э л е к т р о м е т р. В качестве измерительного прибора я пользовался крутильным электрометром — весами Кулона; прибор был построен в основном согласно указаниям Кулона,¹ но с некоторыми изменениями и добавлениями, которые я вкратце опишу. Нижняя часть представляла собой стеклянный цилиндр в восемь дюймов высотой и восемь дюймов в диаметре; трубка для крутильной нити имела в длину семнадцать дюймов. Сама закручиваемая нить была не металлическая, а стеклянная, согласно прекрасной идее покойного д-ра Ритчи.² Она была длиной в двадцать дюймов и настолько тонка, что в соединении с шеллаковым коромыслом и прикрепленным к нему шариком и т. п. совершала примерно десять колебаний в минуту. Даже при за-

¹ Mémoires de l'Académie, 1785, стр. 570.

² Philosophical Transactions, 1830.

кручивании на четыре полных оборота, или на 1440° , нить по освобождении возвращалась точно в свое положение; вероятно, она могла бы без ущерба выдержать и больше этого. Отталкиваемый шарик, 0,3 дюйма в диаметре, был сделан из бузиновой сердцевины и позолочен. Поддерживающий его горизонтальный стержень [коромысло] был, согласно указанию Кулона, из шеллака, причем плечо с шариком имело в длину 2,4 дюйма, а другое — всего 1,2 дюйма; к последнему была прикреплена лопасть, которая также описана Кулоном. Как мною найдено, она изумительно хорошо отвечает своему назначению быстро гасить колебания. Чтобы индуктивное действие было однородно при любом положении отталкиваемого шарика и при любом состоянии прибора, на внутренней стороне стеклянного цилиндра были укреплены две станиолевые полоски шириной около дюйма каждая; они опоясывали цилиндр на расстоянии 0,4 дюйма друг от друга и на такой высоте, что промежуточная свободная поверхность находилась в одной горизонтальной плоскости с рычажком и шариком. Эти полоски были соединены друг с другом и с землей; так как они являются отличными проводниками, то влияние, которое они производили на находящиеся внутри наэлектризованные шарики, было всегда однородно; мною было обнаружено, что это не соблюдалось при стеклянной поверхности вследствие непостоянства условий в различные моменты времени. Для поддержания воздуха внутри электрометра в неизменном в смысле сухости состоянии внутрь прибора, на дно ставилось стеклянное блюдечко таких размеров, что оно легко входило внутрь цилиндра; блюдечко содержало слой плавленного едкого кали и было покрыто кружком тонкой металлической сетки, чтобы сделать его индуктивное действие однородным во всех его точках.

1181. Подвижной шарик, при помощи которого снималась и измерялась рассматриваемая порция электричества и который можно назвать *отталкивающим или шариком-передатчиком*, был сделан из мягкого губчатого вещества ольхи, хорошо и гладко позолочен. Шарик был прикреплен к тонкому

стерженьку из шеллака и вводился внутрь электрометра через отверстие по методу Кулона; верхним своим концом стержень был укреплен на болванке или на тисочках, стоящих на трех коротких ножках; на поверхности стеклянной крышки имелась свинцовая пластина с упорами, так что когда шарик-передатчик был установлен в правильном положении и тисочки наверху были вплотную прижаты к упорам, то было совсем легко удалить шарик-передатчик и установить его потом с большой точностью в прежнем его положении безо всякой потери времени.

1182. В отношении этих шариков необходимо соблюдать некоторые предосторожности. Если они сделаны из одной только сердцевины, то они оказываются негодными, так как в очень сухом состоянии это вещество является настолько плохим проводником, что никогда не воспринимает и не отдает заряда с легкостью, и поэтому после соприкосновения с заряженным проводником его состояние может оказаться неопределенным. Кроме того, трудно обточить древесную сердцевину так ровно, чтобы шарик, даже если он позолочен, был настолько свободным от неправильностей формы, что мог бы в течение значительного промежутка времени сохранять свой заряд неослабленным. Поэтому, когда шарики окончательно приготовлены и позолочены, их следует проверить, и если только они, будучи наэлектризованы, не могут удерживать свой заряд без заметных потерь в течение продолжительного времени и не могут мгновенно и полностью разряжаться при соприкосновении с изолированным проводником, то они должны быть признаны негодными.

1183. Может быть, нет необходимости касаться градуировки прибора и следует только пояснить, как производились наблюдения. На бумажном круге или кольце, укрепленном на внешней поверхности стеклянного цилиндра и покрывавшем внутреннее нижнее кольцо из станиоля, было намечено четыре точки, соответствующие углам в 90° ; еще четыре точки, точно соответствующие этим, были нанесены изнутри на верхнем станиолевом кольце. С помощью их и установочных винтов, на которых стоит весь прибор, стеклянную закручиваемую нить можно было при-

вести точно в центр прибора и нанесенных на нем делений. Начиная от одной из четырех меток на внешней поверхности цилиндра, шла шкала на 90° , и соответствующие деления были нанесены на верхней станиолевой полосе, с противоположной стороны цилиндра изнутри; на отталкиваемом шарике, в той точке его поверхности, которая находилась ближе всего к стенке электрометра, нанесена метка. Наблюдая линию, образуемую этой меткой с делениями двух уже упомянутых шкал, легко можно было точно определить положение шарика. Верхний конец стеклянной нити был, как и в оригинальном электрометре Кулона, прикреплен к указателю с особым градуированным лимбом, по которому производился, в конце концов, отсчет степени закручивания нити.

1184. После нивеллировки прибора и установки закручиваемой нити, упоры, которые определяют положение *шарика-передатчика* (1181), должны быть отрегулированы таким образом, чтобы, когда этот шарик стоит против них, его центр лежал на радиусе прибора, соответствующем 0° по нижней шкале, т. е. той, которая находится на стенке электрометра и на том же уровне и расстоянии от центра, как и *отталкиваемый шарик* на подвешенном крутильном коромысле. Затем указатель кручения следует поворачивать до тех пор, пока связанный с ним отталкиваемый шарик установится точно на 30° , и, наконец, шкалу кручения надо установить так, чтобы 0° ее находился против указателя. Такая установка прибора была принята потому, что она давала наиболее прямое выражение результатов опыта, и притом в форме, дающей меньше всего переменных ошибок; угловое расстояние в 30° оставлялось всегда как стандартное, и к нему шарики приводились каждый раз; полное закручивание отсчитывалось непосредственно на верхнем градуированном лимбе. При таких условиях всякий раз, когда производилось измерение, не только угловое расстояние между шариками, но и положение их в приборе и по отношению ко всем его точкам оставалось действительно одинаковым; таким образом удавалось избежать всяких неправильностей, возникающих

в связи с незначительным различием в форме и действии в приборе и окружающих телах. Единственное изменение, которое могло возникать в положении какой-либо внутренней части прибора, состояло в большем или меньшем отклонении закручиваемой нити от вертикального положения, в соответствии с величиной силы отталкивания шариков; однако это отклонение было чрезвычайно ничтожно; оно не вызывало вредного изменения симметрии формы прибора и не давало ошибки в величине силы кручения, указываемой на верхней шкале.

1185. Я принял постоянное угловое смещение между центрами шариков в 30° ; оно оказалось при этом более чем достаточной чувствительности для обычных целей; однако имелась полная возможность без труда сделать прибор еще гораздо чувствительнее путем уменьшения этого расстояния; результаты, соответствующие различным расстояниям, можно очень легко сравнить друг с другом путем опыта и даже путем расчета, так как они обратно пропорциональны квадратам расстояний.

1186. Чтобы освоиться с крутильным электрометром — весами Кулона, необходим опыт; но я считаю его весьма ценным прибором в руках того, кто решится на труд изучить путем упражнения и внимательного отношения необходимые при пользовании им предосторожности. Условия изоляции прибора меняются в зависимости от обстоятельств и должны быть проверены перед пользованием прибором для опытов. Обычно заряд шариков был таков, что давал при стандартном расстоянии в 30° отталкивательную силу кручения в 400° ; тогда при более или менее благоприятных обстоятельствах для уменьшения кручения до 50° при том же расстоянии требовалось почти четыре часа; среднее уменьшение в пределах от 400 до 300° происходило со скоростью 2.7° в минуту, от 300 до 200° — со скоростью 1.7° в минуту, от 200 до 100° — 1.3° в минуту и от 100 до 50° — 1.87° в минуту. Так как точное измерение с помощью этого прибора можно произвести меньше чем за одну минуту, то величина утечки за этот промежуток времени очень мала и может быть легко учтена,

1187. Индуктивный прибор. Я ставил себе целью тщательно изучить индуктивное действие в различных средах; для этого было необходимо, чтобы условия, при которых эти среды подвергаются действию индукции, были совершенно одинаковы, и чтобы их количество было достаточно для исключения всяких изменений, которые они могли бы дать. Поэтому было необходимо, чтобы прибор, который надо было построить, обладал следующими свойствами: индуцирующие поверхности проводников должны иметь постоянную форму и положение; они должны находиться на постоянном расстоянии друг от друга; всякие вещества твердые, жидкие и газообразные должны легко и без отказа вводиться между этими поверхностями и удерживаться между ними в течение любого промежутка времени.

1188. Прибор, которым я пользовался, в общих чертах состоял из двух металлических шаров неодинакового диаметра, расположенных концентрически так, что меньший находился внутри большего; промежуток между шарами представлял собой то пространство, через которое должна была проходить индукция. Разрез прибора дан (рис. 109) в половину натуральной величины; aa представляют собой две половины латунного шара с герметическим соединением по b , наподобие соединения в магдебургских полушариях; во избежание всякой неправильности, полушария сделаны внутри совершенно ровными и гладкими; c — соединительная часть, с помощью которой прибор соединен с хорошим краном d , который, в свою очередь, соединяется либо с металлическим основанием e , либо с воздушным насосом. Отверстие f , ведущее внутрь в полушарие, очень мало; g представляет собой прикрепленную к верхнему полушарию латунную втулку, через которую проходит шеллаковый стержень, поддерживающий внутренний шар и его ось; h — внутренний шар, также латунный; он привинчен к латунному стержню i , заканчивающемуся наверху латунным шаром B ; ll — слой шеллака, который аккуратно наложен кругом стержня i , и служит для поддержки и изоляции его и шаров h и B . Шеллаковый стержень l у m m вмазан в цоколь g небольшим количеством обыкновенной

смоляной замазки, более плавкой, чем шеллак, чтобы придать прибору достаточную крепость и сделать его в этом месте воздухонепроницаемым, оставляя в то же время возможно большую часть шеллакового стержня книзу нетронутой, как изоляцию между шаром *h* и окружающим его шаром *a*. Шар *h* имеет в *n* небольшое отверстие, так что, когда из прибора выкачивают один газ, а вводят другой, то и шар *h* также откачивается и наполняется, так что во время опыта никаких изменений газа в промежутке *o* произойти не может.

1189. Нет необходимости приводить размеры всех частей прибора, ибо чертеж дан в половину натуральной величины; внутренний шар имеет диаметр в 2,33 дюйма, а внутренний диаметр внешнего шара равен 3,57 дюйма. Сле-

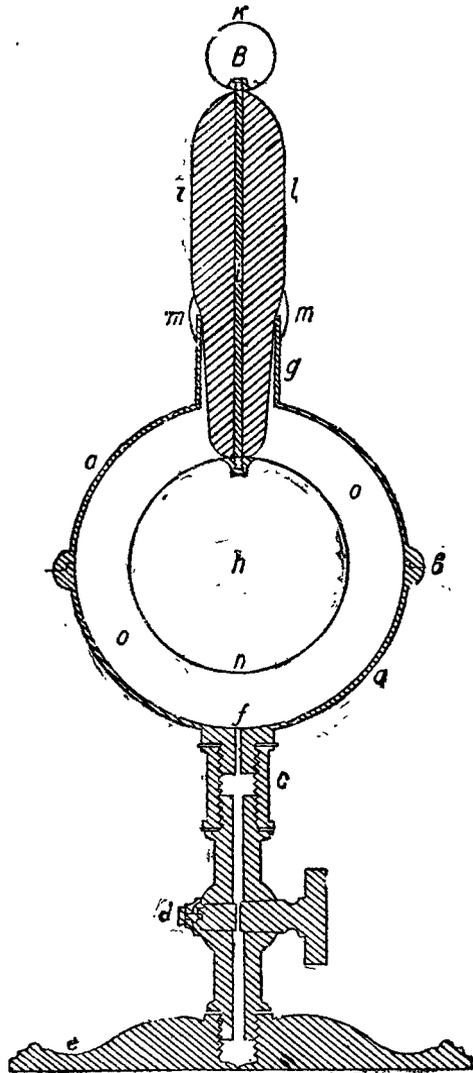


Рис. 109.

довательно, промежуточное пространство, в котором должна производиться индукция, имеет в толщину 0,62 дюйма, а про-

тяженность его, или площадь некоторого среднего шара, можно принять равной двадцати семи квадратным дюймам, что я считал достаточным для сравнения различных веществ. Много стараний было приложено для хорошего выполнения индуцирующих

поверхностей шаров h и aa ; лаком и политурой я не пользовался ни для шаров, ни для какой другой металлической части прибора.

1190. Большого внимания требовали укрепление и установка стержня из шеллака, особенно потому, что из-за появляющихся в нем трещин его часто приходилось менять. Брался шеллак наилучшего качества и наносился на провод i таким образом, чтобы он везде был с ним в хорошем контакте и по всей своей массе не имел никаких перерывов. Слой шеллака был не тоньше, чем дано масштабом рисунка, ибо при меньшей толщине он часто трескался спустя несколько часов после застывания. Мне кажется, что очень медленное охлаждение или отпускание улучшали его

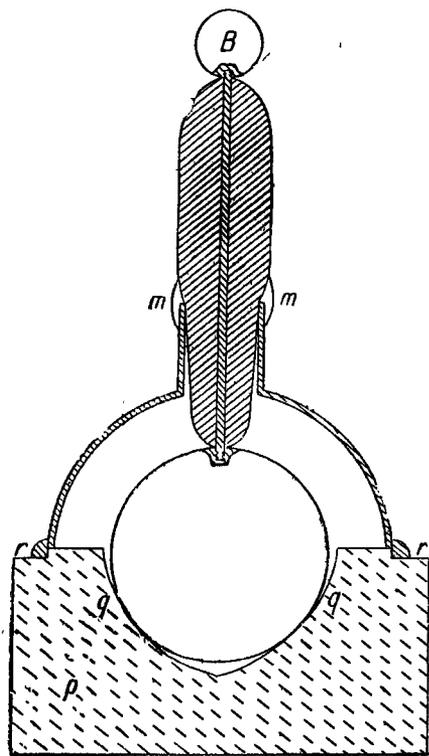


Рис. 110.

качество в этом отношении. Втулка g делалась по возможности тоньше, чтобы в этом месте можно было нанести возможно большую толщину шеллака. Чтобы при всяком новом укреплении стержня в верхнем полушарии, шар h занимал одно и то же относительное положение, был изготовлен деревянный шаблон p (рис. 110), в который вставлялись шар и полушарие, пока замазка

у *m* была еще мягкая; точки опоры шара в *qq* и полушария в *ll* придавливались к ней, и все оставлялось для охлаждения. Этим устранялись все затруднения при установке шара внутри сферы.

1191. Вначале мне случалось прикреплять стержень к цоколю другими способами, как, например, с помощью бумажной ленты или пробки из белых шелковых нитей, но эти способы значительно уступали замазке, так как сильно понижали изолирующие свойства прибора.

1192. В хорошем состоянии прибор этот держал заряд лучше, чем электрометр (1186), т. е. утечка электричества была сравнительно меньше. Возьмем для примера случай, когда прибор, а равно и шарики электрометра были наэлектризованы до такой степени, что после того, как внутренний шар приводился в соприкосновение с верхушкой *k* шарика прибора, это вызывало отталкивание, соответствующее закручиванию на 600° ; тогда при падении показаний от 600 до 400° утечка в среднем была равна $8,6^\circ$ в минуту; от 400 до 300° утечка в среднем была равна $2,6^\circ$ в минуту, от 300 до 200° она равнялась $1,7^\circ$ в минуту, от 200 до 170° — 1° в минуту. Это имело место после того, как прибор в течение некоторого короткого времени стоял заряженным; в первый момент зарядки происходит кажущаяся утечка электричества, которую можно будет понять только в дальнейшем (1207, 1250).

1193. Когда прибор внезапно утрачивает свои изолирующие свойства, то это почти всегда является результатом трещины вблизи латунного цоколя или внутри его. Эти трещины обычно проходят поперек стержня. Когда они возникают в части, прикрепленной к цоколю обыкновенной замазкой, то воздух не может проникнуть в них, а образовавшиеся таким образом пустоты отводят электричество и понижают заряд почти так же быстро, как если бы в это место был введен кусок металла. Иногда стержни в таком состоянии, вынутые и очищенные от замазки, могут быть тщательным нагреванием на спиртовой лампе настолько сильно размягчены и расплавлены, что восстанавливается полная непрерывность строения их частей; если же не удастся таким

образом вернуть прибор в хорошее состояние, то единственное средство — заменить шеллаковый стержень новым.

1194. Когда прибор был в полном порядке, его легко можно было откачать и наполнить любым газом; но когда данный газ обладал кислотными или же щелочными свойствами, то его не удавалось удалить как следует при помощи воздушного насоса, а, между тем, требовалось полное удаление его. В таких случаях прибор открывался и очищался от газа; что же касается внутреннего шара h , то он два или три раза промывался дистиллированной водой, вводимой через отверстие для винта, а затем для полной просушки внутренней поверхности нагревался выше 212° с продуванием через него воздуха.

1195. Описанный индуктивный прибор представляет собой, очевидно, лейденскую банку, с тем, однако, преимуществом, что *диэлектрик* или изолирующую среду в нем можно менять по произволу. Шары h и B с соединительным проводом i образуют заряженный проводник, на поверхности которого вследствие индукции (1178) сосредоточена вся электрическая сила. Но хотя большая часть этой индукции и заключается между шаром h и окружающим его шаром aa , тем не менее, провод i и шарик b заставляют часть индукции итти от своих поверхностей по направлению к наружным окружающим проводникам. Но в этом отношении все остается неизменным, тогда как промежуточную среду в oo можно менять; поэтому всякие изменения, обнаруживаемые прибором в целом, будут в таких случаях обусловлены изменениями, произведенными внутри; именно эти изменения я и изучал; опровержение или подтверждение таких различий составляло главный предмет моего исследования. Я считал, что различия, если таковые существуют, можно наиболее отчетливо выявить с двумя приборами описанного типа, в точности одинаковыми во всех отношениях; для этого, при наличии внутри приборов *различных изолирующих сред*, нужно одному из них сообщить заряд и измерить его, а затем разделить заряд между обоими и наблюдать, каково окончательное состояние обоих приборов. Я полагал, что если изолирующие среды

действительно обладают какими-либо особыми различиями, благоприятствующими или противодействующими совершающемуся сквозь них индуктивному действию, то с помощью такого процесса эти различия не преминут обнаружиться.

1196. Я заканчиваю на этом описание прибора; укажу теперь предосторожности, необходимые при пользовании им; для этого я остановлюсь на характере и порядке опытов, произведенных для доказательства одинаковости приборов в том случае, когда оба они содержат обыкновенный воздух. Чтобы облегчить изложение, я буду обозначать эти два прибора: прибор I и прибор II.

1197. Прежде всего следует произвести установку и проверку электрометра (1184), а приборы I и II тщательно разрядить. Затем следует взять лейденскую банку и зарядить ее так, чтобы она давала между двумя шариками диаметром в полдюйма искру длиной приблизительно в одну шестнадцатую или одну двадцатую дюйма, заряженный от этой банки шарик-передатчик электрометра ввести внутрь последнего, а сидящий на коромысле шарик вращением указателя подвести к шарик-передатчику; тогда заряд разделяется между двумя шариками, и происходит отталкивание. После этого полезно привести отталкиваемый шарик вращением указателя кручения к стандартному положению, соответствующему 30° , и заметить требующуюся для этого силу в градусах; в дальнейших опытах эта сила будет называться *отталкиванием шариков*.

1198. Затем один из индуктивных приборов, например прибор I, следует зарядить от лейденской банки, находящейся в том же состоянии, как при заряде шариков; шариком-передатчиком надо коснуться верхушки верхнего шарика (k , рис. 109), внести его в электрометр и измерить силу отталкивания, соответствующую расстоянию в 30° . Затем шарик-передатчик надо снова приложить к прибору I и повторить измерение. Теперь надо соединить приборы I и II, чтобы *разделить* между ними заряд, и потом произвести измерение силы для каждого из них, как указано выше, с помощью шарика-передатчика и тщательно записать результаты. После этого оба прибора следует раз-

рядить, затем зарядить прибор II, произвести измерение, разделить заряд с прибором I и снова измерить и записать силу для каждого. Если в обоих случаях части зарядов, приходящиеся на приборы I и II, одинаковы, а в сумме равны полному заряду до его разделения, то можно считать доказанным, что оба прибора вполне одинаковы по силе и годятся для производства сравнений между различными изолирующими средами или *диэлектриками*.

1199. Однако для получения правильных результатов необходимы многочисленные предосторожности. Приборы I и II должны всегда стоять на хорошо проводящем веществе. Стол красного дерева, например, далеко не удовлетворяет этому условию, и поэтому я пользовался листом станиоля, соединенным с разрядным проводом больших размеров (292). Приборы должно поставить так, чтобы они находились не слишком близко друг к другу и в то же время в одинаковой мере подвергались индуктивному влиянию окружающих предметов; в свою очередь, эти предметы нельзя перемещать во время опыта, иначе индукция на внешний шарик *B* прибора может претерпеть изменения, вследствие чего в результаты вкрадутся ошибки. Шарик-передатчик для сообщения ему соответствующей порции электричества от прибора необходимо прикладывать всегда к одному и тому же месту шара, например к верхушке *k*, и всегда одинаковым образом; следует избегать изменений индукции вследствие близости головы, рук и т. п.; после касания шарик уводится вверх однообразным и постоянным образом.

1200. Так как иногда приходилось заменять стержень (1190), что могло вызвать незначительные смещения внутреннего шара, то я намеренно вызывал такие смещения, доходящие до величины одной восьмой дюйма (что значительно превосходит все, что могло бы иметь место в действительности), но не нашел, чтобы это заметно изменило действие прибора или его индуктивное состояние в *целом*. Другое испытание приборов касалось действия влажности воздуха; при этом один прибор был наполнен очень сухим воздухом, а другой — воздухом, бывшим над водой.

Хотя это и не вызывало изменений в результатах, за исключением наблюдавшегося иногда более быстрого рассеяния, тем не менее, при работе с газами всегда принимались меры к полной их осушке (1290).

1201. Существенно, чтобы внутренность прибора была совершенно свободна от пыли или мелких свободных частиц, которые очень быстро понижают заряд и сказываются в таких случаях, когда их присутствия и действия вряд ли можно было ожидать. Хороший способ для их удаления состоит в том, чтобы дохнуть внутрь прибора и осторожно протереть его чистым шелковым платком; но следует остерегаться проникновения посторонних частиц впоследствии, и в силу этой и других причин следует избегать пыльной атмосферы.

1202. Шеллаковый стержень необходимо тщательно протирать, чтобы снять прежде всего имеющуюся на нем пленку воска и прилипшего вещества, а потом удалять пыль и грязь, которые постепенно прилипают к нему во время опытов. Я нашел, что от этой предосторожности зависит многое, и что для протирания лучше всего пользоваться шелковым платком.

1203. Однако при протирании и некоторых других обстоятельствах поверхности шеллакового стержня может сообщиться заряд. Последний следует удалить, ибо если его оставить, он очень сильно влияет на степень заряда, сообщаемую прибором шарикопередатчику (1232). Электрическое состояние стержня лучше всего наблюдать следующим образом: разрядить прибор, приложить к стержню шарик-передатчик, коснуться его пальцем, изолировать и отвести шарик и посмотреть, получил ли он от стержня (путем индукции) какой-либо заряд; если получил, то значит и сам стержень находится в заряженном состоянии. Я убедился, что наилучший способ удалить этот заряд заключается в том, чтобы обернуть палец одним слоем шелкового платка и, дохнув на стержень, немедленно после этого протереть его пальцем; шарик *B* и его соединительный провод и т. п. остаются в это время неизолированными; то место шелка, которым протирают, менять не следует; тогда оно становится достаточно влажным и

не возбуждает стержня; в то же время оно достаточно сухо, чтобы очистить стержень и привести его в хорошее изолированное состояние. Если в воздухе содержится пыль, то уже после одной зарядки прибора наружная поверхность стержня оказывается в наэлектризованном состоянии вследствие способности частиц пыли переносить электрический заряд; между тем как по утрам и в помещении, которым еще никто не пользовался, можно произвести один за другим несколько опытов, и стержень при этом не приобретает ни малейшего заряда.

1204. Не следует производить опытов при свече или с лампой, разве только с большой осторожностью, ибо пламя обладает значительной, и притом непостоянной способностью влиять на заряд и рассеивать его.

1205. Последнее замечание относительно состояния приборов будет заключаться в том, что оба они должны хорошо и равномерно удерживать свои заряды, и притом в одинаковой степени; в то же время они должны мгновенно и совершенно разряжаться и уже не сообщать после этого шарик-передатчику никакого заряда, к какой бы части шарика *B* последний ни прикладываться (1218).

1206. Что касается крутильного электрометра-весов, то все предосторожности, которые заслуживают упоминания, сводятся к тому, что в продолжение первой части опыта шарик-передатчик должен сохранять свое наэлектризованное состояние, т. е. следует избегать потери электричества, являющейся следствием его разряда; при введении его внутрь электрометра через отверстие в верхней стеклянной пластинке должно принять меры, чтобы шарик не касался края стекла и даже не подходил к нему близко.

1207. Когда полный заряд одного прибора делится между двумя, то постепенное ослабление его, повидимому, вследствие рассеивания в том приборе, который *получал* половинный заряд, оказывается более значительным, чем в том, который был заряжен первым. Это обуславливается особым явлением, которое будет описано в дальнейшем (1250, 1251); от его вредного влияния

можно в значительной степени избавиться, если однообразно и быстро проходить через все стадии процесса. Поэтому после измерения первоначального заряда, например с помощью прибора I, I и II следует симметрично соединить с помощью их шариков B, причем одного из этих шариков одновременно следует коснуться шариком-передатчиком; сначала необходимо увести последний и только потом разъединить приборы; первым с помощью шарика-передатчика быстро измерить заряд прибора II, затем прибора I; наконец, надо разрядить II и приложить к нему разряженный шарик-передатчик, чтобы удостовериться, нет ли какого-либо остаточного действия (1205); и таким же образом и с той же целью надо исследовать прибор I, предварительно разрядив его.

1208. Я приведу пример деления разряда между двумя приборами, когда диэлектриком в обоих был воздух. Наблюдения приведены одно за другим в том порядке, в каком они производились; числа с левой стороны соответствуют наблюдениям с прибором I, числа с правой стороны получены с прибором II. Прибор I был заряжен первым; его заряд после двукратного измерения был разделен между обоими приборами

Прибор I	Шарики 160°	Прибор II
	0°
254°	
250°	
заряды разделены и сейчас же измерены		
	122°
124°	
1°	2°
	после разряда после разряда

1209. Не делая попытки учесть утечку, которая должна была постепенно происходить за время опыта, сделаем выводы из чисел, каковы они есть. Так как в приборе I в неразряженном состоянии оставался 1°, то величину 249° можно принять за наи-

большее значение передаваемого и делимого заряда, половина которого равна $124,5^\circ$. Поскольку в первом случае прибор II был свободен от заряда, а непосредственно после разделения показывал 122° , то по меньшей мере это количество может быть принято за полученное прибором. С другой стороны, разность 124° минус 1° , т. е. 123° , можно принять за половину передаваемого заряда, удерживаемого прибором I. Но эти числа (122 и 123°) сравнительно мало отличаются друг от друга и от $124,5^\circ$, т. е. от половины полной величины способного передаваться заряда; а если учесть постепенную утечку заряда, о которой свидетельствует разница между числами 254 и 250° в приборе I, то можно с полным правом положить, что эти результаты указывают на разделение заряда пополам, без всякого исчезновения силы, за исключением того, которое объясняется рассеянием.

1210. Я приведу результат еще одного опыта, когда первым был заряжен прибор II, и где остаточное действие этого прибора было более значительно, чем в первом случае.

Прибор I	Прибор II
Шарики 150°	
.....	152°
.....	148°
Заряд разделен и тотчас же измерен	
70°	78°
.....	5° непосредственно после разряда
0°	непосредственно после разряда

1211. Передаваемый заряд соответствует $148-5^\circ$, половина чего составляет $71,5^\circ$, что лишь мало отличается от 70° , т. е. от половины заряда прибора I, и от 73° — половины заряда прибора II; в свою очередь, эти две половины дают в сумме 143° , т. е. ровно величину всего передаваемого заряда. Следовательно, учитывая ошибки опыта, можно снова принять, что эти результаты доказывают равенство индуктивной способности приборов или их способности принимать заряды.

1212. Повторение этих опытов с зарядами отрицательного электричества дало в общем такие же результаты.

1213. Чтобы быть уверенным в чувствительности и работе приборов, я вводил в один из них такое изменение, которое теоретически должно было повысить его индуктивную силу, а именно: я выложил нижнее полушарие прибора I изнутри металлической обкладкой, уменьшив этим толщину промежуточного слоя воздуха в данном месте от 0,62 до 0,435 дюйма; эта прокладка была тщательно вырезана и сглажена, чтобы она у краев не образовала резких выступов, и чтобы имел место постепенный переход от уменьшенного промежутка в нижней части шара к более толстому в верхней части.

1214. Вследствие этих изменений в приборе I немедленно получились такие явления, которые показывали, что он обладал более значительной приспособленностью или способностью к индукции, чем прибор II. Так, когда передаваемый заряд в приборе II, величиной 469° , был поделен между обоими приборами, то первый сохранил заряд в 225° , а второй показал 227° , т. е. первый потерял 244° , сообщая второму 227° ; с другой стороны, когда передаваемый заряд прибора I, равный 381° , был путем соприкосновения разделен между обоими приборами, то I сообщил второму целых 194° , потеряв всего 181° ; сумма этих разделенных сил в первом случае *меньше*, а во втором — *больше* первоначального неразделенного заряда. Эти результаты тем более поразительны, что видоизменена была только половина внутренней части прибора I; они показывают, что приборы способны при наличии ошибок опыта выявить различия в индуктивной силе даже тогда, когда эти различия гораздо меньше тех, которые происходили от сделанных в настоящем примере изменений.

ГЛАВА IV

Индукция по кривым линиям

1215. Выводы, вытекающие из представления об индукции (1166) как о молекулярном явлении, в силу особого своего характера представляют собой самую лучшую проверку справедливости

ности или ошибочности этой теории; но наиболее важным из них в настоящий момент является, я полагаю, ожидаемое действие по кривым линиям; в самом деле, если бесспорным образом доказать, что оно имеет место, то я не представляю себе, как может оставаться в силе старая теория действия на расстоянии по прямым линиям, и как можно будет противиться заключению, что обычная индукция есть действие смежных частиц.

1216. Имеется большое число более ранних опытов разнообразного характера, которые можно бы считать благоприятными для принятого мной представления и согласными с ним. Таково большинство случаев электрохимических разложений, электрических кистевых разрядов, свечения, искр и т. п.; но так как эти доказательства можно считать сомнительными, поскольку эти явления включают в себя ток и разряд, хотя я их давно считал указаниями на предварительное молекулярное действие (1230), то я для первого доказательства хотел придумать такие опыты, которые не содержали бы переноса, а целиком относились к случаю чисто индуктивного действия статического электричества.

1217. С другой стороны, было важно произвести эти опыты наимпростейшим способом, работая сразу не более чем с одной изолирующей средой, или диэлектриком, чтобы различия в медленной проводимости не создавали явлений, которые ошибочно можно было бы принять за результат индукции по искривленным линиям. Нет необходимости подробно описывать все стадии исследования; я сразу приступлю к тому, как установить эти факты простейшим способом сначала в воздухе, а затем и в других изолирующих средах.

1218. На деревянной подставке был укреплен в отвесном положении сплошной шеллаковый цилиндр в 0,9 дюйма диаметром и девять дюймов длиной (рис. 111); на верхнем конце цилиндр был выдолблен в виде вогнутой чаши так, что на нем мог держаться латунный шарик или другое приспособление небольших размеров. Натирая подогретой фланелью верхнюю часть стержня, я наэлектризовал его отрицательно, а затем клал на его верхуш-

ку латунный шарик *B* диаметром в 1 дюйм; после этого я исследовал весь прибор с помощью шарика-передатчика электрометра Кулона (1180 и т. д.). Для этой цели шарики электрометра заряжались положительно приблизительно до 360° , и затем шарик-передатчик прикладывался к различным точкам шарика *B*; пока шарики соприкасались или находились близко друг к другу, они не были изолированы; затем они изолировались¹ и разъединялись, а заряд шарика-передатчика исследовался в отношении природы и силы. Шарик всегда обнаруживал положительное электричество; сила последнего в различных исследовавшихся одно за другим положениях *a*, *b*, *c*, *d* и т. д. (рис. 112 и 113) имела следующие значения:

в <i>a</i>	выше 1000°
<i>b</i>	149°
<i>c</i>	270°
<i>d</i>	512°
<i>e</i>	130°

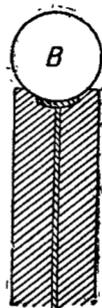


Рис. 111.

1219. Чтобы понять всю важность этих результатов, надо сначала уяснить себе, что все заряды шарика *B* и шарика-передатчика представляют собой заряды, получающиеся по индукции, действием возбужденной поверхности шеллакового цилиндра, ибо всякое другое электричество, непосредственно сообщаемое шару *B* шеллаковым цилиндром, все равно, в первый момент или после, снималось соприкосновением с неизолированным проводником, а оставалось только электричество, зависящее от индукции; это подтверждается тем, что заряды, взятые от шарика в этом неизолированном состоянии, всегда бывают положительные, т. е. противоположны электричеству шеллака.

¹ Едва ли нужно здесь указывать, что всякое состояние, которое шарик-передатчик приобретал в каком-либо месте, где он был сначала не изолирован, а затем изолирован, — и это состояние он сохранял при удалении от этого места, независимо от того, что он мог проходить через другие места, которые могли бы сообщить ему, при отсутствии изоляции, отличное от первого состояние.

Далее, характер зарядов a , c и d был такой, какого следовало ожидать при индуктивном действии по прямым линиям, но для заряда в b дело обстоит иначе; этот заряд обусловлен несомненно индукцией, но индукцией по *кривой линии*, ибо шарик-передатчик, будучи приложен к B в точке b и затем уведен от него на расстояние шести дюймов или более, не мог вследствие размеров B быть соединен прямой линией ни с одной точкой возбужденной и индуцирующей поверхности шеллака.

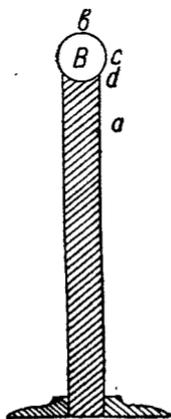


Рис. 112.

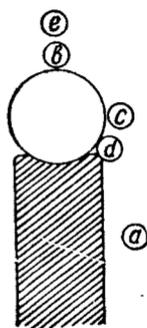


Рис. 113.

1220. Предположение, что верхняя часть неизолированного шарика B каким-то путем поддерживается в наэлектризованном состоянии той

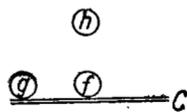
частью поверхности шарика, которая обращена к шеллаку, противоречило бы всему, что уже известно нам по данному вопросу. Электричество удерживается на поверхности проводников только путем индукции (1178); и хотя некоторые лица, может быть, еще не готовы к тому, чтобы признать это в отношении изолированных проводников, но в отношении неизо-

лированных, подобных шарiku B , они это допускают. Чтобы решить этот вопрос, достаточно поместить шарик-передатчик в e (рис. 113) так, чтобы он не соприкасался с B , заземлить его с помощью спускающегося вертикально стержня, изолировать, унести и исследовать его состояние; он окажется заряженным электричеством того же рода и даже *сильнее* (1224), чем если бы он соприкасался с верхушкой B .

1221. С другой стороны, предположение, что индукция действует каким-то образом *через или сквозь* металл шарика, опровергается простейшими рассуждениями; впрочем, один факт докажет это лучше. Если вместо шарика B взять небольшой металлический диск, то шарик-передатчик можно заряжать у сере-

дины верхней поверхности диска или над ней, но если увеличить диаметр пластинки примерно до $1\frac{1}{2}$ или 2 дюймов (см. *C* на рис. 114), то в *f* шарик не получит заряда, хотя если поместить шарик ближе к краю в точку *g* или даже *над серединой* в точку *h*, заряд получится; это справедливо даже в том случае, если пластинка представляет собой всего тонкую золотую фольгу. Отсюда ясно, что индукция происходит не *сквозь* металл, а через окружающий воздух или *диэлектрик*, и притом по кривым линиям.

1222. В другой моей установке к шарiku *B* (рис. 111) был присоединен провод, спускавшийся в землю через середину шеллакового цилиндра, так что шарик поддерживался все время в неизолированном состоянии. Эта форма прибора была чрезвычайно удобна; результаты были те же, как только что описанные.



1223. В другом случае шарик *B* лежал на шеллаковом стержне, не сообщавшемся с возбужденным шеллаковым цилиндром и находящемся от него на расстоянии полдюйма, но явления получались такие же. Затем для того, чтобы производить индукцию, вместо возбужденного шеллака служил медный шарик, заряженный от лейденской банки, но это не вызвало никаких изменений в явлениях. Были испытаны как положительные, так и отрицательные индуцирующие заряды с одинаковыми в основном результатами. Наконец, чтобы устранить всякие могущие быть возражения против делаемых выводов, установка была поставлена вверх ногами, но результаты оказались в точности такими же.

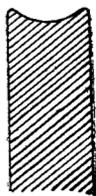


Рис. 114.

1224. Чрезвычайно интересны некоторые результаты, которые получились, когда вместо шарика *B* было взято латунное полушарие. Полушарие имело 1,36 дюйма в диаметре (рис. 115); оно было помещено на верхнем конце возбужденного шеллакового цилиндра, и затем шарик-передатчик, как и в предшествующих опытах (1218), приводился в относительные положения, изоб-

раженные на рисунке. В i сила была равна 112° , в k — 108° , в j — 65° и в m — 35° ; индуктивная сила, как и следовало ожидать, при приближении к этой точке постепенно ослабевала. Но когда шарик-передатчик был поднят в положение n , заряд возрос до 87° , а при дальнейшем поднятии шарика в точку o , заряд возрос еще сильнее, до 105° ; в еще более высокой точке p величина измеряемого заряда была меньше, а именно 98° , и продолжала убывать по направлению к более высоким точкам. Здесь индукция совершенно огибала угол. В самом деле, трудно

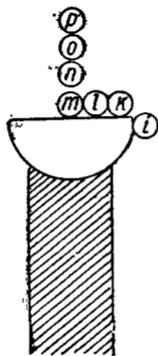


Рис. 115.

отыскать лучшее доказательство искривления линий или путей индуктивного действия в результате нарушения их прямолинейности вследствие формы, положения и состояния металлического полушария, а также существования, если так можно выразиться, бокового давления этих линий друг на друга; и то и другое обусловлено, как я полагаю, тем, что индукция представляет собой действие смежных частиц диэлектрика, которые, будучи приведены в состояние полярности и напряжения, оказываются во всех направлениях взаимно связанными своими силами.

1225. Как другое доказательство того, что все эти действия являлись индуктивными, я могу привести один результат, который представляет собой как раз то, чего можно было ожидать; а именно: если я помещал вокруг наэлектризованного шеллакового стержня и близко от него неизолированное проводящее вещество, то индуктивная сила направлялась к нему, и на верхушке полушария ее обнаружить не удавалось. По удалении этого вещества восстанавливалось прежнее направление силовых линий. Этот опыт служит доказательством бокового напряжения этих линий и предупреждает о необходимости удаления такого вещества при повторении указанного исследования.

1226. По получении этих результатов относительно криволинейного индуктивного действия в воздухе, я распространил

опыты на другие газы, взяв сначала углекислоту, а затем водород; явления получились в точности такие, как описанные. В этих опытах я нашел, что если газы были заключены в сосуды, то последние должны были быть очень большими, ибо все равно, из чего они были сделаны — из стекла или глины, проводимость этих веществ настолько велика, что индукция от возбужденного шеллакового цилиндра по направлению к ним так же сильна, как если бы это были металлы; и когда сосуды малы, на них направляется столь значительная часть индукции, что упомянутое выше боковое напряжение или взаимное отталкивание (1224) силовых линий, которое вызывает их искривление, оказывается настолько облегченным в других направлениях, что в положениях *k*, *l*, *m*, *n*, *o*, *p* (рис. 115) шарик-передатчику не сообщится никакого индуктивного заряда. Чтобы произвести опыт, очень удобно устроить сильные восходящие или нисходящие потоки газов через воздух и проводить опыты в этих потоках.

1227. Эти опыты были затем видоизменены в таком направлении, что воздух и газы были заменены жидким диэлектриком, а именно *скипидаром*. В тонкостенную стеклянную чашечку, покрытую слоем шеллака (1272), который, как показало испытание, был хорошим изолятором, до высоты в полдюйма был налит хорошо очищенный скипидар; затем чашечка была помещена на верхушку латунного полушария (см. рис. 115) и производились, как и раньше, наблюдения с помощью шарика-передатчика (1224). Результаты получились такие же, и то обстоятельство, что в некоторых положениях шарик оказывался внутри жидкости, а в других — вне ее, не вызывало существенной разницы.

1228. Наконец, для той же цели я брал несколько твердых диэлектриков и получил такие же результаты. Этими диэлектриками служили: шеллак, сера, плавный и литой борат свинца, флинт-глас, тщательно покрытый слоем лака, и спермацет. В случае серы опыт производился следующим образом (остальные производились так же): отливалась квадратная пластина из исследуемого вещества с ребром в два дюйма и толщи-

ной в 0,6 дюйма, с небольшим отверстием или углублением посередине, куда помещался шарик-передатчик. Пластина помещалась на поверхности металлического полушария (рис. 116), расположенного на возбужденном шеллаке, так же, как и в предыдущих случаях, и наблюдения производились в точках n , o , p и q . В этих опытах требовались большие предосторожности, чтобы освободить серу и другие твердые вещества от всякого заряда, ранее ими приобретенного. С этой целью вещество протирали, предварительно подышав на него (1203), а затем, убедившись, что оно свободно от всякого электрического возбуждения, приступали к опыту с ним; после этого его удаляли и исследовали снова, чтобы удостовериться, что оно не получило заряда, а действительно вело себя как диэлектрик. При соблюдении всех этих предосторожностей результаты получились прежние, и большое удовлетворение доставляет нам то, что можно получать криволинейное индуктивное действие сквозь *твердые вещества*, ибо в данном случае совершенно исключена возможность появления какого-нибудь действия, зависящего от переноса заряженных частиц, какое можно представить себе в жидкостях или газах.

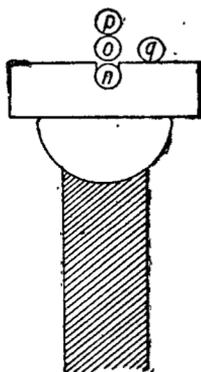


Рис. 116.

1229. В этих опытах с твердыми диэлектриками степень заряда, получавшегося шариком-передатчиком в положениях n , o , p (рис. 116), была определенно выше, чем у заряда, который сообщался шарiku в тех же положениях, когда между ним и металлическим полушарием находился один воздух. Как видно будет дальше, это явление согласуется со свойствами этих тел в смысле их способности облегчать прохождение через них индукции (1269, 1273, 1277).

1230. Я мог бы привести *множество* других видоизменений опыта как старых, так и новых, в которых имеет место индукция по кривым или скругленным линиям, но после предыдущих

результатов, я полагаю, в этом нет надобности; поэтому я приведу только два. Если наэлектризовать проводник *A* (рис. 117) и поставить перед ним неизолированный металлический шар *B* или даже пластину, только чтобы края ее были не слишком тонки, то небольшой неизолированный электрометр у *c* или *d* будет указывать на присутствие электричества, противоположного по природе электричеству в *A*, и значит, причиненного индукцией, хотя влияющее и подвергаемое влиянию тела нельзя соединить прямой линией, проходящей через воздух. Еще: если удалить электрометр, а к задней стороне неизолированного шара *C* прикрепить острие, то оно будет светиться и разряжать проводник *A*. Последний опыт описан Никольсоном¹ (Nicholson), который, однако, рассуждает о нем ошибочно. Если я упоми-

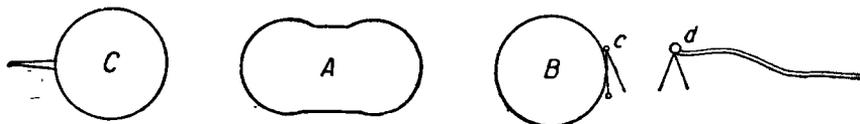


Рис. 117.

наю об этом опыте здесь, хотя он представляет собой случай разряда, то этому разряду предшествует индукция, и эта индукция должна была происходить по кривым линиям.

1231. Я не могу себе представить, чтобы можно было не видеть в предыдущих выводах доводов, говорящих против принятой теории индукции и в пользу той, которую я решился выдвинуть. Эти явления, несомненно, представляют собой индуктивные явления и производятся электричеством не в форме тока, а в его статическом состоянии, и эта индукция проявляется по силовым линиям, которые, хотя и могут быть прямыми во многих опытах, но здесь более или менее искривлены в зависимости от обстоятельств. Я пользуюсь термином *линия индуктивной силы* только в качестве временного условного способа выражения направления этой силы в случаях индукции. Любопытно то, что в опытах с полушарием (1224), когда некоторые линии

¹ Encyclopaedia Britannica, VI, стр. 504.

оканчивались на нижней поверхности и на краю металла, те линии, которые были раньше боковыми по отношению к ним, *расширяются и расходятся* друг от друга, причем одни загибаются кругом и заканчивают свое действие на верхней поверхности полушария, а другие как бы встречаются наверху при своем стремлении наружу, объединяют свои силы, чтобы сообщить шарик-передатчику увеличенный заряд на *увеличенном расстоянии* от источника силы; при этом они влияют друг на друга так, что получается второе искривление в направлении, противоположном первому. Все это, мне кажется, подтверждает, что общее действие представляет собой действие связанных друг с другом смежных частиц не только по линиям, которые, как можно себе представить, они образуют в диэлектрике между индуцирующей и индуцируемой поверхностями (1483), но и по другим боковым направлениям. Именно это и вызывает действия, эквивалентные боковому отталкиванию или расширению силовых линий, о котором я говорил, и дает возможность индукции огибать углы (1304). В отличие от силы тяготения, которая заставляет частицы действовать друг на друга по прямым линиям, независимо от того, какие другие частицы находятся между ними, эта сила оказывается более сходной с силой ряда магнитных стрелок или же с состоянием тех частиц, совокупность которых, как принято считать, составляет прямолинейный или подковообразный магнит. Таким образом, с какой бы точки зрения я ни рассматривал вопрос, учитывая влияние, которое могли бы оказать на мое мнение общепринятые идеи, я не могу себе представить, каким образом обычной теорией можно воспользоваться для объяснения индукции, и как она при этом может оказаться правильным выражением великого естественного принципа электрического действия.

1232. При описании предосторожностей, необходимых при пользовании индуктивными приборами, я имел случай указать на одну из них, основанную на индукции по кривым линиям (1203); после описанных опытов легко понять, какое сильное влияние может оказывать шёллаковый стержень на заряд при-

ложенного к прибору (1218) шарика-передатчика, если не принять этой предосторожности.

1233. Я считаю целесообразным здесь же вместе с настоящими экспериментальными исследованиями описать некоторые непредвиденные явления, зависящие от *проводимости* и полученные с такими телами, как стекло, шеллак, сера и т. п. Поняв их правильно, мы познакомимся с некоторыми предосторожностями, необходимыми при исследовании важного вопроса об удельной индуктивной способности.

1234. В один из описанных индукционных приборов (1187 и т. д.) была введена полусферическая чашечка из шеллака, которая занимала почти все пространство между внутренним шаром и нижним полушарием; поэтому, когда прибор был заряжен, то диэлектриком или изолирующей средой, через которую здесь проходила индукция, служил шеллак. Когда, при прочих равных обстоятельствах, этот прибор сначала заряжался электричеством (1198) до некоторого напряжения, например 400° , измеряемого электрометром Кулона (1180), то последнее от этого значения убывало значительно быстрее, чем когда прибор ранее заряжался до более высокой степени и напряжение постепенно падало до 400° , или в том случае, когда путем нового сообщения заряда последний снова приводился к 400° . Далее, пусть прибор был заряжен в течение некоторого времени, например пятнадцати или двадцати минут; если его теперь сразу и до конца разрядить так, чтобы удалить все электричество даже со стержня (1203), то, будучи предоставлен самому себе, прибор постепенно вновь получал заряд, который в течение девяти или десяти минут возрастал до 50 или 60° , а в одном случае до 80° .

1235. Электричество, которое в этих случаях как бы переходило из скрытого в осязательное состояние, всегда оказывалось того же рода, как сообщенное ему при зарядке. Восстановление заряда происходило на обеих индуцирующих поверхностях, ибо если после полного разряда прибора он весь изолировался, то когда внутренний шар вновь принимал положительное состояние, внешняя сфера приобретала отрицательное.

1236. Это явление можно было сразу отличить от производимого возбужденным стержнем, действующим по кривым линиям индукции (1203, 1232), так как восстанавливавшийся заряд можно было полностью и мгновенно разрядить. Он, повидимому, зависит от внутреннего шеллака и каким-то образом производится электричеством, выделяющимся из шеллака вследствие того предшествующего состояния последнего, в которое он был приведен зарядом металлических обкладок или шаров.

1237. Чтобы исследовать это состояние более точно, прибор с помещенной внутри полусферической шеллаковой чашечкой в течение примерно сорока пяти минут заряжался положительным электричеством выше 600° через верхний и внутренний шарики h и B (рис. 109). Затем прибор разряжался, раскрывался, шеллак вынимался, и его состояние исследовалось; для этого близко к шеллаку подносили шарик-передатчик, соединяли его с землей, изолировали и затем наблюдали, какой он приобрел заряд. Если бы этот заряд был обусловлен индукцией, то состояние шарика свидетельствовало бы о противоположном электрическом состоянии той поверхности шеллака, которая производила заряд шарика. Сначала казалось, что на шеллаке нет никакого заряда, но постепенно две его поверхности принимали противоположные электрические состояния, причем вогнутая поверхность, которая находилась ближе к внутреннему положительному шару, принимала положительное состояние, а выпуклая поверхность, которая соприкасалась с отрицательной обкладкой, приобретала отрицательное состояние; в течение некоторого времени интенсивность этих состояний постепенно возрастала.

1238. Так как, повидимому, возвращение происходило наиболее сильно непосредственно после разряда, то я вновь собрал прибор и заряжал его в течение пятнадцати минут, как и раньше; внутренний шар заряжался положительно. Затем я разряжал прибор, мгновенно удалял верхнее полушарие вместе с внутренним шаром и, оставляя шеллаковую чашечку на нижнем неизолированном полушарии, исследовал ее внутреннюю поверхность

с помощью шарика-передатчика так же, как ранее (1237). Таким путем я обнаружил, что эта поверхность действительно была заряжена отрицательно, т. е. находилась в состоянии, противоположном состоянию находившегося в ней шара; это состояние быстро исчезало и сменялось положительным, интенсивности которого, как и раньше, возрастала в течение некоторого времени. Первоначальное отрицательное состояние поверхности, обращенной к положительному заряжающему шару, является естественным следствием существующего положения вещей, так как заряжающий шар соприкасается с шеллаком только в нескольких точках. Оно не противоречит основному результату и рассматриваемому нами особому состоянию, а лишь помогает отчетливо иллюстрировать то обстоятельство, что поверхности шеллака в конце концов приходят в наэлектризованное состояние, подобное состоянию тех металлических поверхностей, которые обращены к ним или находятся с ними рядом.

1239. Далее, в отношении способности принимать это особое состояние было исследовано стекло. Я отлил сферическую чашечку из толстого флинт-гласа, которая легко входила в пространстве *o* нижней полусферы (1188, 1189); для уничтожения проводимости поверхности стекла, чашечка была подогрета и покрыта спиртовым раствором шеллака (1254). Подогрев ее и произведя с ней опыты, я нашел, что она также могла придти в *то же самое состояние*, но, повидимому, не в такой же степени, так как в различных случаях величина возвратного действия доходила только до $6-18^{\circ}$.

1240. При таких же опытах со спермацетом последний дал положительные результаты. Когда я поддерживал первоначальный заряд в течение пятнадцати или двадцати минут около 500° , то возвратный заряд был равен $95-100^{\circ}$, и примерно через четырнадцать минут достигал максимального значения. Заряд, который длился не более чем две-три секунды, сменялся здесь возвратным зарядом в 50 и 60° . Сделанные ранее наблюдения (1234) имели силу и в случае этого вещества. Спермацет, хотя он и изолирует в течение некоторого времени небольшой заряд,

является лучшим проводником, чем шеллак, стекло и сера, и эта проводимость связана с той легкостью, с которой он обнаруживает рассматриваемое нами особое явление.

1241. С е р а. Я интересовался величиной действия в этом веществе, во-первых, потому, что оно является прекрасным изолятором и в этом отношении иллюстрировало бы связь между этим явлением и степенью присущей диэлектрику проводимости (1247), и, во-вторых, чтобы иметь вещество, дающее наименьшую степень рассматриваемого здесь действия для изучения вопроса об удельной индуктивной способности (1277).

1242. Со сферической литой чашечкой из серы, безукоризненно вылитой, возвратный заряд, который я получил, достигал лишь $17-18^\circ$. Таким образом стекло и сера, которые сами по себе являются очень плохими проводниками электричества и действительно почти совершенными изоляторами, давали очень небольшой возвратный заряд.

1243. Такой же опыт я пытался произвести, когда в индуктивном приборе был только воздух. После непрерывного сильного заряда в течение некоторого времени мне удалось получить небольшое явление возвратного действия, но в конце концов оказалось, что оно зависело от шеллака стержня.

1244. Я хотел получить что-нибудь похожее на это состояние с электрической силой только одного рода и без помощи индукции, так как, с точки зрения теории электрической жидкости или жидкостей, это представлялось вполне возможным; и затем я получил бы при этом абсолютный заряд (1169, 1177) или нечто, ему эквивалентное. Это мне не удалось. В течение некоторого времени я очень сильно заряжал наружную поверхность шеллакового цилиндра и потом, быстро разрядив его (1203), ждал и наблюдал, не появится ли какой-нибудь возвратный заряд, но этого не случилось. Это является еще одним фактом в пользу неразделимости двух электрических сил (1177) и лишним доводом в пользу того взгляда, что индукция и сопровождающие ее явления зависят от полярности частиц вещества.

1245. Первоначально я склонялся к тому, чтобы приписать эти явления особому скрытому состоянию, в которое приходит некоторая часть сил; я полагаю, однако, что с тех пор правильно объяснил их уже известными причинами электрического действия. Эти явления, повидимому, объясняются действительным проникновением заряда на некоторое расстояние внутрь электрика у каждой из его поверхностей путем того, что мы называем *проводимостью*. Таким образом, выражаясь обычным языком, поддерживающие индукцию электрические силы находятся не только на металлических поверхностях, но также и на диэлектрике и внутри его, распространяясь на большую или меньшую глубину от металлических обкладок. Пусть c (рис. 118) представляет собой сечение пластинки из какого-либо диэлектрика, a и b — металлические обкладки; допустим, что b не уединена, а a заряжена положительно; если по истечении десяти или пятнадцати минут a и b разрядить, изолировать и тотчас же исследовать, то на них не появится никакого заряда; но через короткий промежуток времени, при вторичном исследовании, они окажутся заряженными также же, как первоначально, хотя и не в такой степени. Теперь предположим, что часть положительной силы под побуждающим влиянием всех замешанных в опыт сил проникла в диэлектрик и заняла место на линии p , а соответствующая часть отрицательной силы также заняла свое место на линии n ; что фактически электрик в этих двух местах зарядился положительно и отрицательно; тогда очевидно, что теперь, когда эти две силы отделены друг от друга незначительным расстоянием pn , индукция будет значительно больше по направлению друг к другу и меньше в направлении наружу, чем когда они были на большем расстоянии ab . Затем разрядим a и b ; этот разряд уничтожит или нейтрализует всю внешнюю индукцию, и

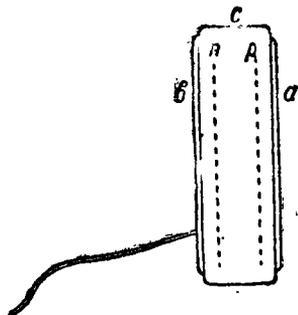


Рис. 118.

шарик-передатчик покажет, что обкладки не наэлектризованы; но разряд в то же время устраняет все те силы, которые заставляют электрические заряды проникать в диэлектрик, и хотя часть этих зарядов, по всей вероятности, продолжает продвигаться вперед и заканчивается тем, что мы называем разрядом, но более значительная часть идет обратным путем к поверхностям c , а следовательно к проводникам a и b , и образует наблюдаемый нами возвратный заряд.

1246. Правильность этого взгляда подтверждается следующим опытом. Две пластинки из спермацета d и f (рис. 119) складывались вместе и образовали диэлектрик, а a и b , как и раньше, служили металлическими обкладками этой составной пластинки. Система заряжалась, затем разряжалась, изолировалась, исследовалась; оказалось, что она не сообщает шарик-передатчику и следов электричества. Затем пластинки d и f отделялись друг от друга, и в тот же момент a и d оказывались заряженными положительно, а b и f — отрицательно; при этом почти все электричество располагалось на границах a и b . Отсюда ясно, что из искомым сил положительная находилась на

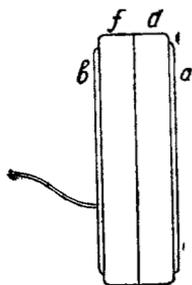


Рис. 119.

одной половине составной пластинки, а отрицательная — на другой, ибо при удалении их вместе с пластинками из-под взаимного индуктивного влияния они появлялись в разделенных друг от друга точках и по необходимости восстанавливали свою способность действовать путем индукции на электричество окружающих тел. Если бы это явление зависело только от особой связи между смежными частицами вещества, то каждая половина пластинки d и f должна была бы обнаружить положительную силу с одной стороны поверхности и отрицательную — с другой.

1247. Итак, повидимому, ясно, что наилучшие твердые изоляторы, как шеллак, стекло и сера, обладают проводящими свойствами в такой степени, что электричество может проникать внутрь их массы, хотя оно всегда подвержено преобладающему дей-

ствию индукции (1178). Что касается глубины, на которую силы проникают в виде такого заряда частиц, то теоретически они должны проходить через всю массу, ибо так же, как заряд металла, действует на расположенное рядом с ним место диэлектрика, так же, в свою очередь, должен действовать заряженный диэлектрик на соседнюю часть вещества; но, по всей вероятности, в самых лучших изоляторах ощутимый заряд проникает в вещество лишь на очень небольшую глубину, ибо в противном случае в первый момент, пока еще поддерживается первоначальный заряд, исчезало бы больше электричества, меньше времени потребовалось бы на то, чтобы установить описываемое особое состояние, и больше электричества появлялось бы в виде возвратного заряда.

1248. То обстоятельство, что для этого проникновения заряда требуется *время*, существенно как в отношении общей связи этих явлений с проводимостью, так и потому, что оно устраняет те возражения, которые можно было бы в противном случае выдвинуть против некоторых описываемых ниже (1269, 1277) выводов, касающихся удельной индуктивной способности.

1249. Именно это временное приобретение заряда стеклом, находящимся между обкладками лейденской банки, и дает начало общеизвестному явлению, а именно *остаточному заряду*; это явление обычно относят за счет распространения электричества по непокрытой части стекла. Величина заряда, который может самопроизвольно восстановиться на большой батарее после полного разряда обкладок, весьма значительна, и весьма большая часть его обусловлена возвратом электричества описанным способом. Если у пластинки из шеллака, площадью в шесть квадратных дюймов и толщиной в полдюйма, или такой же пластинки из спермацета, толщиной в один дюйм, оклеить стороны станиолем, как в лейденской банке, то на них это явление видно превосходно.

1250. Только что описанное особое состояние диэлектриков, очевидно, способно породить такие действия, которые вредно отзываются на результатах опытов с двумя индуктивными при-

борами, и на выводах, которые из них можно делать, когда в одном или обоих приборах имеются шеллак, стекло и т. п. (1192, 1207); в самом деле, вполне понятно, что по разделении заряда описанным образом (1198, 1207) напряжение того прибора, который только что получил свою половину заряда, должно падать быстрее, чем напряжение другого. Действительно, предположим, что прибор I получил заряд первым и разделил его с прибором II; пусть утечка в обоих будет одинаковой; но уменьшенный до половины заряд прибора I будет поддержан некоторым количеством возвратного действия или заряда (1234), тогда как заряд прибора II будет убывать быстрее вследствие прихода в то же особое состояние. Я хотел избежать этого затруднения тем, что производил весь процесс сравнения возможно быстрее и измерял силу прибора II немедленно по разделении зарядов, раньше, чем могло произойти заметное уменьшение напряжения, зависящее от наступающего особого состояния; я полагал, что минуты три проходит между первоначальной зарядкой прибора I и разделением зарядов и столько же между разделением и разрядом, когда измеряется сила не способного передаваться электричества, а потому противоположные стремления в течение этих периодов времени будут в течение последнего промежутка времени удерживать прибор в более или менее устойчивом и однородном состоянии.

1251. Описанное особое действие возникает как в шеллаковом стержне, так и в *диэлектрике*, которым мы пользуемся внутри прибора. Оно представляет собой возможную причину того, что при некоторых манипуляциях наружная поверхность стержня оказывается заряженной электричеством, независимо от действия пыли или переносящих заряды частиц (1203).

ГЛАВА V

Об удельной индукции или удельной индуктивной способности

1252. Теперь я перехожу к рассмотрению важного вопроса об удельной индуктивной способности, т. е. о том, действительно ли различные диэлектрики оказывают какое-либо влияние на

степень проходящей через них индукции. Если бы подобное различие существовало, то оно было бы, по моему мнению, не только чрезвычайно важно для дальнейшего понимания законов и действий индукции, но и лишним и очень сильным доводом в пользу выдвинутой мною теории, что все явление обусловлено молекулярным действием, в противоположность теории действия на заметных расстояниях.

Вопрос можно поставить так: пусть A представляет собой подвешенную в воздухе наэлектризованную металлическую пластинку, а B и C — две точно такие же пластинки, расположенные параллельно A по обе стороны от нее на одинаковых расстояниях и неизолированные; в таком случае индуктивное действие A по направлению к B и C будет одинаково. Если при этом положении пластинок ввести между A и C не воздух, а какой-нибудь другой диэлектрик, например шеллак, то останется ли индукция между ними прежней? Останется ли отношение C и B к A неизменным, несмотря на различие в проложенных между ними диэлектриках?¹

1253. Насколько я знаю, принято считать, что при такой перемене условий никакого изменения не возникает, и что поведение B и C по отношению к A зависит целиком от их расстояния. Я припоминаю только один опыт по этому вопросу, а именно произведенный Кулоном,² где он показывает, что провод, окруженный шеллаком, отнимает от заряженного тела точно такое же количество электричества, как тот же самый провод в воздухе. Я не думаю, чтобы этот опыт действительно доказывал правильность такого предположения, ибо рассматривать и сравнивать следует не просто слои диэлектрического вещества, окружающие заряженное тело, а *всю массу* этого вещества между этим телом и теми окружающими его проводниками, на которых заканчивается индукция. Заряд обусловлен индукцией (1171, 1178), и если индукция имеет отношение к частицам окружающего диэлектрика, то она связана со *всеми* частицами этого диэлектрика,

¹ Для практической иллюстрации этого положения см. дополнительное примечание, начинающееся с п. 1307 и т. д. Дек. 1838 г.

² Mémoires de l'Académie, 1787, стр. 452, 453.

заклученного между окружающими проводниками, а не только с теми немногими, которые расположены рядом с заряженным телом. Существовало ли искомое мною различие или нет, я вскоре нашел основание усомниться в том заключении, которое можно было бы вывести из полученного Кулоном результата; и потому я изготовил прибор, который, так же как и его употребление (1187 и т. д.), описан выше, и который представляется мне вполне подходящим для исследования этого вопроса.

1254. Стекло и многие вещества, которые на первый взгляд могли бы считаться весьма удобными для проверки этого принципа, оказались в высшей степени неподходящими для этой цели. Поверхность стекла, как бы хорошо ее ни прогреть и высушить, обладает, главным образом вследствие содержащихся в нем щелочей, некоторой проводимостью, зависящей от влажности атмосферы, и это делает его непригодным для решающего опыта. Канифоль, воск, петролейный эфир, скипидар и многие другие вещества были одно за другим отвергнуты из-за присущей им небольшой проводимости, и после многих опытов в качестве диэлектриков, наиболее подходящих для исследования, были окончательно выбраны шеллак и сера. Нетрудно понять, каким образом при слабой проводимости вещества получают явления, из которых можно было бы заключить, что это вещество обладает большей способностью пропускать через себя индукцию, чем другое, более совершенное по своей изоляции тело. Я нашел, что этот источник ошибок всего труднее устранить в решающих опытах.

1255. И н д у к ц и я ч е р е з ш е л л а к. В качестве подготовительного опыта я прежде всего удостоверился в том, что, когда часть поверхности толстой шеллаковой пластины была возбуждена или заряжена, то никакого заметного различия в характере индукции, поддерживаемой этой заряженной частью, вообще нет, все равно, куда индукция направлена — через воздух или в другую сторону, через шеллак пластинки; необ-

ходимо только, чтобы вторая поверхность пластинки не была заряжена путем контакта с проводниками, действием пыли или каким-либо другим образом (1203). Вследствие того, что шеллак находится в твердом состоянии, его возбужденные частицы оставались в неизменном положении, но этим, повидимому, все и ограничивалось, ибо частицы действовали совершенно так же свободно в одну сторону через шеллак, как и через воздух в другую. Другой такой опыт состоял в следующем: я прикреплял с одной стороны шеллаковой пластинки станиолевый диск и электризовал его; результаты получались те же. Пожалуй, ни одно твердое вещество, кроме шеллака и серы, и ни одна жидкость из тех, которые я исследовал, не выдержат такого испытания. Стекло в обыкновенном своем состоянии совершенно не годится; между тем, было существенно необходимо получить эту предварительную степень совершенства взятого для опыта диэлектрика, и только потом можно было продолжать основное исследование.

1256. Прежде всего были подвергнуты сравнению *шеллак и воздух*. Для этой цели внутрь нижнего полушария одного из индуктивных приборов (1187 и т. д.) была введена толстая полусферическая шеллаковая чаша; она при этом почти заполняла нижнюю половину пространства *oo* (рис. 109) между полушарием и внутренним шаром, а затем делились заряды уже описанным способом (1198, 1207); первым заряжался до разделения то один, то другой прибор по очереди. Поскольку известно, что оба прибора, будучи заполнены воздухом, обладают одинаковой индуктивной способностью (1209, 1211), то всякие различия, которые возникают в результате введения шеллака, укажут на особенности действия в нем, и если бы эти особенности бесспорно можно было приписать удельному индуктивному влиянию, то положение, которое я пытаюсь поддержать, было бы доказано. Я уже упоминал о предосторожностях, необходимых при производстве этих опытов (1199 и т. д.), а что касается ошибки, которая могла бы возникнуть вследствие приобретения [диэлектриком] особого состояния, то она, насколько возможно, предотвращалась прежде всего тем, что опыт производился быстро (1248), и еще тем, что

для опыта брались такие диэлектрики, как стекло или сера, которые воспринимали это особое состояние наиболее медленно и в наименьшей степени (1239, 1241).

1257. Шеллаковое полушарие было помещено внутрь прибора I, а прибор II был оставлен заполненным воздухом. Вот результаты одного опыта, при котором заряд в воздухе был разделен и уменьшен прибором с шеллаком:

Прибор I. Шеллак	Прибор II. Воздух
Шарики 255°	
0°	304°
.....	297°
Заряд разделен	
113°	121°
0°	7°
.....	после разряда
	после разряда

1258. Здесь можно считать, что 297° минус 7°, т. е. 290° (7° представляет собой постоянное действие стержня (1203, 1232)), есть делимый заряд прибора II, половина которого составляет 145°. Прибор I с шеллаком дал для силы, или напряжения, приобретенного им по разделению заряда, величину 113°, а для силы, которую сохранил прибор II с воздухом из того, что он удержал из делимого заряда, равного 290°, получилась величина 121° минус 7°, т. е. 114°. Ясно, что эти два значения должны быть равны, и это действительно почти так, ибо разница гораздо меньше ошибок опыта и наблюдения. Но эти числа очень сильно отличаются от 145°, или от силы, которую обнаружил бы половинный заряд, если бы прибор I вместо шеллака содержал воздух; ясно, что во время разделения заряда индукция через воздух потеряла силу величиной 176°, а индукция через шеллак приобрела за это время только 113°.

1259. Если предположить, что эта разница целиком объясняется большей по сравнению с воздухом легкостью, с которой шеллак допускает или производит индуктивное действие через свою массу, то эта способность к электрической индукции была

бы обратно пропорциональна указанным выше потере и приросту заряда; если положить емкость воздушного прибора равной единице, то емкость прибора с шеллаком получилась бы $\frac{176}{113}$, или 1,55.

1260. Что значение этой разницы так велико, было настолько неожиданно, что вызвало сильнейшие подозрения относительно точности опыта вообще, хотя прибор I после разделения заряда разряжался полностью, что указывало на то, что величина 113° принималась и отдавалась прибором без затруднений. Было очевидно, что если такое различие действительно существует, то оно должно производить соответствующие действия и в обратном порядке, и что если превратить индукцию через шеллак в индукцию через воздух, сила или напряжение всей системы должны *увеличиться*. Поэтому прибор I был заряжен первым, и его сила была разделена с прибором II. Результаты получились следующие:

Прибор I. Шеллак	Прибор II.	Воздух	
	.....	0°	
215°	.....	
204°	.....	
	Заряд разделен		
	.....	118°	
118°	.....	
	.....	0°	после разряда
0°	.....		после разряда

1261. Здесь 204° соответствует наибольшей величине делимого заряда. Прибор I и прибор II дают для их соответствующих сил величину 118° ; теперь оба значения значительно больше половины первоначальной силы, т. е. 102, тогда как в первом случае они были меньше половины ее. Прибор I с шеллаком потерял только 86° , но сообщил он прибору II с воздухом заряд 118° , так что шеллак попрежнему значительно превосходит воздух, и емкость прибора I с шеллаком относится к емкости воздушного прибора II, как 1,37 к 1.

1262. Разница между числами 1,55 и 1,37, выражающими способность шеллака к индукции, кажется значительной, но в действительности она при данных условиях вполне допустима, ибо в указанных двух случаях ошибка имеет *противоположное направление*. Так, в последнем опыте под совместным действием рассеяния и поглощения (1192, 1250) заряд уменьшился с 215 до 204° за то время, которое пошло на манипуляции с электрометром между двумя прикосновениями шарика-передатчика, необходимыми для получения этих двух результатов. Почти столько же времени, вероятно, прошло между прикосновением шарика, давшим результат в 204° , и разделением заряда между двумя приборами; но уменьшение силы постепенно падает по величине (1192); примем ее в данном случае равной всего 6° ; тогда к моменту разделения заряда полная величина передаваемого заряда уменьшится до 198° вместо 204° ; это уменьшает потерянный шеллаком заряд до 80° вместо 86° , и тогда выражение для удельной способности его увеличивается и оказывается превосходящим способность воздуха не в 1,37 раза, а в 1,47 раза.

1263. Внеся такую же поправку в предшествующий опыт, в котором *первым* был заряжен воздух, получим результат *противоположного* рода. В этом случае в приборе не имелось шеллаковой чаши, и поэтому потеря была обусловлена главным образом рассеянием, а не поглощением; следовательно, она должна быть ближе к потере, указываемой числами 304 и 297° , и если принять ее равной 6° , то она уменьшит делимый заряд до 284° . В таком случае воздух потерял бы 170° и сообщил бы шеллаку всего 113° , и удельная способность последнего оказалась бы равной 1,50, что, действительно, очень мало отличается от 1,47, величины, даваемой вторым опытом, если его поправить таким же образом.

1264. Затем шеллак был удален из прибора I и помещен в прибор II, и снова были произведены опыты с разделением заряда. Я привожу эти результаты, так как полагаю, что важность вопроса оправдывает и даже требует этого.

Прибор I. Воздух	Прибор II. Шеллак	
	Шарики 200°	
	.....	0°
286°	.....
283°	.....
	Заряд разделен	
	.....	110°
109°	.....
	.....	0,25°
Следы	.....	после разряда после разряда

Здесь прибор I удержал 109°, потеряв 174°, и сообщив прибору II 110°; емкость воздушного прибора с воздухом относится к емкости прибора с шеллаком, как 1 к 1,58. Если поправить разделенный заряд на потерю, принимая последнюю всего в 3° (это представляет собой величину предшествующих потерь за такой же промежуток времени), то это понизит емкость прибора с шеллаком до величины, равной всего 1,55.

1265. Затем был заряжен прибор II, и заряд был разделен таким образом:

Прибор I. Воздух	Прибор II. Шеллак.	
0°	.....
	.....	256°
	.....	251°
	Заряд разделен	
146°	.....
	.....	149°
немного	.....	после разряда
	.....	немного после разряда

Здесь прибор I приобрел заряд в 146°, тогда как прибор II, сообщая эту величину силы, потерял всего 102°; таким образом емкости относятся друг к другу, как 1 к 1,43. Если в величину всего передаваемого заряда внести поправку на потерю в 4° до разделения, то это даст для емкости прибора с шеллаком значение 1,49.

1266. Эти четыре значения — 1,47; 1,5; 1,55 и 1,49 — для силы шеллакового прибора при различных видоизменениях опыта очень близки друг к другу; среднее из них очень близко 1,5, что

и можно в дальнейшем принимать за выражение результата. Последний чрезвычайно важен; показывая превосходство данного куска шеллака над воздухом в смысле допущения или произведения акта индукции, он тем самым еще сильнее подтверждает необходимость более точного и строгого изучения вопроса в целом.

1267. Шеллак был наилучшего качества и был тщательно отобран и очищен, но если бы в нем заключались какие-нибудь проводящие частицы, то они стремились бы в сущности уменьшить количество или толщину испытываемого диэлектрика и произвести такое действие, как если бы две индуцирующие поверхности проводников в этом приборе были ближе друг к другу, чем в приборе с одним лишь воздухом, а потому я изготовил другую шеллаковую полусферу, материал которой был растворен в крепком винном спирте; раствор был профильтрован и затем тщательно выпарен. Это не легкая работа, ибо трудно удалить последние следы спирта, не испортив шеллак нагреванием. а если не избавиться от них, то оставшееся вещество проводит так хорошо, что им в этих опытах пользоваться нельзя. Я изготовил таким способом две полусферы, одну из них безукоризненно, и повторил с ней предыдущие опыты со всеми предосторожностями. Результаты получились точно такие же; для емкости прибора с шеллаком, — все равно, какой это был прибор, I или II, — опыты непосредственно дали следующие значения: 1,46; 1,50; 1,52; 1,51; среднее из них и нескольких других очень близко к 1,5.

1268. Для окончательной проверки этого общего заключения я в дальнейшем фактически сблизил поверхности в воздушном приборе в месте, соответствующем местоположению шеллака в другом приборе; для этого в нижнюю полусферу прибора, не содержащего шеллака (1213), была вложена металлическая прокладка. Расстояние между металлической поверхностью и несущим заряд шаром было таким путем уменьшено с 0,62 до 0,435 дюйма, тогда как промежуток, занятый шеллаком в другом приборе, оставался, как и раньше, равным 0,62 дюйма.

Несмотря на это изменение, прибор с шеллаком обнаруживал прежнее превосходство, и независимо от того, какой прибор заряжался первым — этот или воздушный прибор, — емкость прибора с шеллаком относилась к емкости воздушного прибора, согласно результатам опыта, как 1,45 к 1.

1269. На основании всех сделанных мною опытов и их неизменных результатов я не могу не вывести заключения, что шеллак представляет случай удельной индуктивной способности. Я всячески пытался проверить эти опыты, и если не устранить, то по крайней мере оценить все источники ошибок. Что окончательный результат нельзя объяснить обычной проводимостью, на это указывает способность прибора удерживать сообщенный ему заряд; что результат не зависит от проводимости небольших включенных частиц, благодаря которой последние, как проводники, могли бы приобрести поляризованное состояние, это подтверждается действиями шеллака, очищенного спиртом; а что результат не вызывается каким-либо влиянием описанного выше заряженного состояния (1250), заключающегося в поглощении и последующей отдаче заряда, это видно из того, как *мгновенно* принимается и разряжается сила, которая участвует в описанных явлениях; такая мгновенность действия имеет место в этих случаях в той же мере, как во всех других случаях обыкновенной индукции с помощью заряженных проводников. Последнее соображение особенно поразительно в применении к тому случаю, когда для разделения заряда с прибором, содержащим шеллак, служит прибор с воздухом, ибо он получает свою порцию электричества *мгновенно* и, тем не менее, оказывается заряженным значительно выше средней величины.

1270. Теперь допустим, что основной факт доказан; тогда цифра 1,5, хотя она и дает выражение для емкости прибора, содержащего шеллак, никоим образом не выражает соотношения между шеллаком и воздухом. Шеллак в содержащем его приборе занимает только половину пространства *oo*, через которое поддерживается индукция; остальное пространство заполнено воздухом, как и в другом приборе; и если отвлечься от действия

двух верхних полушарий, то сравнение силы шеллака в нижней половине одного прибора с силой воздуха в нижней половине другого даст отношение 2 : 1; и даже это будет меньше истинного, ибо индукция верхней части прибора, т. е. провода и шарика *B* (см. рис. 109) на внешние предметы должна быть одинакова в обоих приборах и значительно уменьшает то различие, которое зависит от влияния шеллака внутри и действительно им производится.

1271. С т е к л о. После этого я в качестве диэлектрика пользовался стеклом. Тут имелась возможность проводимости по поверхности, но исключалась всякая мысль о присутствии проводящих частиц внутри его вещества (1267), кроме частиц самого стекла. Кроме того, оно не так легко и не в таких размерах, как шеллак, приходит в заряженное состояние (1239).

1272. Тонкая полусферическая стеклянная чашечка была нагрета и покрыта слоем шеллака, растворенного в спирту, и после просушки в течение многих часов в теплом месте была внесена в прибор для производства с ней опытов. Обнаруженные ею действия были настолько незначительны, что хотя характер их и указывал на превосходство стекла над воздухом, их можно было отнести за счет возможных ошибок опыта; я принял, что стекло не создает заметного действия.

1273. Затем я достал толстую полусферическую чашку из флинт-гласа, похожую на чашку из шеллака (1239), но она не так хорошо заполняла пространство *oo*. Средняя толщина ее была равна 0,4 дюйма; чтобы получить полную величину промежутка между индуктивными металлическими поверхностями, равного 0,62 дюйма, имеющейся дополнительной воздушной прослойке надо приписать среднюю толщину 0,22 дюйма. Эта чашка, как и предыдущая, была покрыта слоем шеллака (1272) и в сильно нагретом состоянии была внесена в прибор, также подогретый; затем с ней были произведены те же опыты, как и в предыдущих случаях (1257 и т. д.). В общем результаты получились такие же, как с шеллаком, т. е. стекло превосходило воздух по своей способности пропускать индукцию. Два самые лучшие ре-

зультата (в смысле сохранения прибором заряда и т. п.) дали для удельной индуктивной способности стекла число 1,336, когда первым был заряжен воздушный прибор, и 1,45, когда первым заряжался прибор со стеклом; оба результата приведены без поправки. Среднее из девяти опытов, из которых в четырех заряжался прибор со стеклом, а в пяти — воздушный, дало для этой способности прибора, содержащего стекло, величину 1,38; минимальное и максимальное значение этих чисел, включая и все ошибки опыта, были равны 1,22 и 1,46. Во всех этих опытах прибор со стеклом получал свой индуктивный заряд мгновенно и так же быстро его отдавал (1269) и в течение короткого промежутка времени, соответствующего каждому опыту, приходил в особое состояние лишь в небольшой степени, так что влияние на результаты этого состояния, а также проводимости должно было быть незначительным.

1274. Допуская, что существование удельной индуктивной способности доказано, что она является действующей в настоящем случае, и что значение ее для прибора со стеклом равно 1,38, получим для удельной индуктивной способности стекла величину, превосходящую 1,76; но не следует забывать, что это выражение получено для куска стекла такой толщины, что она составляет не полные две трети пространства, в котором поддерживается индукция (1273, 1253).

1275. С е р а. С прежней полусферой из этого вещества (1242) были сделаны опыты с прибором II. Опыты были произведены аккуратно, т. е. сама сера была свободна от заряда как до опыта, так и после него; не было также действия со стороны стержня (1203, 1232), так что в этом отношении поправки не требовалось. Когда воздушный прибор заряжался первым, по разделении его заряда получились следующие результаты:

Прибор I. Воздух	Шарики 280°	Прибор II. Сера
0°	0°
438°	
434°	

Прибор I. Воздух	Прибор II. Сера
Заряд разделен	
164°	162°
162°	160°
0°	0°
	после разряда после разряда

В этом случае прибор I удерживал заряд 164°, потеряв при сообщении 162° прибору II 270°; емкости воздушного прибора и прибора с серой относятся как 1 к 1,66.

1276. Затем первым был заряжен прибор, содержащий серу:

0°	0°
395°	395°
388°	388°
Заряд разделен	
237°	238°
0°	0°
	после разряда после разряда

Здесь прибор II сохранил 238° и отдал 150°, сообщив прибору I заряд, соответствующий 237°; емкость воздушного прибора относится к емкости прибора, содержащего серу, как 1 к 1,58. Эти результаты очень близки друг к другу, и мы можем принять, что среднее, равное 1,62, представляет собой удельную индуктивную способность прибора с серой; в таком случае удельная индуктивная способность самой серы по сравнению с воздухом, для которого она равна 1 (1270), будет приблизительно равна 2,24 или несколько выше.

1277. Результат опыта с серой я считаю одним из наиболее безупречных. Это вещество при плавлении было совершенно чисто, прозрачно и свободно от частичек грязи (1267), так что результат не был искажен влиянием небольших проводящих тел. В твердом виде это вещество является превосходным изолятором и, как показал опыт, очень медленно приходит в то состояние (1241, 1242), которое, по видимому, одно только и может

искажить выводы. Самые опыты также не требовали поправок. И все же, при всех этих обстоятельствах, столь благоприятствующих исключению ошибок, для серы в результате получается более высокая удельная индуктивная способность, чем для всех других испытанных до сих пор тел; и хотя отчасти это можно объяснить тем, что сера была лучше по форме, т. е. тем, что она лучше заполняла пространство *oo* (рис. 109), чем чашки из шеллака и стекла, все же я с удовлетворением отмечаю, что эти опыты с совершенной полнотой подтверждают существование различия между диэлектриками в отношении их способности облегчать проходящее через них индуктивное действие; временно будем выражать это различие термином: *удельная индуктивная способность*.

1278. Установив таким образом это положение в наиболее благоприятных случаях, которые я мог предвидеть, я перешел к изучению других веществ — твердых, жидких и газообразных. Эти результаты я приведу с подобающей краткостью.

1279. С п е р м а ц е т. Аккуратно сделанное полушарие из спермацета было испытано в отношении проводимости; при этом обе его поверхности еще были в соприкосновении со станиолевой формой; которая служила при ее отливке; при опыте было обнаружено, что чашка заметно проводит даже в нагретом состоянии. Чашка была вынута из формы, и с ней были проделаны опыты в одном из приборов; полученные при этом результаты указывают для удельной индуктивной способности прибора, в котором она содержалась, величину между 1,3 и 1,6. Однако при этом единственный возможный способ действия был таков: зарядить воздушный прибор, а затем, быстро приведя его в прикосновение с прибором, содержащим спермацет, посмотреть, что остается в первом (1281); при таких обстоятельствах эти результаты не заслуживают большого доверия. Они не противоречат общему выводу, но не могут служить доказательством в его пользу.

1280. Я пытался найти какие-нибудь хорошо изолирующие жидкости, которые можно было бы получить в достаточном для

Этих опытов количестве. Скипидар, очищенная природная нефть и сгущенный нефтяной газ на основании обычных опытов были наиболее обещающими в смысле изоляции. Они были оставлены на несколько дней в контакте с плавленным карбонатом кали, хлоридом кальция и негашеной известью, а затем отфильтрованы; при этом их изолирующие свойства сильно ухудшились; впрочем, после перегонки состояние этих веществ становилось опять весьма удовлетворительным, но даже в этом случае при соприкосновении с обширной металлической поверхностью, они оказывались проводящими.

1281. О ч и щ е н н ы й с к и п и д а р. Я заполнял этой жидкостью нижнюю половину прибора I, и так как он не держал заряда в такой мере, чтобы я мог сначала измерить, а затем разделить его, то я заряжал прибор II, содержащий воздух, и, разделив его заряд, путем быстрого соприкосновения с прибором I измерял то, что оставалось в приборе II; ибо теоретически дело представляется так: если путем быстрого соприкосновения разделить заряд между двумя приборами до одинакового напряжения, но без заметных потерь, зависящих от проводимости прибора I, и прибор II останется заряженным до напряжения выше того, которое соответствует половине первоначального заряда, то это бы указало, что скипидар обладает меньшей удельной индуктивной емкостью, чем воздух; напротив, если окажется, что он заряжается ниже этого среднего состояния напряжения, то это бы означало, что жидкость обладает большей индуктивной способностью. В одном опыте такого рода для заряда прибора II получалось 390° до разделения с прибором I и 175° — после этого, а это меньше половины от 390° . Далее, когда заряд до разделения был равен 175° , он после него был равен 79° , что также меньше половины подвергнувшегося разделению заряда. Заряд в 79° был разделен в третий раз и упал до 36° , что меньше половины от 79° . Результатов, лучших, чем эти, мне добиться не удалось; они не противоречат предположению, что скипидар обладает большей удельной способностью, чем воздух, но и не доказывают этого факта, ибо исчезновение больше чем

половины заряда может объясняться просто проводимостью жидкости.

1282. Н е ф т ь. Эта жидкость давала результаты, подобные полученным со скипидаром, в отношении как их природы, так и направления.

1283. Затем был рассмотрен весьма интересный в отношении удельной индуктивной способности класс веществ, а именно газы или вещества, подобные воздуху. Строение их настолько своеобразно, они объединяются множеством таких поразительных физических и химических соотношений, что я ожидал от них замечательных результатов; для первых опытов был взят воздух в различных состояниях.

1284. Воздух разреженный и сгущенный. Некоторые опыты по разделению зарядов (1208), видимо, указывали на то, что рассматриваемые свойства одинаковы для разреженного и для сгущенного воздуха. Простой и более удобный способ состоял в том, чтобы присоединить один из приборов к воздушному насосу, зарядить прибор и затем исследовать напряжение этого заряда при большем или меньшем разрежении находящегося внутри воздуха. При таких условиях оказалось, что если начать с некоторого определенного значения заряда, заряд этот при разрежении воздуха не менялся в отношении своего напряжения или силы до тех пор, пока разрежение не становилось таким, что возникал *разряд* через промежуток *oo* (рис. 109). Этот разряд был пропорционален разрежению, но если он происходил и понижал напряжение до определенной степени, восстановление давления и плотности воздуха до их первоначальных значений вовсе не влияло на степень напряжения.

Дюймы ртутного столба

При давлении 30 заряд был равен	88°
Повторно при давлении 30 заряд был равен	88°
Снова " " 30 " " "	87°
При уменьшении " до 14 " " "	87°
При обратном повышении до 30 " " "	86°
При уменьшении до 34 " уменьшился до	81°
При обратном повышении до 30 заряд оставался равным	81°

1285. Заряды в этих опытах были взяты низкие, во-первых, для того, чтобы они не могли уходить при низком давлении, а, во-вторых, дабы могущая произойти потеря от рассеяния была невелика. В дальнейшем я уменьшил их еще больше, чтобы иметь возможность увеличить разрежение, и для этой цели в следующем опыте пользовался в электрометре измерительным промежутком всего в 15° (1185). При понижении давления воздуха внутри прибора до 1,9 дюйма ртутного столба заряд оказался равным 29° ; когда вовнутрь был впущен воздух до 30 дюймов давления, заряд попрежнему оставался равным 29° .

1286. Эти опыты были повторены с чистым кислородом, и результаты получились такие же.

1287. Тот факт, что изменение плотности или давления воздуха не вызывает изменения в электрическом напряжении, находится в полном согласии с результатами, полученными г. Гаррисом¹ и описанными им в его прекрасных и важных исследованиях, помещенных в *Philosophical Transactions*, а именно, что индукция в разреженном и плотном воздухе одинакова, и что расхождение электрометра при таких изменениях состояния воздуха остается неизменным, если только нет утечки электричества. Это явление совершенно не зависит от свойства плотного воздуха способствовать *удержанию* на поверхности проводников более высокого заряда, чем тот, который могли бы удержать те же самые проводники в разреженном воздухе; этот вопрос я намереваюсь рассмотреть несколько позднее.

1288. Затем я сравнивал друг с другом *горячий и холодный воздух*, для чего я повышал температуру одного из индуктивных приборов настолько, насколько это было возможно без вреда для него, а потом разделял заряды между этими и другим прибором, содержащим холодный воздух. Температуры были равны приблизительно 50 и 200° . Тем не менее, сила или емкость, повидимому, не изменялись; и когда я пытался видоизменить опыт, заряжая холодный прибор и затем подогревая его спиртовой горел-

¹ *Philosophical Transactions*, 1834, стр. 223, 224, 237, 244.

кой, то мне тоже не удавалось получить доказательства того, чтобы индуктивная способность претерпела какое-либо изменение.

1289. Я сравнивал друг с другом *влажный и сухой воздух*, но не мог обнаружить никакой разницы в результатах.

1290. Г а з ы. Затем был предпринят длинный ряд опытов для сравнения друг с другом *различных газов*. Все они оказались хорошими изоляторами, за исключением тех, которые действовали на шеллак поддерживающего стержня, как то: хлор, аммиак и соляная кислота. Перед введением внутрь прибора все они соответствующим образом просушивались. Было бы достаточно сравнивать каждый газ с воздухом, однако ввиду полученных поразительных результатов, а именно, что *все они обладали одной и той же силой, или способностью* к поддержанию индукции (этого, может быть, следовало ожидать после того как было обнаружено, что изменение плотности или давления не производит никакого действия), я захотел сравнить их на опыте попарно различными путями, чтобы никакие различия не могли от меня ускользнуть и чтобы тождество результатов предстало как полная противоположность тому разнообразию свойств, состава и состояния, который представляют самые газы.

1291. Опыты производились над следующими парами газов:

1. Азот	Кислород
2. Кислород	Воздух
3. Водород	Воздух
4. Газообразная соляная кислота	Воздух
5. Кислород	Водород
6. Кислород	Углекислота
7. Кислород	Маслородный газ
8. Кислород	Азотистый газ
9. Кислород	Сернистая кислота
10. Кислород	Аммиак
11. Водород	Углекислота
12. Водород	Маслородный газ
13. Водород	Сернистый газ
14. Водород	Фтористо-кремиевая кислота
15. Водород	Аммиак
16. Водород	Мышьяковистый водород
17. Водород	Сероводород

18. Азот	Маслородный газ
19. Азот	Азотистый газ
20. Азот	Окись азота
21. Азот	Аммиак
22. Окись углерода	Углекислота
23. Окись углерода	Маслородный газ
24. Окись азота	Азотистый газ
25. Аммиак	Сернистая кислота

1292. Несмотря на всякого рода резкие различия, которые представляют эти газы в отношении свойств, плотности, независимо от того, каковы они по природе: простые или сложные, суть ли они анионы или катионы (665); при каком давлении они находятся: при высоком или низком (1284, 1286), горячие или холодные (1288), — ни малейшей разницы в их способности благоприятствовать электрической индукции или пропускать ее через себя обнаружить не удалось. Если считать установленным, что во всех этих газах индукция происходит действием смежных частиц, то это тем более важно и прибавляет еще одно к тем многочисленным и поразительным отношениям, которые наблюдаются для тел, находящихся в газообразном состоянии и форме. Другое столь же важное электрическое свойство, которое будет рассмотрено в следующем докладе, ¹ заключается в том, что проводники, находящиеся в различных газах, при *одинаковом давлении* удерживают на своей поверхности *или одну и ту же или же различные степени заряда*. Эти два вывода, повидимому, являются очень важными для явлений электрохимического возбуждения и разложения; в самом деле, *все* эти явления, какими бы они ни казались различными, должны обуславливаться электрическими силами частиц вещества, а потому одно уже правильное представление о расстоянии, которое, видимо, отделяет друг от друга эти частицы, будет способствовать выяснению того принципа, который объединяет их свойства и подчиняет их, как должно, одному общему закону.

1293. Вполне возможно, что газы и отличаются друг от друга своей удельной индуктивной способностью, но так незначи-

¹ В связи с этим пунктом см. п. 1382 и т. д. Дек. 1838 г.

тельно, что разницу эту нельзя обнаружить посредством именных у меня приборов. Однако следует помнить, что в опытах с газами, последние занимают все пространство *oo* (рис. 109) между внутренним и внешним шарами, за исключением небольшой его части, занятой стержнем, и что поэтому результаты получаются вдвое точнее, чем с твердыми диэлектриками.

1294. Во всех перечисленных опытах изоляция была хорошая, за исключением № 10, 15, 21 и 25, в которых с другими газами сравнивался аммиак. При погружении в аммиачный газ поверхность шеллака постепенно приобретает проводимость, и вследствие этого шеллаковая часть стержня внутри прибора претерпевала такие изменения, что прибор с аммиаком не мог держать заряд достаточно устойчиво для того, чтобы его можно было делить. Поэтому в таких опытах заряжался другой прибор; заряд его измерялся и разделялся с прибором, содержащим аммиак, путем быстрого соприкосновения, а то, что не было отдано при разделении, измерялось снова (1281). Последняя величина оказывалась настолько близкой к половине первоначального заряда, что это, с указанной оговоркой, оправдывает включение аммиачного газа в число других газов, обладающих одинаковой с ним силой.

ГЛАВА VI

Общие выводы относительно природы индукции

1295. Таким образом по существу своему *индукция*, видимо, представляет собой действие смежных частиц, через посредство которых возникающая или проявляющаяся в некотором определенном месте электрическая сила распространяется или поддерживается на некотором расстоянии, проявляясь здесь в виде силы такого же рода, в точности равной по величине, но противоположной по своему направлению и стремлениям (1164). Индукция не требует заметной толщины тех проводников, которые служат для ограничения ее распространения; не удлинненный золотой листочек можно очень сильно наэлектризовать положительно на одной поверхности и так же сильно отрица-

тельно на другой, причем эти два состояния ни в малейшей степени не мешают друг другу во все то время, пока сохраняется индукция. Природа ограничивающих проводников также не влияет на индукцию; требуется только, чтобы при опытах с медленно проводящими веществами им предоставлялся срок для прихода их в окончательное состояние (1170).

1296. Но в отношении *диэлектриков*, или изолирующих средин, дело обстоит совсем иначе (1167). Толщина их оказывает непосредственное и существенное влияние на степень индукции. Что же касается их качеств, то, правда, все газы и пары являются одинаковыми, независимо от их состояния, но между отдельными твердыми телами, а также между последними и газами, имеются различия, подтверждающие существование *удельных индуктивных способностей*, причем в отдельных случаях эти различия весьма значительны.

1297. Прямая индуктивная сила, которую можно вообразить действующей по линиям между двумя ограничивающими и заряженными проводящими поверхностями, сопровождается боковой или поперечной силой, эквивалентной расширению или отталкиванию этих воображаемых линий (1224); или, иначе: сила притяжения, существующая между частицами диэлектрика в направлении индукции, сопровождается силой отталкивания, вызывающей их расхождение в поперечном направлении (1304).

1298. Индукция состоит, повидимому, в некотором поляризованном состоянии частиц, в которое их приводит наэлектризованное тело, поддерживающее это действие, причем у частиц появляются положительные и отрицательные точки или участки, расположенные симметрично по отношению друг к другу и к индуцирующим поверхностям или частицам.¹ Это состояние должно быть вынужденным, ибо оно создается и поддерживается

¹ Излагаемая мною теория индукции не претендует на то, чтобы решить, является ли электричество одной жидкостью или двумя жидкостями, или же представляет собой просто свойство или состояние рассматриваемой материи. Этот вопрос мне, может быть, придется рассмотреть в ближайшей или в одной из следующих серий настоящих исследований.

только силой и при удалении этой силы падает до нормального состояния покоя. Одним и тем же количеством электричества оно может *длительно поддерживаться* только в изоляторах, потому что только они могут сохранять такое состояние частиц (1304).

1299. Явление индукции обладает наибольшей общностью в электрическом действии. Оно образует заряд во всех обычных, а, вероятно, и во всех вообще случаях; оно, повидимому, является причиной каждого возбуждения и предшествует каждому току. Степень этого вынужденного состояния, до которой доведены частицы перед тем, как происходит разряд того или иного рода, повидимому, составляет то, что мы называем *напряжением*.

1300. Когда лейденская банка *заряжается*, то электричество заряжающего прибора вызывает в частицах стекла это поляризованное и вынужденное состояние. *Разряд* представляет собой возвращение этих частиц из состояния напряжения в их естественное состояние всякий раз, когда двум электрическим силам предоставляется возможность направиться в некотором другом направлении.

1301. Весь заряд проводников находится на их поверхности, так как он является по существу индуктивным, и только здесь начинается среда, способная поддерживать необходимое индуктивное состояние. Если проводники являются полыми и содержат внутри воздух или какой-нибудь другой диэлектрик, то и тогда на внутренней их поверхности не может появиться *заряд*, потому что диэлектрик внутри не может прийти в поляризованное состояние во всей своей массе, вследствие противоположных действий в различных направлениях.

1302. Общеизвестное влияние *формы* [проводника] несколько не противоречит выдвигаемым мною корпускулярным представлением об индукции. Наэлектризованный цилиндр на концах испытывает более сильное влияние окружающих проводников (которые дополняют заряженное состояние), чем в середине, потому что концы подвергаются действию большей совокупности индуктивных сил, чем середина; а острие приходит в более вы-

сокое состояние, чем шар, потому что вследствие отношения к окружающим проводникам на его поверхности заканчивается больше индуктивной силы, чем на такой же поверхности шара, с которым он сравнивается. В этом случае можно в особенности обнаружить влияние боковой или поперечной силы (1297), которая, обладая характером отталкивания или будучи эквивалентна ему, вызывает такое расположение линий индуктивной силы на их пути через диэлектрик, что они должны сгущаться у острия, у конца цилиндра и каждого выступа.

1303. Влияние *расстояния* также находится в согласии с этим представлением. Может быть, и не существует столь большого расстояния, чтобы через него не могла проходить ¹ индукция, но при одной и той же вынуждающей силе (1298) она происходит с тем большей легкостью, чем меньше протяженность диэлектрика, через который она действует. А так как теория предполагает, что частицы диэлектрика, хотя и стремятся сохранить нормальное состояние, но во время индукции приводятся в вынужденное состояние, то отсюда, повидимому, следует, что чем меньше таких промежуточных частиц, сопротивляющихся приходу в это новое состояние, тем большее изменение они претерпевают, т. е. состояние, в которое они приходят, тем выше, и тем больше индуктивное действие, на них оказываемое.

1304. Выражения *линии индуктивной силы* и *кривые линии силы* (1231, 1297, 1298, 1302) я употреблял только в общем смысле, точно так, как мы говорим о линиях магнитной силы. Линии эти воображаемые, и сила в каждой их точке является, конечно, результирующей сложных сил, так как каждая молекула связана с каждой другой молекулой по *всем* направлениям, вслед-

¹ Я экспериментально проследил индукцию от шарика, помещенного в середине описанного выше (1173) большого куба, до его стенок, отстоящих на расстоянии шести футов, а также от того же самого шарика, помещенного в середине нашей большой аудитории, до стен комнаты, отстоящих на расстоянии двадцати шести футов; при этом державшийся на шарике заряд был обусловлен в этих случаях исключительно индукцией через эти расстояния.

ствие напряжения и противодействия тех, которые являются с ней смежными. Поперечная сила представляет собой исключительно эту связь, рассматриваемую в направлении, наклонном к линиям индуктивной силы, и в настоящий момент я больше ничего в это выражение не вкладываю. Далее, что касается термина *полярность*, то в настоящее время я под этим понимаю только такое распределение силы, вследствие которого одна и та же молекула в различных точках приобретает различные свойства. Самый способ, каким производится это распределение, будет рассмотрен ниже; по всей вероятности, он различен для различных тел, создавая таким образом разнообразие электрических свойств.¹ В данный момент я озабочен лишь тем, чтобы в эти выражения, которыми я пользуюсь, не вкладывалось специального значения больше, чем я предполагаю. Я уверен, что дальнейшие исследования позволят нам постепенно все более и более суживать их смысл, и, таким образом, придавать объяснению электрических явлений с каждым днем все больше определенности.

1305. Для проверки правильности моих взглядов я на протяжении всего этого экспериментального изучения вопроса сравнивал их с заключениями, выведенными г. Пуассоном в его прекрасных математических исследованиях.² Я совсем не компетентен судить об этих превосходных статьях, но, насколько я понимаю, предложенная мною теория и полученные мною результаты не противоречат тем из его заключений, которые в немногих из рассмотренных случаях касаются окончательного расположения и состояния сил. Способ действия, который при индукции предполагает теория Пуассона, сильно отличается от того, который имею смелость предлагать я; его теорию, по всей вероятности, можно было бы проверить математически, если применить ее к случаям индукции по кривым линиям. На мой взгляд, она является недостаточной для объяснения того, как электричество удерживается на поверхности проводников давлением воздуха,—

¹ Mémoires de l'Institut, 1811, XII, стр. 1 (в другом счете страниц — стр. 163).

² См. теперь п. 1685 и т. д. Дек. 1838 г.

явление, которое, как я надеюсь показать, представляется простым и не противоречит с выдвигаемой здесь точкой зрения; ¹ далее, она не касается гальванического электричества и никоим образом не связывает его общим началом с тем, что мы называем обыкновенным электричеством.

С некоторым беспокойством я просматривал также результаты, полученные этим неутомимым ученым — Гаррисом — в его исследованиях о законах индукции, ² так как я знал, что эти результаты — экспериментальные, и был вполне убежден в их точности; но, к счастью, в настоящий момент я не вижу никакого противоречия между ними и принятыми мною взглядами.

1306. И, наконец, я хотел бы сказать, что, выдвигая свое личное мнение, я делаю это не без сомнения; я боюсь, сможет ли оно выдержать испытание всестороннего изучения, ибо если оно не соответствует истине, то лишь затруднит развитие учения об электричестве. Оно возникло во мне уже давно, но я до сих пор колебался опубликовать его, и только теперь моя уверенность в его согласии со всеми известными фактами возросла в достаточной степени; равно то, как оно связывает совершенно, повидимому, разнородные явления, побудило меня написать настоящий доклад. До сих пор я не вижу противоречий между ним и природой, а наоборот, думаю, что оно в значительной степени прольет новый свет на ее проявления; следующие мои доклады будут посвящены обзору явлений проводимости, электролиза, тока, магнетизма, сохранения заряда, разрядов и некоторых других вопросов, с применением данной теории к этим явлениям и проверкой ее при их помощи.

Королевский институт.

16 ноября 1837 г.

¹ См. пп. 1377, 1378, 1379, 1398. Дек. 1838 г.

² *Philosophical Transactions*, 1834, стр. 213.

Добавление к «Экспериментальным исследованиям по электричеству», одиннадцатая серия

Поступило 29 марта 1838 г.

1307. Недавно я осуществил на опыте ту установку для решения вопроса об *удельной индуктивной способности*, которая предложена в п. 1252 одиннадцатой серии; полученный мной результат дает мне надежду, что Совет Королевского общества разрешит мне присоединить его к докладу в виде добавления.

Три круглых латунных пластинки диаметром дюймов по пяти были установлены рядом на изолирующих стойках; средняя *A* была укреплена неподвижно, а наружные пластины *B* и *C* могли двигаться на салазках так, что поверхности всех трех можно было привести почти что в полное соприкосновение или же, наоборот, раздвинуть их на любое требуемое расстояние. В стеклянном сосуде на изолированных проводах было подвешено два золотых листочка; одна из внешних пластин *B* была соединена с одним золотым листочком, а другая — с другим. Наружные пластинки *B* и *C* были установлены на расстоянии одного с четвертью дюйма от средней пластинки *A*, а золотые листочки стояли на расстоянии двух дюймов друг от друга; затем *A* был сообщен слабый электрический заряд, а пластины *B* и *C* с их золотыми листочками были *одновременно* выведены из изоляции, а затем оставлены изолированными. При таких условиях *A* была заряжена положительно и действовала индуцирующим образом на *B* и *C*, которые путем индукции заряжались отрицательно; в обоих промежутках находился один и тот же диэлектрик — воздух, и золотые листочки, конечно, свешивались параллельно друг к другу, находясь в относительно ненаэлектризованном состоянии.

1308. Шеллаковая пластинка толщиной в три четверти дюйма и площадью в четыре квадратных дюйма была подвешена на чистом белом шелковом шнурке, и с нее был тщательно снят всякий заряд (1203); после этого она не производила никакого действия на золотые листочки, если *A* не была заряжена. Затем она была введена между пластинками *A* и *B*; электрическое отношение

между тремя пластинками немедленно изменилось, и золотые листочки стали притягиваться друг к другу. При удалении шеллака это притяжение прекращалось; при введении его между *A* и *C* оно наблюдалось вновь; при удалении его притяжение снова прекращалось, и, тем не менее, при исследовании шеллака с помощью чувствительного электрометра Кулона он оказывался незаряженным.

1309. Так как *A* была заряжена положительно, то *B* и *C* были, конечно, отрицательны; поскольку удельная индуктивная способность шеллака примерно в два раза больше, чем для воздуха (1270), можно было ожидать, что при введении шеллака между *A* и *B*, *A* будет индуцировать по направлению к *B* сильнее, чем по направлению к *C*, что поэтому *B* окажется по направлению к *A* более отрицательной, чем раньше, а так как она изолирована, то, значит, окажется положительной по направлению кнаружи, т. е. на своей обратной стороне или у золотых листочков; в то же время *C* должна бы стать менее отрицательной по направлению к *A*, а поэтому отрицательной по направлению кнаружи, т. е. у золотых листочков. Так это и было на деле; с какой бы стороны от *A* ни вносить шеллак, наружная пластина по эту сторону оказывается положительной, а наружная пластина по другую сторону — отрицательной как по отношению друг к другу, так и по отношению к неизолированным внешним телам.

1310. Когда я брал вместо шеллака серу, получались такие же результаты, согласные с ранее приведенными (1276) заключениями о высокой удельной индуктивной способности этого вещества.

1311. Эти действия удельной индуктивной способности могут быть усилены разнообразными путями, и именно это свойство дает прибору высокую ценность. Так, я вводил шеллак между *A* и *B*, затем на момент соединял *B* и *C*, отводил их к земле и, наконец, оставлял их в изолированном состоянии; золотые листочки при этом, конечно, свешивались параллельно друг к другу. При удалении шеллака золотые листочки притягивались

друг к другу; при введении шеллака между *A* и *C* это притяжение усиливалось (как и было предвидено теорией), и листочки сходились, хотя длина их была не более четырех дюймов, и они висели на расстоянии трех дюймов друг от друга.

1312. Простым сближением золотых листочков мне удалось показать различие между удельными индуктивными способностями, и я пользовался только тонкими шеллаковыми пластинками, а остальное изолирующее пространство было заполнено воздухом. Приближением пластинок *B* и *C* к *A* достигалось дальнейшее крупное повышение чувствительности. Увеличение размеров пластинок повышало эту силу еще более. Дальнейшее улучшение получалось в результате укорачивания проводов и т. п., соединенных с золотыми листочками. Таким образом фактически золотые листочки оказались таким же чувствительным прибором для испытания *удельного индуктивного действия*, каким они являются в электрометрах Беннета (Bennet) и Зингера (Singer) по отношению к обычному электрическому заряду.

1313. Очевидно, что если превратить эти три пластинки в стенки камеры, с соблюдением надлежащих предосторожностей в отношении изоляции и т. д., то этим прибором можно воспользоваться для изучения газов с значительно большим эффектом, чем с прежним прибором (1187, 1290); он, может быть, выявил бы различия, которые до сих пор от меня ускользали (1292, 1293).

1314. Несомненно также, что для такого прибора вполне достаточно двух пластинок; состояние единственной пластинки, подвергаемой индукции при замене диэлектрика, можно исследовать либо посредством поднесения к ее золотым листочкам тела, назлектризованного определенного рода электричеством, либо, что пожалуй еще лучше, посредством не листочков, а шарика-передатчика, с исследованием этого шарика с помощью электрометра Кулона (1180). Индуцирующая и индуцируемая поверхности могут представлять собой и шары; индуцируемая поверхность может сама служить шариком-передатчиком электрометра Кулона (1181, 1229).

1315. Для усиления действия можно с успехом пользоваться небольшим конденсатором. Так, если при двух индуцируемых пластинках на место золотых листочков поместить небольшой конденсатор, то, я не сомневаюсь, диаметр трех главных пластинок можно будет уменьшить до одного или даже до половины дюйма. Самые листочки временно действуют друг на друга как пластинки конденсатора. Когда мы пользуемся только двумя пластинками, при надлежащем приложении конденсатора возможно такое же уменьшение размеров. Это ожидание полностью оправдывается полученным и описанным ранее действием (1229).

1316. В этом случае прибор, очевидно, пригоден для весьма обширных исследований. Можно было бы исследовать относительно небольшие массы таких диэлектриков, как алмаз и кристаллы. Можно было бы проверить, действительно ли удельная индуктивная способность кристаллов будет меняться в различных направлениях, в зависимости от того, как расположены линии индуктивной силы (1304): параллельно осям кристаллов или как-нибудь иначе.¹

Как только мне позволит время, я намереваюсь проверить как эти, так и многие другие соображения, возникающие в связи с удельным индуктивным действием и полярностью частиц диэлектрического вещества.

1317. В надежде, что этот прибор окажется полезным, я хочу предложить для него, по совету одного из моих друзей, название *дифференциального индуктометра*.

Королевский институт.

29 марта 1838 г.

¹ В отношении этого исследования см. п. 1689 по 1698. Дек. 1838 г.