
ДВЕНАДЦАТАЯ СЕРИЯ

Раздел 18. Об индукции (продолжение). Глава VII. Проводимость, или кондуктивный разряд. Глава VIII. Электролитический разряд. Глава IX. Разрывной разряд и изоляция. Электрическая искра или вспышка. Электрический кистевой разряд. Различие между разрядами у положительной и отрицательной поверхностей проводников.

Поступило 11 января. Доложено 8 февраля 1838 г.

1318. Согласно своему обещанию, я перехожу теперь к проверке, на основе относящегося к учению об электричестве обширного фактического материала, той теории индукции, которую я имел смелость выдвинуть (1165, 1295 и т. д.). Принцип индукции имеет настолько общий характер, что охватывает все электрические явления, но тот вид их, к рассмотрению которого я предполагаю перейти в настоящий момент, заключается в изолирующем действии; последнее имеет свое продолжение в явлениях, заканчивающихся разрядом с сопровождающими его действиями. Этот вид охватывает разнообразные *способы* разряда, а также состояние и свойства, которые характерны для тока; к последним, между прочим, относятся элементы магнитного действия. Я по необходимости буду в некоторых случаях говорить теоретически и даже гипотетически, и хотя я стремлюсь к тому, чтобы настоящие доклады представляли собой экспериментальные исследования, но я прошу принять во внимание факты и исследования, собранные в последних сериях в пользу выдвинутой мною особой точки зрения; я надеюсь, что меня не обвинят в данном случае в излишней вольности или слишком сильном уклоне-

ний от того характера, который полагается придавать докладам; тем более, что я буду пользоваться каждым удобным случаем, который только представится, и буду прибегать к тому строгому испытанию истины, каким является опыт.

1319. До сих пор индукция в настоящих докладах рассматривалась только в случаях изоляции; противоположностью изоляции является *разряд*. То действие или явление, которое обозначается общим термином *разряд*, может, насколько нам в настоящее время известно, происходить различными способами. То, что называется просто *проводимостью*, не влечет за собой ни химического действия, ни, повидимому, смещения принимающих в нем участие частиц. Второй вид можно назвать *электролитическим разрядом*; в нем происходит химическое действие, и частицы должны в некоторой степени смещаться. Третий вид, а именно искровой и кистевой разряды, можно, по причине сильного смещения частиц *диэлектрика* на его пути, назвать *разрывным разрядом*; четвертый, пожалуй, было бы удобно обозначить пока словами *конвекция*, или *разряд путем переноса*; в нем разряд осуществляется переносом частиц твердого тела или частиц газов и жидкостей. Возможно, что в будущем все эти виды можно будет свести к одному общему началу, но в настоящий момент их следует рассматривать отдельно; сейчас я буду говорить о *первом* виде, ибо среди всех форм разряда, тот, который мы обозначаем термином «проводимость», представляется наиболее простым и образует самый яркий контраст с изоляцией.

ГЛАВА VII

Проводимость, или кондуктивный разряд

1320. Хотя изолирующее действие и проводимость предполагаются существенно различными, тем не менее, ни Кэвендиш, ни Пуассон не делают попытки объяснить с помощью своих теорий или хотя бы изложить в них, в чем заключается это существенное различие. Может быть, и мне нечего предложить в этом отношении, за исключением того, что, согласно моему

представлению об индукции, изолирующее действие и проводимость обусловлены одним и тем же молекулярным действием соответствующего диэлектрика, что они представляют собой лишь крайние степени *одного общего состояния* или действия, и что во всякой исчерпывающей математической теории электричества они должны рассматриваться как частные случаи одного и того же рода. Отсюда ясно, насколько важной являлась бы попытка показать связь между ними с точки зрения моей теории электрических взаимоотношений между смежными частицами.

1321. Хотя роль изолирующего диэлектрика в заряженной лейденской банке и роль разряжающего ее провода могут казаться весьма различными, их все же можно связать многочисленными промежуточными звеньями, которые ведут от одной к другому и осуществляют необходимую связь, как мне кажется, с совершенной полнотой. В целях ознакомления с этим родом явлений во всей их целостности мы можем последовательно рассмотреть некоторые из этих звеньев.

1322. Спермацет уже был исследован ранее и оказался диэлектриком, в котором может иметь место индукция (1240, 1246); при этом его удельная индуктивная способность составляет приблизительно 1,8 или несколько выше (1279); индуктивное действие в нем, как и во всех других веществах, рассматривалось как действие смежных частиц.

1323. Однако спермацет является также и *проводником*, хотя в такой слабой степени, что мы имеем возможность проследить процесс проводимости через его массу в некотором роде шаг за шагом (1247); даже когда электрическая сила проникла в него на некоторую глубину, мы можем, удалив задерживающую силу, которая в то же время является и индуктивной, заставить ее возвратиться обратно и снова проявиться на прежнем месте (1245, 1246). Здесь индукция, видимо, является необходимой предварительной стадией проводимости. Она сама приводит смежные частицы диэлектрика в некоторое состояние, которое, если оно удерживается ими, является основой изолирующего дейст-

вия; если же оно ослабляется вследствие передачи силы от одной частицы к другой, то составляет явление *проводимости*.

1324. *Стекло* или *шеллак* проявляют ту же способность претерпевать либо индукцию, либо проводимость (1233, 1239, 1247), но не в одинаковой степени. Проводимость почти исчезает (1239, 1242), а индукция, следовательно, поддерживается, т. е. сохраняется поляризованное состояние, в которое смежные частицы были приведены индуктивной силой; разрядное действие между ними оказывается незначительным, вследствие чего *изолирующее действие* продолжается. Но поскольку разряд здесь происходит, он, повидимому, является следствием того состояния частиц, в которое их приводит индукция; таким образом оказывается, что обычные явления изоляции и проводимости друг с другом тесно связаны, или, вернее, представляют собой предельные случаи одного и того же состояния.

1325. Лед и вода проводят лучше, чем спермацет, и поэтому явления индукции и изоляции в них быстро исчезают, так как за приходом в индуктивное состояние быстро следует проводимость. Но пусть на пластинке из охлажденного льда имеются по бокам металлические обкладки; соединим одну из них с мощной электрической машиной в действии, а другую — с землей; тогда явления индукции во льду легко будет наблюдать благодаря электрическому напряжению, которое можно получить и поддерживать на двух обкладках (419, 426). Правда, часть той силы, которая в некоторый момент сообщила частицам индуктивное состояние, в ближайший момент ослабляется последующим разрядом, действием проводимости, но она сменяется другой порцией силы от машины, восстанавливающей это индуктивное состояние. Если превратить лед в воду, то почти так же легко доказать существование такой же последовательности явлений; необходимо только, чтобы вода была дистиллирована. Далее, если машина окажется недостаточно мощной, необходимо воспользоваться гальванической батареей.

1326. Все эти соображения внушают мне уверенность в том, что невозможно провести резкую грань между явлениями изоля-

ции и обыкновенной проводимости, если мы хотим заглянуть в самую их природу, т. е. в тот общий закон или законы, которыми определяется происхождение этих явлений. Мне представляется, что они заключаются в действии смежных частиц, зависящем от сил, которые развиваются при электрическом возбуждении; эти силы приводят частицы в состояние напряжения, или полярности, которое и составляет явления как *индукции*, так и *изоляции*; находясь в этом состоянии, смежные частицы обладают свойством или способностью передавать друг другу свои силы, вследствие чего последние ослабляются, и происходит разряд. Повидимому, к разряду способно всякое тело (444, 987), но различные тела обладают этой способностью *в большей или меньшей степени*, и это то и делает их лучшими или худшими проводниками, худшими или лучшими изоляторами; по своей природе и действию *индукция и проводимость*, повидимому, одинаковы (1320); единственное различие заключается в том, что при проводимости общее для обоих явлений действие достигает крайнего предела, в индукции же оно, в лучшем случае, проявляется в количествах, почти неощутимых.

1327. Если мы хотим проникнуть в природу электрического действия и вывести законы более общие, чем те, которые известны нам в настоящее время, мы должны стараться сопоставлять в гармоническом сочетании самые противоположные по виду явления. Таково давно установившееся убеждение, санкционированное самыми выдающимися учеными. Я смею думать поэтому, что моя попытка рассматривать случаи наиболее высокой проводимости, как аналогичные явлениям индукции и изоляции и даже однородные с ними, является вполне извинительной.

1328. Если принять, что незначительное проникновение электричества внутрь серы (1241, 1242) или шеллака (1234), равно как и более низкие изолирующие свойства спермацета (1279, 1240), являются существенным следствием их *проводимости* и доказательством существования последней, то сопротивление металлических проводов прохождению сквозь них электричества можно рассматривать как *свойство изоляции*.

Из многочисленных общеизвестных примеров, доказывающих существование сопротивления в так называемых совершенных проводниках, моей настоящей цели лучше всего отвечают опыты профессора Уитстона, так как они были произведены в таком виде, чтобы доказать, что даже в случае металлов в условия проводимости входит как элемент *время*.¹ Когда разряд производился через медный провод длиной в 2640 футов и диаметром 1/15 дюйма, и притом таким образом, что можно было наблюдать с одного места яркие искры на каждом из концов провода и в середине его, то последняя заметно отставала во времени от первых двух, которые по условиям опыта были одновременными. Вот доказательство запаздывания. А какие доводы можно привести против того, что это запаздывание того же рода, что и в спермацете, шеллаке, меди? Но так как в этих последних веществах запаздывание обозначает изоляцию, а изоляция — индукцию, то почему нам не предположить такой же связи при проявлениях силы в металлах?

1329. Опыт показывает, что с течением *времени* эта замедляющая сила постепенно преодолевается, и что таким же образом ведут себя спермацет, шеллак и стекло (1248); дайте только срок, соответствующий замедляющей силе, и последняя в конце концов будет преодолена. Но если это так и все результаты оказываются одинаковыми по своему характеру, отличаясь лишь длительностью срока, то почему отказываться от мысли, что и металлам свойственно предварительное индуктивное действие, существование которого в других телах мы признаем? Уменьшение срока отнюдь не является отрицанием этого действия, равно как и то обстоятельство, что для продвижения силы по металлу требуется более низкая степень напряженности по сравнению с той, которая нужна в случае воды, спермацета или шеллака. Эти различия указывают лишь на то, что в металлах находящиеся под влиянием индукции частицы могут передавать свои силы при более низкой степени напряжения или

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 583.

полярности и с большей легкостью, чем в случае других веществ.

1330. Рассмотрим прекрасный опыт г. Уитстона с другой точки зрения. Оставим без изменения среднюю часть и оба конца длинного медного провода, удалим обе промежуточные части и заменим их проводами из железа или платины; тогда получится значительно большее запаздывание средней искры, чем ранее. Удалим железо и включим вместо него всего пять или шесть футов воды, налитой в цилиндр такого же диаметра, что и металл; получится еще большее запаздывание. Если от воды мы перейдем к спермацету, все равно — непосредственно или постепенно через другие вещества (здесь пришлось бы, может быть, значительно увеличить толщину, чтобы избежать появления искры в каких-либо других участках помимо трех указанных выше), то получится еще большее запаздывание; в конце концов мы достигнем действительной и прочной изоляции, и переходы будут настолько незначительны, что одна стадия от другой будет неотделима. Что же в таком случае отделяет друг от друга сущность этих двух крайностей — совершенной проводимости и совершенной изоляции? Ведь если мы хоть в малейшей степени допустим совершенство на одном из концов, то получается элемент этого совершенства на другом, тем более, что в природе мы не имеем совершенства ни на том, ни на другом конце, ни в смысле проводимости, ни в смысле изоляции.

1331. Вернемся опять к этому прекрасному опыту в тех разнообразных видах его, которые можно ему дать; после того как силы покинули лейденскую банку, они в течение всего промежутка времени, занятого разрядом (1328), находятся в проводе не целиком; отчасти они сосредоточены в окружающем диэлектрике в виде известной всем индукции; и если этим диэлектриком является воздух, то индукция проходит от провода через воздух к окружающим проводникам до тех пор, пока концы провода не окажутся электрически связанными через весь провод; тогда произойдет разряд. Это как раз тот промежуток *времени*, на который центральная искра запаздывает по сравнению с осталь-

ными. Это хорошо доказывается старым опытом, в котором длинный провод изогнут так, что два участка его (рис. 120) *a* и *b* вблизи от концов подходят друг к другу на небольшое расстояние по воздуху — с четверть дюйма. Если пропускать через такой провод разряд от лейденской банки, заряженной достаточно сильно, то значительно большая часть электричества будет проскакивать в виде искры через воздушный промежуток, а не через металл. Не действует ли здесь средняя часть провода как изолирующая среда, хотя она и состоит из металла? И не является ли эта искра через воздух указанием на наличие напряжения (одновременно с *индукцией*) электричества у конца этого

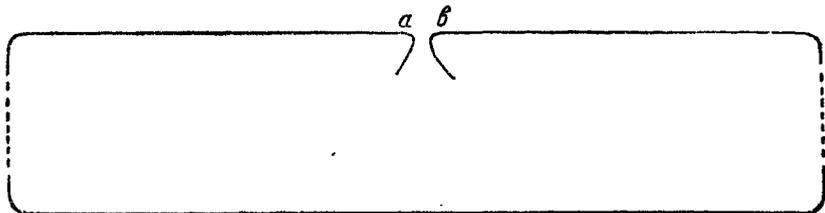


Рис. 120.

уединенного провода? Почему не считать и провод и воздух диэлектриками, а действие, в его начальный момент, когда налицо имеется напряжение, индуктивным действием? Если это действие происходит по изогнутым линиям провода, то таким же образом оно происходит и по кривым и изогнутым линиям через воздух (1219, 1224, 1231) и другие изолирующие диэлектрики (1228); повидимому, можно идти в этой аналогии очень далеко, если ограничиваться пока только случаем индуктивного действия, и можно даже показать, что среди изолирующих диэлектриков одни отводят линии силы от других (1229), как их отводит провод от менее совершенных проводников; правда, в проводе основное действие несомненно обусловлено легкостью разряда между частицами при низкой степени напряжения. Задержка представляет собой временную изоляцию, и как

мы можем, согласно исследованиям Кулона,¹ сравнивать для различных изолирующих тел те *различные длины*, которые необходимы, чтобы произвести одинаковое изолирующее действие, так, думается мне, мы можем сравнивать воздух в промежутке *a, b* (рис. 120) и провод в цепи как два тела одного и того же рода и действующие по одному и тому же принципу, поскольку дело идет о первых индуктивных действиях — независимо от того, какие различные виды разряда затем последуют.²

1332. Это сравнение становится еще более разительным, если принять во внимание опыт г. Гарриса; в этом опыте он протягивал тонкий провод через стеклянный шар; воздух в шаре был разрежен.³ При пропускании заряда через эту совокупность металла и разреженного воздуха через последний проходило столько же электричества, как через первый, а, может быть, и больше. В воздухе, хотя бы и разреженном, разряду несомненно предшествовала индукция (1284); но, я думаю, все обстоятельства указывают, что то же самое имело место и в металле; фактически оба вещества являются диэлектриками и обнаруживают одни и те же явления при действии одних и тех же причин; все же различие при опытах с различными веществами заключается только в степени.

1333. Если исходить из таких положений, то скорость разряда через *один и тот же провод* можно в значительной степени менять, изменяя те условия, которые вызывают различия при разряде через спермацет или серу. Так, например, скорость разряда должна меняться в зависимости от напряжения или интенсивности начальной побуждающей силы (1234, 1240); это напряжение — все равно, что заряд и индукция. Пусть, например, оба конца провода в опыте проф. Уитстона будут непосредственно соединены с двумя большими изолированными металлическими поверхностями, обращенными к воздуху; тогда при замыкании

¹ Mémoires de l'Académie, 1785, стр. 612 или Encyclopaedia Britannica, 1-е дополн., I, стр. 611.

² Эти виды разряда будут рассмотрены ниже (1348 и т. д.).

³ Philosophical Transactions, 1834, стр. 242.

контакта для разряда первоначальное действие индукции в первый момент отчасти не будет допущено к внутренней части провода и временно распределится на его общей с воздухом поверхности и на окружающих проводниках, и я, не колеблясь, предсказываю, что средняя искра будет запаздывать сильнее, чем раньше; а если эти две пластинки будут представлять собой внутреннюю и внешнюю обкладки большой лейденской банки или батареи, то запаздывание искры будет еще большим.

1334. Кэвендиш, кажется, первый отчетливо показал, что разряд не всегда проходит по одному каналу,¹ и что если таковых имеется больше, то он проходит сразу через несколько. Эти различные каналы мы можем устроить посредством разных тел; соразмеряя их толщину и длину, можно включить сюда такие вещества, как воздух, шеллак, спермацет, вода, протоксид железа, железо и серебро, и тогда при *одном* разряде каждое из них будет проводить свою часть электрической силы. Может быть, воздух следовало бы исключить, поскольку в нем разряд путем проводимости ставится в настоящее время под сомнение (1336), но всем остальным веществам в отношении способа их разряда можно приписать чистую проводимость. Но ведь некоторые из них предварительно претерпевают индукцию, в точности такую, как индукция через воздух; эта индукция является необходимым предварительным условием их разрядного действия. Можно ли при этих условиях различать тела в отношении *закона* и *способа* их изоляции и проводимости иначе, как по величине этих свойств? Все они представляются мне диэлектриками, действующими одинаковым образом и по одним и тем же общим законам.

1335. Я мог бы привести другой довод в пользу тождества в смысле природы и действия и хороших и плохих проводников (а все упомянутые мною вещества в большей или меньшей степени являются проводниками); для этого я могу указать на полную тождественность в действии весьма различных тел, если

¹ Philosophical Transactions, 1776, стр. 197.

сравнивать их друг с другом в отношении их магнито-электрического индуктивного действия, описанного ранее (213), но мне бы хотелось быть настолько кратким, насколько это совместимо с ясным разбором того, насколько правильны мои взгляды.

1336. Вопрос о том, обладают ли и газы какой-либо проводимостью того несложного рода, который здесь нами рассматривается, в настоящий момент разрешить очень трудно. Опыты как будто указывают, что при некоторых низких степенях напряжения газы изолируют в совершенстве, и что те явления, которые казались зависящими от *проводимости*, оказывались результатом переноса электричества заряженными частицами воздуха или содержащейся в нем пыли. Однако не менее достоверно и то, что при более высоких степенях напряжения или заряда от частицы к частице происходит разряд, а это и есть проводимость. Если газы при определенной низкой степени напряжения обладают способностью изолировать длительно и совершенно, то такой результат, может быть, обусловлен их особым физическим состоянием и тем, что их частицы разделены друг от друга известными расстояниями. Но ни в этом, ни в других случаях не следует забывать о прекрасных опытах Каньяр де ля Тура,¹ в которых он показал, что жидкости и их пары можно постепенно переводить друг в друга вплоть до полного исчезновения заметного различия между этими двумя состояниями. Таким образом сухой горячий пар и холодная вода переходят друг в друга путем незаметных градаций; однако первый как газ относится к изоляторам, а второй является сравнительно хорошим проводником. Таким образом в смысле проводимости переход от металлов вплоть до самых газов совершается постепенно; вещества образуют в этом отношении единый ряд, и все разнообразные случаи должны быть подчинены одинаковым условиям и законам (444). Специфические различия веществ в отношении проводимости служат лишь подкреплением того общего положения, что проводимость, так же

¹ *Annales de Chimie*, XXI, стр. 127, 178; или *Quarterly Journal of Science*, XV, стр. 145.

как изоляция, является результатом индукции и представляет собой действие смежных частиц.

1337. Я мог бы перейти теперь к рассмотрению индукции и сопутствующей ей *проводимости* через смешанные диэлектрики; таков, например, случай, когда заряженное тело вместо того, чтобы действовать на удаленный неизолированный проводник через воздух, действует одновременно через воздух и через промежуточный изолированный проводник. В таком случае воздух и проводящее тело представляют собой смешанный диэлектрик; проводник как целое принимает состояние поляризации, подобное тому, которым, согласно моей теории, в это же время обладает *каждая частица* воздуха (1679). Но при настоящем состоянии предмета я боюсь наскучить этими подробностями и спешу перейти к рассмотрению других вопросов.

1338. Чтобы в некоторой мере подвести итог сказанному, укажу, что, по моим представлениям, первоначальное действие наэлектризованного тела на соседние тела заключается в приведении их частиц в поляризованное состояние, которое и составляет индукцию; возникает индукция благодаря действию тела на те частицы, которые непосредственно с ним соприкасаются, и которые, в свою очередь, действуют на смежные с ними; таким образом сила передается на расстояние. Если индукция не ослабевает, то следствием является совершенная изоляция; чем выше поляризованное состояние, которое могут приобретать или удерживать частицы, тем выше напряжение, которое может быть сообщено действующим силам. Наоборот, если расположенные рядом частицы, приобретя поляризованное состояние, оказываются способными передавать свои силы, то возникает проводимость, и напряжение понижается; т. е. проводимость является отчетливо ясным разрядом между соседними частицами. Чем ниже состояние напряжения, при котором происходит этот разряд между частицами тела, тем лучшим проводником оно является. С этой точки зрения можно сказать, что изоляторами являются те вещества, частицы которых могут удерживаться в поляризованном состоянии, а проводниками — те, частицы

которых не могут оставаться устойчиво поляризованными. Если я прав в своем представлении об индукции, то сведение этих двух явлений (которые так долго считались различными) к действию смежных частиц, подчиненному одному общему закону, представляется мне результатом большой важности; с другой стороны, сходство, которое оба они приобретают с точки зрения этой теории (1326), является лишним доказательством правильности последней.

1339. Известно, что теплота оказывает сильное влияние на обычную проводимость (445), причем в некоторых случаях она приводит к почти полному изменению свойств тела (432, 1340). Гаррис, однако, показал, что она совсем не действует на газообразные тела, по крайней мере на воздух; ¹ Дэви учит, что все металлы как класс при этом свою проводимость *уменьшают*.²

1340. Я ранее описал одно вещество — сернистое серебро, проводимость которого с нагреванием увеличивается (433, 437, 438), а с тех пор нашел еще другое, на которое теплота действует таким же образом и так же сильно; это фторид свинца. Если ввести в цепь гальванической батареи кусок этого вещества, предварительно расплавив и потом охладив его, ток прекращается. При нагревании он приобретает проводимость раньше, чем доходит до красного каления, заметного при дневном свете; пока он находится еще в твердом состоянии, из него можно даже извлекать искры. В дальнейшем ток уже сам по себе повышал температуру этого соединения (как и в случае сернистого серебра) вплоть до момента плавления, после чего оно, повидимому, проводило так же хорошо, как содержащий его сосуд, ибо, независимо от того, чего касался взятый для замыкания цепи провод: только расплавленного фторида или же платины, на которой он лежал, заметного различия в силе тока не было. В течение всего времени наблюдались едва одни следы разлагающего действия

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 230.

² Там же, 1821, стр. 431.

во фториде, и те, что возникали, видимо, можно было отнести за счет воздуха и влажности атмосферы, а не за счет электрического действия.

1341. В настоящее время я очень мало сомневаюсь в том, что периодид ртути (414, 448, 691), а также сулема (692) представляют собой примеры такого же рода. С тех пор как я произвел вышеупомянутые опыты, я склонен также думать, что наблюдавшееся и описанное ранее аномальное поведение протоксида сурьмы можно приписать той же причине.

1342. В настоящее время я не намерен входить в подробное рассмотрение взаимоотношений между теплотой и электричеством, но можно надеяться, что в будущем в результате опыта будет открыт тот закон, который, вероятно, объединяет в одно целое все описанные действия, а также явления *выделения и исчезновения* тепла под действием тока вместе с поразительными и прекрасными явлениями термо-электричества.

ГЛАВА VIII

Электролитический разряд

1343. В одном из прежних докладов (1161) я уже высказывал взгляд, при помощи которого я надеюсь связать обыкновенную индукцию и электролиз. Согласно этому представлению, разряд электрических сил путем электролиза представляет собой, по всей вероятности, явление, которое в определенной категории веществ прибавляется к описанным под именем индукции и изоляции, и не является действием, не зависящим и отличным от них.

1344. В отношении изолирующих и проводящих свойств электролиты не отличаются от других веществ (1320, 1334); находясь в твердом состоянии (ибо почти все они могут придти в это состояние), они сохраняют свои свойства и не обнаруживают при этом никакого нового явления (426 и т. д.), а если это и наблюдается, то в такой незначительной степени, что должно быть признано несущественным. Если подвергнуть их сжижению, электролиты также сохраняют свое место среди других веществ,

пока электрическое напряжение остается ниже определенного предела; но при некотором напряжении, постоянном для каждого из них и во всех известных случаях очень низком (910, 912, 1007), они начинают играть новую роль, производя разряд параллельно с развитием определенных химических действий соединения и разложения; с этого момента они выделяются из ряда обычных изоляторов и проводников и образуют некоторый отличный от них самостоятельный класс веществ. Первые из этих явлений уже рассматривались (1320, 1338); теперь надлежит пересмотреть последние и воспользоваться ими для проверки предложенной теории индукции.

1345. Эта теория предполагает, что частицы диэлектрика (в данном случае электролита) в первый момент приводятся обыкновенным индуктивным действием в поляризованное состояние; последнее достигает определенной степени напряжения или интенсивности прежде чем наступает разряд; это индуктивное состояние является на деле *необходимым предварительным условием* для разряда. Если удачно воспользоваться теми условиями, которые имеют здесь значение, нетрудно повысить напряжение, характерное для этого состояния индукции, и таким образом сделать и самое состояние это более явным. Так, если взять дистиллированную воду и длинный, узкий столбик ее поместить между электродами мощной гальванической батареи, то сразу можно получить указания на то, какое напряжение можно поддерживать у этих электродов посредством индуктивного действия через воду как через диэлектрик, ибо от идущих от электродов проводов можно получать искры, расхождение золотых листочков и заряд лейденских банок. Вода, подобно спермацету (1322, 1323), является плохим проводником и плохим изолятором; но если она вообще изолирует, то исключительно вследствие индуктивного действия, и эта индукция подготавливает разряд и предшествует ему (1338).

1346. Индукция и напряжение, которые появляются на границах столбика воды в направлении тока, представляют собой лишь сумму тех индукций и напряжений, которые имеются на

смежных частицах между этими границами; а то, что индуктивное напряжение не превосходит известной величины, доказывает (в каждом отдельном случае на результат существенно влияет время), что, как только частицы приобретают определенное относительное состояние, происходит *разряд*, или передача сил, эквивалентная обычной проводимости.

1347. В том индуктивном состоянии, в какое приходит перед началом разряда вода, взятая в качестве диэлектрика,¹ поляризованными являются частицы *воды*; но теперь разряд от частицы к частице уже не представляет собой, как раньше, простого обмена силами (или зарядами) у полярных частей, а действительное разделение частиц воды на две их элементарные составляющие: кислород, перемещающийся в одном направлении и несущий с собою соответственное количество силы, приобретенное им во время поляризации, и водород, прodelьывающий то же самое в противоположном направлении; в конце концов каждая из частиц встретит ближайшую частицу, находящуюся в таком же электрическом состоянии, как и та, которую она оставила; тогда их силы соединятся, вследствие чего и произойдет то, в чем заключается разряд. Эту часть действия можно рассматривать как перенос (1319, 1572, 1622), выполняемый частицами, составляющими диэлектрик. Последний всегда представляет собой сложное тело (664, 823), и те, кто занимался этим вопросом и знакомы с научным представлением о переносе, впервые предложенным Гротгусом,² охотно сравнивают частицы диэлектрика с целым рядом находящихся под индуктивным действием проводников, которые, находясь еще в этом состоянии, могут разделяться на такие элементарные подвижные половинки.

1348. Электролитический разряд неизбежно связан с непроводимостью диэлектрика, взятого в целом; процесс этот содержит две стадии или два действия: сначала происходит поляризация молекул вещества, а затем ослабление сил вследствие раз-

¹ См. pp. 1699—1708. Дек. 1838 г.

² *Annales de Chimie*, LVIII, стр. 60 и LXIII, стр. 20.

деления, продвижения в противоположных направлениях и соединения элементов молекул; эти элементы представляют собой в некотором смысле половинки первоначально поляризованных проводников, т. е. частиц.

1349. Эти представления о разложении электролитов и вытекающем отсюда явлении разряда в данном частном случае совпадают с взглядами Гротгуса (481) и Дэви (482), но отличаются от представлений Био (487), де ля Рива (490) и др.; они представляются мне вполне согласными не только с предложенной мною теорией индукции вообще (1165), но и со всеми известными *фактами* обыкновенной индукции, проводимости и электролитического разряда; вследствие этого они поддерживают во мне убеждение в справедливости выдвинутой теории. Новый вид разряда, который представляет собой электролиз, несомненно свидетельствует о *действии смежных частиц*; последнее же прямым образом связано с предварительным индуктивным состоянием, таким же, как в случае обыкновенной индукции. Все это значительно усиливает соображения, которые индукцию во всех случаях также приписывают влиянию смежных частиц (1295 и т. д.).

1350. В качестве иллюстрации поляризованного состояния частиц в диэлектрике, находящемся под действием индукции, я хочу описать один опыт. Нальем в стеклянный сосуд некоторое количество прозрачного очищенного скипидара и введем в него два провода, пропущенные через стеклянные трубки в тех местах, где они касаются поверхности жидкости, и заканчивающиеся либо шариками, либо остриями. Нарежем небольшое количество очень чистого сухого белого шелка на небольшие кусочки и опустим их также в жидкость; затем наэлектризуем один из проводов от обыкновенной машины, а другим проводом будем производить разряд. Шелк немедленно будет собираться отовсюду из жидкости и образует из частичек полосу от провода до провода; если касаться ее стеклянной палочкой, то она обнаруживает заметную прочность; но в первый же момент после прекращения притока электричества эта полоса распадается и исчезает вслед-

ствие рассеяния ее частей. *Проводимость* через шелк в данном случае очень мала, и после самого тщательного исследования этих явлений, которое мне удалось произвести, у меня создалось впечатление, что прилипание в целом объясняется полярностью, приобретаемой каждым волокном совершенно так же, как частицы железа между полюсами подковообразного магнита связываются в одну массу, и притом благодаря подобному же расположению сил. Таким образом частицы шелка, по моему мнению, дают собой картину состояния молекул самого диэлектрика, которое я считаю полярным, подобно состоянию шелка. Во всех случаях кондуктивного разряда смежные поляризованные частицы вещества способны с большей или меньшей легкостью производить нейтрализацию своих сил, что в очень слабой степени делает также и шелк. Провести параллель дальше мы не можем, разве что мысленно; но представим себе, что мы можем разделить каждую частицу шелка на две половины и предоставить каждой половине двигаться до тех пор, пока она не встретится с ближайшей половиной, находящейся в противоположном состоянии, и не объединится с ней; тогда она могла бы проявить способность к переносу (1347) и в этом смысле дала бы точную картину электролитического разряда.

1351. Если допустить, что электролитический разряд является следствием предварительной индукции, то с какой очевидностью отдельные случаи разряда прямо указывают на индукцию по кривым линиям (521, 1216) и на расхождение или боковое действие линий индуктивной силы (1231) и этим подкрепляют общие доводы, приведенные в предшествующем докладе! Если два платиновых шарика, образующих электроды гальванической батареи, погрузить в большой сосуд с разбавленной серной кислотой, то вся поверхность их покрывается соответствующими газами в изумительно закономерных соотношениях, и нетрудно составить себе представление о направлении кривых, по которым идет разряд, и даже о напряжении сил различных линий, по количеству газа, выделяющегося на различных участках поверхности. Этим состоянием линий индуктивной силы обуслов-

лены основные действия рассеяния, появление анионов и катионов по краям и на обратной стороне электродов, когда последние имеют форму пластин, и то, каким образом ток или разряд следует всякой сколь угодно изогнутой форме электролита. Этим объясняются также те явления, которые так хорошо изучил и описал Нобили¹ в своих докладах о распределении токов в проводящих массах. Все эти явления указывают на криволинейное направление токов или разрядов, которые возникают в диэлектриках или проходят сквозь них, и которым во всех случаях *предшествуют* эквивалентные индуктивные действия смежных друг с другом частиц.

1352. Этим также объясняется, почему в случае слабых или требующих поддержки возбуждающих сил выгодно увеличивать массу электролита, а также размеры электродов, окружать цинковые пластины медными; все это согласуется с тем представлением об индукции, которое я пытаюсь проверить; до сих пор я не нахожу ни одного противоречащего ему факта.

1353. В *электролитическом разряде* имеется много особенностей, которые впоследствии потребуют очень тщательного изучения, хотя я могу коснуться их только слегка. Я лишен возможности входить здесь в их рассмотрение не потому, что они, насколько я их исследовал, представляют какое-либо противоречие с принятыми мною представлениями (ибо я тщательно, хотя и безуспешно, искал именно таких случаев), а просто из-за недостатка времени для продолжения этого исследования.

1354. Одна из особенностей заключается в том, что начальное напряжение, которого требуют для своего разложения различные электролиты или диэлектрики, различно (912). Возможно, что это обстоятельство обусловлено степенью поляризации, которая требуется частицам для того, чтобы наступил электролитический разряд. Оно находится в прямом отношении с химическим сродством рассматриваемых веществ, и, по всей вероятности, для него удастся установить какую-либо связь или ана-

¹ Bibliothèque Universelle, 1835, LIX, стр. 263, 416.

логию с удельной индуктивной способностью различных тел (1252, 1296). Таким образом можно надеяться, что это обстоятельство поможет привести в больший порядок и систему, по сравнению с нынешними, великие истины, содержащиеся в тех обширных науках, которые заняты изучением сил между частицами вещества.

1355. Другая особенность заключается в увеличении электролитической проводимости или разряда путем добавки некоторых веществ к взятому для опыта диэлектрику. Это явление сказывается разительным образом, когда веществом, качества которого подлежат улучшению, является вода, но до сих пор не обнаружен тот общий закон, который управляет всеми этими явлениями. Так, некоторые кислоты, как серная, фосфорная, щавелевая и азотная, усиливают это свойство воды в огромной степени; наоборот, другие, как виннокаменная и лимонная, сообщают ей лишь небольшую проводимость; наконец, некоторые кислоты, как уксусная и борная, не вызывают заметного изменения в вольтаметре (739). Аммиак не производит никакого действия, а его карбонат производит его. Едкие щелочи и их карбонаты производят отчетливое действие. Сильное действие производят сульфат натра, селитра (753) и многие растворимые соли. При испытании с помощью вольтамметра перцианид ртути и сулема не дают никакого действия, равно и иод, смола и сахар. Во многих случаях добавленное вещество непосредственно или косвенно подвергается действию тока, и тогда явления становятся более сложными; к таким веществам относятся соляная кислота (758), растворимые протохлориды (766), иодиды (769), азотная кислота (752) и т. д. В других случаях добавляемое вещество само по себе не подвергается действию гальванической батареи и не является проводником для ее сил и, тем не менее, в присутствии воды сообщает и само приобретает силу. Г-н де ля Рив отметил такой результат для сернистой кислоты,¹ иода и

¹ Quarterly Journal, XXVII, стр. 407; или Bibliothèque Universelle, XI, стр. 205. Кемп говорит, что сернистая кислота является очень хорошим проводником (Quarterly Journal, 1831, стр. 613).

брома; ¹ такое же явление дает хлорид мышьяка. Еще более разительный пример представляет, однако, такое сильно подверженное влиянию тока вещество, как серная кислота (681); вероятно, так же своеобразно ведет себя фосфорная кислота.

1356. Казалось бы, что такие вещества, которые сами не претерпевают изменения (а может быть и все), действуют на проводимость воды лишь постольку, поскольку она является электролитом, ибо независимо от того, в какой мере усиливается разложение, оно остается пропорциональным количеству проходящего электричества (727, 730), и, таким образом, перенос обусловлен электролитическим разрядом. Это обстоятельство согласуется с фактом, установленным ранее в отношении воды (984), а именно: для электричества, сила которого ниже электролитического напряжения вещества, действующего в качестве диэлектрика, проводимость не улучшается; но оба эти факта (и некоторые другие) противоречат высказанному мною ранее мнению, что проводимость солей и т. п. обусловлена переходом их в жидкое состояние при растворении их во взятой для опыта воде (410). Мне кажется, что это явление, пожалуй, можно связать и объяснить различием удельных индуктивных способностей.

1357. В последнем докладе я описывал случаи, в которых шеллак становился проводником при поглощении аммиака (1294). Такое же явление имеет место с соляной кислотой; между тем, в газообразном состоянии оба эти вещества являются непроводниками, а аммиак не проводит и в крепком растворе (748). Г-н Гаррис приводил примеры, ² когда очень небольшая примесь значительно меняла проводимость металлов. Эти случаи могут и не иметь никакого отношения к предыдущим, но, тем не менее, ими не следует пренебрегать в том общем исследовании, которого требует данный вопрос в целом.

1358. Может быть, самым поразительным явлением для того класса диэлектриков, который мы называем электролитами, слс-

¹ Quarterly Journal, XXIV, стр. 465; или Annales de Chimie, стр. 161.

² Philosophical Transactions, 1827, стр. 22.

дует назвать необычайное и почти полное исчезновение характерного для них своеобразного способа производить разряд, которое наблюдается при переходе их в *твердое* состояние (380 и т. д.), если даже увеличивать действующую в них индукцию в сто и более раз (419). Это явление не только устанавливает весьма общую связь между физическими свойствами этих веществ и электричеством, действующим через них путем индукции, но и настолько сближает их химические и физические свойства, что дает нам право надеяться, что мы вскоре достигнем полного понимания того взаимного влияния, которым они обладают в отношении друг друга.

ГЛАВА IX

Разрывной разряд и изоляция

1359. Следующую форму разряда я охарактеризовал прилагательным «разрывной» (1319), так как он всегда в большей или меньшей степени смещает частицы, среди которых и через которые он внезапно пробивается. Сюда я отношу разряд в форме искр, кистевой и тлеющий разряды (1405), но исключаю потоки воздуха, жидких тел и т. п., которые хотя часто и сопровождают разрывной разряд, но по природе своей существенно отличаются от него.

1360. Условия, необходимые для получения электрической искры в ее простейшем виде, общеизвестны. Между двумя проводящими поверхностями находящимися в противоположных электрических состояниях, должен быть помещен изолирующий диэлектрик; если затем непрерывно усиливать действие или способствовать ему как-нибудь иначе, либо усиливая электрическое состояние обоих проводников, либо сближая их, либо уменьшая плотность диэлектрика, то в конце концов появляется *искра*, и обе силы временно уничтожаются, ибо произошел *разряд*.

1361. Проводниками (которые можно рассматривать как границы индуктивного действия) в обычных случаях служат чаще всего металлы, а как диэлектриками обычно пользуются обыкновенным воздухом и стеклом. Однако, при моем представлении

об индукции, приобретает значение всякий диэлектрик, ибо если считать, что результаты существенно зависят от этих веществ, то следовало ожидать, что при ближайшем рассмотрении выявятся такие различия в действии, о которых раньше никогда и не подозревали, и таким образом сразу получится новое подтверждение теории и будут даны новые пути для открытий в обширных и разнообразных областях нашего знания. Особенно большие надежды можно было питать в отношении газов, имея в виду высокую степень их изолирующей способности, однородность их физического состояния и значительное различие их химических свойств.

1362. Все предшествующие разряду явления имеют характер индуктивных, и поэтому степень напряжения, которой необходимо достигнуть для того, чтобы проскочила искра, является весьма существенным пунктом в проверке нового представления об индукции (чем я в данный момент занимаюсь). Эта степень является пределом влияния, которое оказывает диэлектрик, сопротивляясь разряду: следовательно, она является мерой задерживающей силы диэлектрика, которую, в свою очередь, можно принять за меру, а следовательно и выражение напряжения действующих электрических сил.

1363. Условия этого предельного действия в воздухе изучались многими учеными, но, насколько мне известно, никто не сравнился с г. Гаррисом в отношении точности и объема исследований.¹ Некоторые из его выводов я должен очень кратко привести: при этом я в самом начале укажу, что все они получены при условии, что *диэлектриком* между проводящими поверхностями служил воздух.

1364. Прежде всего о *расстоянии* между служившими для опытов шариками, или другими словами, о *толщине* диэлектрика, в котором поддерживалась индукция. Было обнаружено, что измеренное с помощью служившей единицей лейденской банки или другим способом, но на том же принципе единичной лейденской банки, количество электричества заряженного или

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 225.

индуктивного шара, необходимое для искрового разряда, в точности пропорционально расстоянию между шарами или между разрядными острями, — и это при весьма разнообразных и точных видоизменениях опыта.¹

1365. Далее, по вопросу об изменении *давления* или *плотности* воздуха. Количества электричества, необходимые для получения разряда через *постоянный* промежуток, были в точности пропорциональны изменениям плотности: количество электричества и плотность находились в одинаковом простом отношении. Если же количество электричества оставалось неизменным, а изменялись воздушный промежуток и плотность воздуха, то оказывалось, что последние просто обратно пропорциональны друг другу, т. е. что при разрежении воздуха вдвое то же самое количество электричества проходит в два раза большее расстояние.²

1366. Следует помнить, что эти явления наблюдаются при отсутствии какого бы то ни было изменения *индуктивной* силы в результате сжатия или разрежения воздуха. Эта сила остается одинаковой в воздухе³ и во всех газах (1284, 1292) и не зависит от их разрежения.

1367. Изменение *температуры* воздуха не вызывало никакого изменения в количестве электричества, необходимом для разряда через данный промежуток.⁴ Таковы те из основных результатов, полученных г. Гаррисом, которые мне сейчас требуются; они представляются мне безупречными.

1368. В теории индукции, основанной на молекулярном действии диэлектрика, причину и источник вышеупомянутых явлений мы должны усматривать преимущественно в состоянии этого тела. Теория предполагает, что пока длится индукция, частицы диэлектрика находятся в некотором поляризованном состоянии, и напряжение этого состояния в каждой частице возрастает по мере того, как индукция повышается—все равно, каким

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 225.

² Philosophical Transactions, 1834, стр. 229.

³ Там же, стр. 237, 244.

⁴ Там же, стр. 230.

образом: посредством приближения индуцирующих поверхностей, посредством изменения формы, увеличения первоначальной силы или другими способами; в конце концов, напряжение частиц достигает наивысшей степени, которую эти частицы могут еще выносить без разрушения всего расположения; тогда немедленно наступает разряд.

1369. Эта теория, впрочем, не предполагает, что *все* подвергаемые индуктивному действию частицы диэлектрика поддаются ему в одинаковой степени или приобретают одинаковое напряжение. То, что я называл боковым действием линий индуктивной силы (1231, 1297), а также расхождение и наблюдаемое иногда искривление этих линий, противоречит такому представлению. Я представляю себе, что сумма сил в любом сечении диэлектрика, перпендикулярном линиям индуктивной силы и включающем *все эти линии*, должна быть равна сумме сил в любом другом сечении, и что, таким образом, полная величина напряжения для каждого такого сечения должна быть постоянна.

1370. Разряд, вероятно, происходит не тогда, когда все частицы достигают определенной степени напряжения, а когда напряжение той частицы, которая подвергалась наиболее сильному действию, возрастает до точки, в которой должен случиться переворот или разрушение (1410). В самом деле, хотя *все* частицы на линии индукции сопротивляются заряду и действуют согласованно, давая при этом некоторую суммарную силу сопротивления, тем не менее, когда доводится до точки переворота которая-нибудь одна из них, тогда при искре между шарами должны поддаться все. Если сломится сопротивление этой одной частицы, то неизбежно вследствие этого будет опрокинута вся преграда, ибо сопротивление находилось уже на пределе, когда силы всех остальных поддерживались силой данной частицы, а этой силы больше нет. Таким образом, по этой теории, *напряжение, или интенсивность*,¹ выражается в особом состоя-

¹ Относительно предлагаемого значения этих терминов см. Гаррис. Philosophical Transactions, 1834, стр. 222.

нии частиц или в величине вынужденного отклонения их от нормального состояния (1298, 1368).

1371. По моей теории, все действие, производимое заряженным проводником на удаленный от него изолированный или неизолированный проводник, зависит от действия, распространяющегося от частицы к частице промежуточного и изолирующего диэлектрика; я предполагаю, что при этом все частицы временно приводятся в вынужденное состояние, из которого они стремятся вернуться к своему нормальному, или естественному состоянию. Таким образом теория дает, повидимому, простое объяснение зависимости индукции от *расстояния* (1303, 1364). С уменьшением расстояния индукция возрастает, ибо тогда на линии индуктивной силы меньшее число частиц сообща сопротивляются силе, стремящейся привести их в вынужденное или поляризованное состояние, и наоборот. Далее, при уменьшении расстояния разряд через него происходит при более низком заряде электричества, ибо если вдвое уменьшить расстояние, как в опытах Гарриса (1364), то для разряда через этот промежуток достаточно половины того электричества, которое требуется для разряда через первый; несомненно также, что тогда налицо имеется лишь половина промежуточных молекул, объединяющих свои силы для сопротивления разряду.

1372. При ограниченном притоке электричества увеличение проводящих поверхностей, которые во время индукции стоят друг против друга, приводит к понижению интенсивности действия, и это является весьма естественным следствием увеличения сечения диэлектрика, через который производится индукция. В самом деле, если индуктивное действие, которое раньше производилось через один квадратный дюйм поперечного сечения диэлектрика, заставить распространиться на площадь в два или три квадратных дюйма, то в поляризованное состояние придет в два или три раза большее число молекул, — они все будут участвовать в поддержании индуктивного действия, а потому напряжение, соответствовавшее случаю, когда ограниченная сила накапливается на меньшем числе молекул, должно в соответствующей степени упасть.

1373. По той же причине уменьшение этих стоящих друг против друга поверхностей должно вызывать увеличение напряжения, и это явление должно расти до тех пор, пока поверхности не превратятся в острия. Но в этом случае напряжение частиц диэлектрика, ближайших к остриям, выше, чем у частиц в средней части, вследствие бокового действия и вытекающего отсюда как бы разбухания линий индуктивной силы посередине между остриями (1369).

1374. Явления индукции на острие p или у малой поверхности вроде, например, закругленного конца стержня в том случае, когда последние расположены против большой поверхности (например, шара или пластины), выражены более ярко, чем когда острие находится против другого острия или конца: этот факт вполне согласуется с моей теорией (1302). В самом деле, в этом последнем случае малая поверхность p подвергается влиянию только тех частиц, которые приведены в индуктивное состояние такой же малой поверхностью противоположного проводника; наоборот, при опытах с шаром или пластинкой линий индуктивной силы, исходящие из последней, как бы концентрируются на конце p . Пусть напряжение молекул диэлектрика против большой поверхности значительно ниже, чем у молекул против соответственно меньшей поверхности, зато их теперь гораздо больше, и поскольку линии индуктивной силы сходятся по направлению к острию, то напряжение, которое они могут сообщить частицам, заключенным в некотором поперечном сечении (1369), более близком к этой малой поверхности, по величине может быть равно их собственному, и, следовательно, для каждой отдельной частицы будет значительно выше; таким образом напряжение частицы, расположенной у поверхности меньшего проводника, сильно возрастает, и если этот проводник будет заканчиваться острием, то напряжение возрастет до бесконечности, если только оно, как ранее (1368), не будет ограничено разрядом. К рассмотрению природы разряда в случаях малых поверхностей и острий, находящихся под действием индукции, мы вернемся в дальнейшем (1425 и т. д.).

1375. *Разрежение* воздуха не изменяет *интенсивности индуктивного действия* (1284, 1287), да, насколько я понимаю, для этого и нет никаких оснований. Если количество электричества и расстояние между проводниками остаются прежними, а воздух разрежен вдвое, то хотя половина частиц диэлектрика и удалена, но другая половина воспринимает, в отношении своей полярности, двойную степень напряжения, а потому индуктивные силы уравниваются, и результат остается неизменным до тех пор, пока сохраняются индукция и изоляция. Но при *разряде* дело обстоит совершенно иначе, ибо поскольку в разреженной атмосфере имеется только половинное количество частиц диэлектрика, то для доведения их до разрядного напряжения достаточно половины первоначального количества электричества; поэтому должен произойти разряд, и такой вывод из теории находится в полном согласии с результатами г. Гарриса (1365).

1376. Таким же образом и на основании того же самого принципа (1375) из молекулярной теории вытекает, что при увеличении давления или плотности воздуха должно *увеличиться* количество электричества, необходимое для того, чтобы получить разряд через такой же промежуток.

1377. В данном случае, я полагаю, мое представление об индукции имеет решительное преимущество перед другими, особенно перед тем, которое приписывает удержание электричества на поверхности проводников *давлению атмосферы* (1305). Последний взгляд, принятый Пуассоном и Био,¹ является, повидимому, общепринятым; между тем, этот взгляд грубыми механическими соотношениями — простым статическим давлением — связывает две такие разнородные вещи, как весомый воздух и тончайшую и даже гипотетическую электрическую жидкость (или жидкости). Моя теория, наоборот, начинается с того, что связывает электрические силы с частицами вещества; все ее доводы, и прежде всего сама она, берут начало из опыта, а затем,

¹ Encyclopaedia Britannica, дополнение, IV. Статья об электричестве. стр. 76, 81 и т. д.

она, повидимому, сразу без всяких дальнейших предположений дает полное объяснение этих и многих других замечательных своеобразных явлений, которые, как мне кажется, до сих пор не приводились в связь.

1378. Здесь можно привести в помощь еще один существенный экспериментальный довод, вытекающий из различия удельных индуктивных способностей разных диэлектриков (1269, 1274, 1278). Рассмотрим изолированный шар, наэлектризованный положительно и помещенный в центре в другом неизолированном шаре больших размеров; пусть между шаровыми поверхностями находится однородный диэлектрик, например воздух. Этот случай в сущности соответствует моему прибору (1187), а по своему действию не отличается от наэлектризованного шара, находящегося в комнате и удаленного на некоторое расстояние от проводников неправильной формы. Пока дело остается в этом положении, электричество распределяется по поверхности наэлектризованного шара (если так можно выразиться) равномерно. Но если ввести в пространство между двумя проводниками с одной только стороны или против одной части внутреннего шара такой диэлектрик, как сера или шеллак, то электричество на этом шаре немедленно распределится неравномерно (1229, 1270, 1309), хотя форма проводящих поверхностей, их расстояния и *давление* атмосферы остаются совершенно неизменными.

1379. Фузиньери придерживался другого взгляда, чем Пуассон, Био и др., на причину того, почему разрежение воздуха приводит к более легкому рассеянию электричества. Он считал, что это явление обусловлено тем, что при разрежении устраняется *противодействие*, оказываемое воздухом распространению тех веществ, с которых удаляется электричество.¹ Но платиновые шары в пустоте обнаруживают эти явления наравне с летучими металлами и другими веществами; кроме того, когда разрежение очень значительно, то электричество уходит почти без сопротивления и без заметного выделения тепла; поэтому, как

¹ Bibliothèque Universelle, 1831, XLVIII, стр. 375.

я полагаю, точка зрения Фузиньери вряд ли встретит большое одобрение.

1380. Мне не приходится говорить о разрядной или собирающей способности пламени или нагретого воздуха. Как и Гаррис, я полагаю, что одно нагревание не производит никакого действия (1367), единственно же существенным является разрежение. Влияние разрежения в общих чертах было рассмотрено выше (1375), а действие, вызываемое теплом горящей свечи с ее заостренным фитилем, и способность к переносу электричества, обнаруживаемая имеющимися в пламени частицами углерода, вполне достаточны для объяснения всех этих явлений.

1381. Мы подходим теперь к важному вопросу о том, как необходимое для изолирующего действия и разрывного разряда индуктивное напряжение будет поддерживаться в газах; эти газы обладают тем же физическим состоянием, а равно *тем же давлением и той же температурой*, что и воздух, но отличаются от него удельным весом, химическими свойствами, а может быть и другими особенностями, которые, хотя до сих пор и не разъяснены, являются чисто электрическими (1361).

1382. В настоящей момент я могу входить в рассмотрение этого вопроса лишь постольку, поскольку это существенно для данного положения, а именно, что изоляция и индуктивное напряжение зависят не только от того, какой выбран заряженный проводник, но также, и весьма существенно, от промежуточного диэлектрика, в связи с молекулярным действием его частиц (1292).

1383. Вершина и основание стеклянного сосуда *a* (рис. 121)¹ были отшлифованы так, чтобы его можно было закрыть двумя притертыми латунными пластинками *b* и *c*; на пластинке *b* имела муфта, через которую с трением проходил скользящий стержень *d*, заканчивающийся снизу латунным шариком *s*, а наверху — кольцом. Нижняя пластинка соединялась с подстав-

¹ Чертеж дан в масштабе 1/6.

кой *e*, краном *f* и цоколем *g*, а также с латунным шариком *l*, который с помощью стержня, прикрепленного к нему и входящего в цоколь *g*, можно было устанавливать на различной высоте. Металлические части этого прибора не были лакированы, а стекло было покрыто слоем шеллака из спиртового раствора. Можно было откачать сосуд воздушным насосом, и потом его

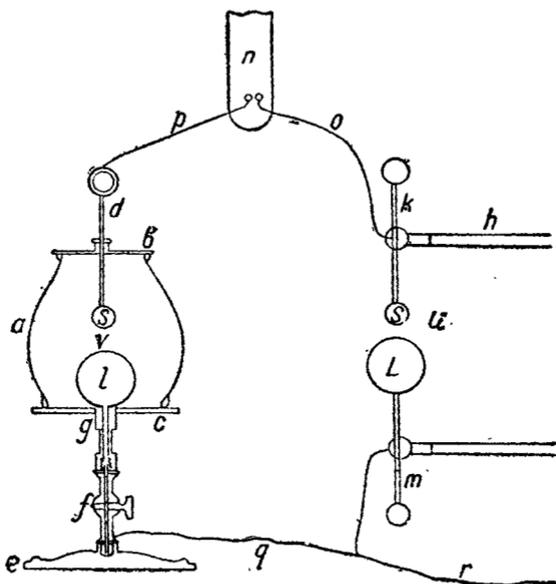


Рис. 121.

можно было вместо воздуха наполнять каким-либо другим газом; при этом вводимый таким образом газ предварительно просушивался над плавленным хлоридом кальция.

1384. Другая часть прибора состояла из двух изолирующих стоек *h* и *i*, на которых были укреплены два латунных шарика, а через последние проходили с трением два стержня *k* и *m*, заканчивавшиеся на обоих концах латунными шариками; *n* — конец изолированного проводника, который можно было с помощью электрической машины заряжать положительно или отрицательно;

σ и p — провода, соединяющие его с двумя описанными ранее частями прибора, а q — провод, который соединял две противоположных расположенных рядом системы и одновременно сообщался с хорошим разрядным проводом r (292).

1385. Ясно, что разряд электричества машины может проходить либо между s и l , либо между S и L . В первых опытах расстояние между s и l сохранялось неизменным; в сосуд a вводился сначала один, а потом другой газ, а затем разряд в одном месте уравнивался разрядом в другом месте; уменьшая в достаточной мере промежуток u , можно заставить разряд целиком проходить через него, а при достаточном его увеличении весь разряд будет проходить через промежуток v в сосуде. Принципиально казалось очевидным, что таким путем переменный интервал u можно будет принять за меру или, скорее, за указатель сопротивления разряду через газ при постоянном промежутке v . Постоянные размеры были следующие:

Шарик s	0,93 дюйма
Шарик S	0,96 дюйма
Шарик l	2,02 дюйма
Шарик L	1,95 дюйма
Промежуток v	0,62 дюйма

1386. При опыте было обнаружено, что когда в сосуде a находился воздух или какой-нибудь другой газ, промежуток u не был постоянным; длину его можно было менять в определенных пределах, и все же искры проскакивали то через него, то через промежуток v в сосуде. Поэтому были отмечены крайние значения, т. е. наибольшее расстояние, ближайшее к тому, при котором разряд *всегда* проходит через газ в v , и наименьшее расстояние, — ближайшее к тому, при котором он *всегда* проходит через воздух в u . Так, когда в сосуде находился воздух, крайние значения для u были равны 0,56 и 0,79 дюйма, промежуточное расстояние в 0,23 между этими точками включает те длины промежутка, при которых искры иногда проскакивали в одном месте, а иногда в другом.

1387. Шарик s и S можно было заряжать от машины положительно или отрицательно, а так как можно было ожидать,

что газы будут различно относиться к такой перемене тока, как это и оказалось на опыте (1399), то записывались также результаты, полученные при таких изменениях заряда.

1388. Нижеследующее представляет собой таблицу этих результатов; поименованный в таблице газ — это тот, который находится в сосуде *a*. Наименьшая, наибольшая и средняя длины воздушных промежутков *u* выражены в долях дюйма: длина промежутка *v* была неизменно равна 0,62 дюйма.

	Наименьшая	Наибольшая	Среднее
Воздух, <i>s</i> и <i>S</i> заряжены положительно	0,60	0,79	0,695
Воздух, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,59	0,68	0,635
Кислород, <i>s</i> и <i>S</i> „ положительно	0,41	0,60	0,505
Кислород, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,50	0,52	0,510
Азот, <i>s</i> и <i>S</i> „ положительно	0,55	0,68	0,615
Азот, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,59	0,70	0,645
Водород, <i>s</i> и <i>S</i> „ положительно	0,30	0,44	0,370
Водород, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,25	0,30	0,275
Углекислота, <i>s</i> и <i>S</i> „ положительно	0,56	0,72	0,640
Углекислота, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,58	0,60	0,590
Маслородный газ, <i>s</i> и <i>S</i> заряжены положительно	0,64	0,86	0,750
Маслородный газ, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,69	0,77	0,730
Светильный газ, <i>s</i> и <i>S</i> „ положительно	0,37	0,61	0,490
Светильный газ, <i>s</i> и <i>S</i> „ отрицательно	0,47	0,58	0,525
Газообразная соляная кислота, <i>s</i> и <i>S</i> заряжены положи- тельно	0,89	1,32	1,105
Газообразная соляная кислота, <i>s</i> и <i>S</i> заряжены отрица- тельно	0,67	0,75	0,720

1389. Приведенные выше результаты были получены в одно и то же время. В дельнейшем производились еще другие опыты, которые в основном дали результаты такого же порядка, но отличались от них численно. Например:

Водород, <i>s</i> и <i>S</i> заряжены положительно	0,23	0,57	0,400
Углекислота, <i>s</i> и <i>S</i> „ положительно	0,51	1,05	0,780
Маслородный газ, <i>s</i> и <i>S</i> заряжены положительно	0,66	1,27	0,965

Я не отмечал разницы в барометрическом давлении в дни опыта.¹

¹ Подобные же опыты с разными газами описаны в пп. 1507, 1508 Дек. 1838 г.

1390. Можно было ожидать, что существуют только два расстояния, по одному для каждого промежутка, при которых разряд может происходить и в том и в другом, и что малейшее изменение одного из промежутков немедленно вызовет постоянное преобладание одного над другим. Однако при обычных условиях дело обстоит иначе. Когда сосуд был наполнен воздухом, для меньшего промежутка, равного 0,6 дюйма, расхождение доходило почти до 0,2 дюйма, а при газообразной соляной кислоте расхождение превосходило 0,4 для меньшего промежутка, составлявшего 0,9 дюйма. Почему же постоянный промежуток (промежуток в сосуде) один раз пропускает искру, которая в то же время не может проскочить через 0,6 дюйма воздуха, а вслед за тем — и, повидимому, при точно таких же обстоятельствах — не может пропустить искру, проскакивающую через 0,8 дюйма воздуха?

1391. Вероятно, это различие отчасти следует отнести за счет носящихся в воздухе частиц пыли, вовлекаемых в цепь и в близлежащие точки (1568). Я полагаю, что отчасти оно обусловлено также переменным состоянием заряда на поверхности стеклянного сосуда *a*. Что все явление нельзя приписать целиком влиянию условий в сосуде *a*, можно видеть из того, что когда искры возникают между шариками в обычном воздухе, то они нередко оказываются не прямыми и часто проскакивают не по кратчайшему расстоянию, а по другим направлениям. Такие изменения в самом воздухе и у различных мест одних и тех же шариков указывают на наличие и влияние обстоятельств, которые способны производить явления рассматриваемого здесь рода.

1392. Когда через какой-либо из промежутков раз уже проскочила искра, то, вообще говоря, наблюдалось стремление к появлению, в *той же* промежутке, и дальнейших искр, как будто прохождение их было уже подготовлено последней искрой. Равным образом при продолжающемся быстром вращении машины искры чаще всего следовали друг за другом в одном и том же месте. Это явление, вероятно, обусловлено в некото-

рой части теплотой воздуха, подогретого предшествующей искрой, отчасти пылью, а отчасти, я полагаю, чем-то таким, что до сих пор в условиях разряда не подмечено.

1393. Весьма яркое отличие, притом *постоянное* по направлению, возникает, когда сообщенное шарикам s и S электричество меняется с положительного на отрицательное или наоборот. Отличие состоит в том, что пределы изменения всегда больше в том случае, когда меньшие шарики заряжены положительно, и меньше, когда они отрицательны. Это обнаруживается из следующей таблицы, составленной на основании предыдущих опытов.

	Положительно	Отрицательно
В воздухе пределы отклонения были	0,19	0,09
В кислороде	0,19	0,02
В азоте	0,13	0,11
В водороде	0,14	0,05
В углекислоте	0,16	0,02
В масляном газе	0,22	0,08
В светильном газе	0,24	0,12
В соляной кислоте	0,43	0,08

Я не сомневаюсь в том, что эти цифры нуждаются в некоторых поправках, но общий результат бросается в глаза; в отдельных случаях различие очень велико.

1394. Хотя вследствие непостоянства пробивного расстояния (1386) воздушный промежуток не может пока что служить мерой изолирующей способности или силы сопротивления газа в сосуде, тем не менее, в данном случае мы можем принять, что средняя длина промежутка до некоторой степени характеризует эту величину. Рассматривая средние промежутки, как они даны в третьем столбце (1388), мы ясно увидим, что служащие диэлектриками газы связаны с изоляцией, а, следовательно, и с индукцией, своими особыми электрическими свойствами, весьма отлично от того, чего можно было бы ожидать, если бы промежутки

зависели только от таких физических свойств, как удельный вес или давление.

1395. Прежде всего, ясно, что при *одном и том же давлении* газы ведут себя неодинаково, причем различие таково же, как между числами 37 и 110. Когда меньшие шарики заряжены положительно, то при одинаковой поверхности и при одном и том же давлении изолирующая или задерживающая способность газообразной соляной кислоты в три раза больше (1362), чем у водорода, и почти в два раза больше, чем у кислорода, азота и воздуха.

1396. Тем не менее очевидно, что эта разница обусловлена не удельным весом, ибо хотя водород и дает самые низкие значения, а следовательно более низкие, чем кислород, но кислород стоит значительно ниже азота и маслородного газа, а углекислота, хотя она и значительно тяжелее маслородного газа или газообразной соляной кислоты, стоит ниже их. Кислород, как тяжелый газ, и маслородный газ, как легкий, резко отличаются друг от друга, и если мы вправе судить о маслородном газе на основании данных, полученных Гаррисом для воздуха (1365), то маслородный газ можно было бы подвергнуть разрежению до двух третей его обычной плотности, т. е. до удельного веса 9,3 (при удельном весе водорода, равном 1), и при этом, несмотря на то, что он не обладал бы ни той плотностью, ни тем давлением, что кислород, изолирующая способность или стремление сопротивляться разряду, которые бы он обнаружил, были бы таковы же, как у кислорода.

1397. Выше были описаны опыты (1291, 1292), указывающие на то, что газы обнаруживают заметное сходство в отношении своих удельных индуктивных способностей. Этот результат не противоречит существованию значительных различий в их сдерживающей способности. То же самое уже было отмечено в отношении плотного и разреженного воздуха (1375).

1398. Отсюда возникает новый довод, подтверждающий, что предупреждает и определяет разряд (1377, 1378) не просто атмосферное давление, а особое электрическое свойство, или каче-

ство газообразной среды. Отсюда же лишний довод в пользу теории молекулярного индуктивного действия.

1399. Как ни грубы и поспешны предшествующие опыты, из них все же можно вывести еще и другие специфические различия между газами. Так, положительный и отрицательный ряды средних длин промежутков дают неодинаковые разницы. Выше было отмечено, что значения, соответствующие отрицательному заряду, ниже положительных (1393), но, кроме того, для положительного и отрицательного зарядов и *порядок* получается различный. Так, если сравнивать средние величины (которые для данного момента служат характеристикой изолирующего напряжения), оказывается, что в воздухе, водороде, углекислоте, маслородном газе и газообразной соляной кислоте напряжение подымалось выше, когда меньший шарик был заряжен положительно, и было ниже, когда он заряжался отрицательно; в кислороде, азоте и светильном газе имело место обратное. А поэтому, хотя эти числа и нельзя считать точными, и хотя воздух, кислород и азот должны были бы, по всей вероятности, вести себя одинаково, тем не менее, некоторые из этих результатов, как, например, для соляной кислоты, ясно указывают на особое свойство газов и различие между ними в этом отношении. В дальнейшем это было подтверждено, когда в сосуде *a* находилась газообразная соляная кислота, а воздушный промежуток был сделан равным 0,8 дюйма; в этом случае, при положительном заряде меньших шариков *s* и *S*, *весь* разряд проходил через *воздух*; а когда они же были заряжены отрицательно, *весь* разряд проходил через газообразную соляную кислоту.

1400. Когда проводник *n* был присоединен только к сосуду, содержащему газообразную соляную кислоту, то таким же образом было обнаружено, что при отрицательном заряде меньшего шарика *s* разряд совершался с большей легкостью, чем при положительном, ибо в последнем случае немалое количество электричества уходило с соединительного провода *p* в воздух в виде кисте-

вого разряда; в первом же случае, повидимому, все электричество проходило через соляную кислоту.

1401. Впрочем, к рассмотрению положительного и отрицательного разрядов через воздух и другие газы мы еще вернемся в последующей части этого доклада и в следующем докладе (1465, 1525).

1402. На этом пока-что я должен закончить рассмотрение этой стороны вопроса, которое имело единственной целью выяснить, насколько газы сходны или отличаются друг от друга в отношении способности удерживать заряд на телах, действующих через них путем индукции. Все результаты согласно указывают на то, что индукция представляет собой действие смежных частиц (1295 и т. д.); но мало того, что они подтверждают это основное положение, подлежащее проверке в настоящем исследовании, результаты эти еще способствуют в весьма значительной степени раскрытию особых свойств каждого газообразного диэлектрика; в то же время они указывают на необходимость дальнейшего широкого экспериментального исследования, суля новые открытия в награду за труды, которые для него требуются.

1403. Когда от рассмотрения диэлектриков, подобных газам, мы переходим к телам, находящимся в жидком и твердом состоянии, то наши рассуждения при настоящем состоянии вопроса все более приобретают характер простых предположений. Впрочем, в представляемых этими телами явлениях я не нахожу ничего, противоречащего теории. Возьмем три изолирующих диэлектрика, каковы воздух, скипидар и шеллак, и воспользуемся прежними шарами или кондукторами с одинаковыми промежутками, которые заполним этими тремя веществами; будем увеличивать напряжение индукции до тех пор, пока не наступит разряд; тогда окажется, что в жидкости ее надо повышать значительно сильнее, чем в газе, а в твердом теле еще выше, чем в жидкости. И это не противоречит теории, ибо хотя молекулы жидкости обладают почти такой же свободой перемещения, как

молекулы газа, но в данном промежутке жидкости имеется иллицо гораздо больше частиц; так же обстоит дело и с твердым телом. Кроме того, при опытах с твердым телом некоторое действие будут производить и силы сцепления данного вещества; правда, самая твердость тела и другие обстоятельства могут и не препятствовать получению в нем поляризованного состояния частиц, а в некоторых случаях могут даже, наоборот, благоприятствовать ему (1164, 1344); тем не менее, твердое состояние может оказать влияние на точку окончательного разрушения (точно так же, как оно предупреждает разряд в электролите); таким образом оно может дать индуктивному напряжению возможность расти до значительно более высокого размера.

1404. В случае твердых, а также жидких тел, последние могут обладать, а по всей вероятности и обладают, своими особыми различиями в отношении способности приходить в поляризованное состояние, а также в отношении той величины, до которой должна возрасти поляризация, чтобы произошел разряд. Аналогичная разница, уже отмеченная в последнем докладе для некоторых веществ (1278), существует в отношении их удельных индуктивных способностей. Таким различием можно бы было даже объяснить различия в изолирующей способности и проводимости, присущих различным веществам, и если бы оказалось, что они существуют, то это еще более усилило бы доводы в пользу молекулярной теории индуктивного действия.

1405. Рассмотрев эти разнообразные случаи изоляции, которую выдерживают непроводящие диэлектрики, вплоть до наивысшего предела, которого они могут достигнуть, мы видим, что рано или поздно они кончаются *разрывным разрядом*; при этом то особое состояние молекул диэлектрика, которое было необходимо для существования постоянной индукции, в равной мере существенно для возникновения этого явления, которым заканчиваются все прочие. Этот разряд отличается не только внешним видом и условиями от предыдущих видов разряда, пу-

тем которых осуществлялось понижение сил (1320, 1343); не меняясь по существу, он сам значительно видоизменяется в отношении некоторых характерных особенностей и таким образом являет нам формы *искры*, *кистевого разряда* и *свечения* (1359). Я начну с рассмотрения *искры*, и ограничусь пока что случаем разряда между двумя противоположно наэлектризованными проводящими поверхностями.

Электрическая искра или вспышка

1406. Искра является следствием разряда или ослабления поляризованного индуктивного состояния многочисленных частиц диэлектрика посредством особого действия немногих частиц, занимающих очень малый и ограниченный объем; при этом все бывшие до того поляризованными частицы возвращаются в свое первоначальное, или нормальное, состояние в порядке, обратном тому, в каком они его покидали, и общими силами стараются в данный момент создать, или, вернее, продлить (1417—1436) явление разряда в том месте, где первоначально возникло разрушение силы. У меня создается впечатление, что те немногие частицы, которые расположены в месте возникновения разряда, не просто отодвигаются в сторону, но что они временно приходят в особое сильно напряженное состояние, т. е. что на них последовательно обращаются все окружающие силы; тогда при соответственном возрастании напряжения их состояния, может быть до напряжения химического соединения атомов, они разряжают эти силы — возможно, таким же путем, как они разряжают свои собственные, каким-либо нам в настоящее время еще не известным процессом; этим все и кончается. Конечный эффект в точности таков, как если бы в месте нахождения разряжающихся частиц был вставлен металлический провод; и представляется вполне возможным, что в дальнейшем и принцип действия в обоих случаях окажется одинаковым.

1407. *Путь искры*, или разряда, зависит от степени напряжения, приобретенного частицами вдоль линии разряда; по при-

чинам, которые во всех обычных случаях вполне очевидны и легко объясняются на основании теории, напряжение этих частиц становится выше, чем у соседних, так что они, дойдя первыми до необходимого состояния, предопределяют путь разряда. Этим объясняется выбор пути, и тем самым разрешается существующая, с точки зрения старой теории, загадка, которую так хорошо описал Гаррис.¹ Для пути электрической искры, или даже молнии, среди молекул все заранее подготовлено предшествующей индукцией.

1408. То же затруднение указывает Нобили для случая гальванического электричества, и притом почти теми же словами, как г. Гаррис, а именно:² «Электричество направляется к той точке, где оно может с наибольшей легкостью разрядиться». Исходя из этого положения, Нобили пришел к результатам, которые прекрасно изложил для случая гальванических токов. Но *разрешение* этого затруднения, т. е. причина этих явлений, все та же: индукция доводит частицы до определенной степени напряжения (1370) или почти до нее, и разряд прежде всего и наиболее успешно осуществляется теми частицами, которые первыми достигают этого напряжения.

1409. *Момент* разряда, вероятно, определяется той частицей диэлектрика, напряжение которой в силу обстоятельств наиболее быстро возросло до максимальной интенсивности. Во всех тех случаях, когда разряд проходит от проводника к проводнику, эта молекула должна находиться на поверхности одного из них; когда же он проскакивает между проводником и непроводником, то это может быть и не всегда так (1453). Когда эта частица приобрела свое максимальное напряжение, то на исходящей из нее линии или линиях индуктивного действия вся преграда сопротивления оказывается сломленной, и происходит разрывной разряд (1370); такой вывод из теории кажется мне согласным с данными и заключениями г. Гарриса относительно

¹ Nautical Magazine, 1834, стр. 229.

² Bibliothèque Universelle, 1835, LIX, стр. 275.

сопротивления атмосферы, а именно, что фактически для одного разрядного расстояния оно не больше, чем для другого.¹

1410. Представляется вероятным, что напряжение частицы одного и того же диэлектрика, например воздуха, необходимое для получения разряда, является *постоянной величиной*, не зависящей ни от того, какую форму имеет то место проводника, с которым он соприкасается: шара или острия, ни от того, какова толщина или глубина диэлектрика, в котором действует индукция. Может быть, оно не зависит даже от состояния диэлектрика в смысле его разрежения или уплотнения и от природы того проводника, с которым частица в данное время связана, т. е. хорош он или плох. Этими словами я не думаю отрицать небольшие различия, которые могут быть вызываемы действием соседних частиц на «решающую» частицу; ведь, в самом деле, очевидно, что требующееся для частицы напряжение должно быть связано с состоянием частиц, расположенных рядом. Но если это предположение окажется близким к истине, то какую общность оно представляет! И нельзя ли надеяться в определенности силы, присущей отдельной молекуле, найти непосредственную связь с той силой, которая, будучи электрической, является столь же определенной и составляет химическое сродство?

1411. Теоретически казалось бы, что в момент искрового разряда вдоль одной какой-либо линии индуктивной силы не только все другие линии будут отдавать свои силы этой одной (1406), но что уничтожится боковой эффект, эквивалентный отталкиванию этих линий (1224, 1297); за этим последует, может быть, противоположное действие, которое поведет к сжатию или притяжению этих частей. В течение долгого времени я для статического электричества разыскивал какую-нибудь поперечную силу, которая была бы эквивалентна магнетизму или поперечной силе электричества в виде тока; я полагал, что она должна находиться в связи с описанным ранее (1297) поперечным действием линий индуктивной силы; поэтому я пытался посредством самых

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 227, 229.

различных опытов обнаружить действие этой силы и почерпнуть отсюда объяснение явлений электромагнетизма и магнито-электричества.¹

1412. В числе других результатов я ожидал, что две одинаковые искры, если бы их удалось получить одновременно рядом и достаточно близко одна к другой, будут действовать друг на друга и даже вплотную подходить сбоку друг к другу. Для этой цели две одинаковые лейденские банки были снабжены медными стержнями, выступавшими из их шаровых головок в горизонтальном направлении; толщина стержней была равна примерно 0,2 дюйма; на концах они были закруглены. Лейденские банки были поставлены на лист станиоля и установлены таким образом, что их стержни *a* и *b* приходились близко друг к другу в положении, представленном в

плане на рис. 122; *c* и *d* были два латунных шарика, соединенные друг с другом латунным стержнем и изолированные; *e* — также латунный шарик, соединенный посредством провода с

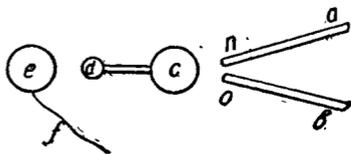


Рис. 122.

землей и со станиолем, на котором стояли лейденские банки. Если поперек *a* и *b* положить изолированный металлический стержень, зарядить банки и удалить стержень, то обе лейденские банки можно довести до одинакового напряжения заряда (1370). Если затем приблизить шарик *e* к шарикю *d* в тот момент, когда между ними проскакивала искра, между стержнями *n* и *o* и шариком *c* проскакивают две искры; насколько можно было судить на-глаз и поскольку это определялось условиями опыта, они происходили одновременно.

1413. При этих условиях разряд совершался двояким образом: либо от каждого конца на шарик проскакивала своя особая искра, либо только один конец соединялся с шариком посред-

¹ См. дальнейшие исследования по этому вопросу (1658—1666, 1709—1735). Дек. 1838 г.

ством искры, но в то же время он был связан с другим концом искрой, проскакивавшей между ними обоими.

1414. Если шарик *c* имел примерно один дюйм в диаметре, а концы *n* и *o* отстояли от него примерно на полдюйма и на 0,4 дюйма друг от друга, то удавалось устроить, чтобы искры направлялись к шарикю. Чтобы сблизить искры, концы *n* и *o* подвигались ближе друг к другу; тогда давал искру на шарик только один конец, а от другого конца искра шла к первому; этого не случалось только при очень тщательной установке; при малейшем изменении в расположении либо *n*, либо *o* становилось тем концом, который давал искру прямо на шарик; через него же или с его помощью разряжал свое электричество второй шарик.

1415. Я нашел, что при уменьшении шарика *c* необходимо увеличить промежуток между *n* и *o* в соответствии с расстоянием между ними и шариком *c*. Я обнаружил, что при увеличении *c* можно уменьшать промежуток и таким образом сближать две одновременные самостоятельные искры до тех пор, пока расстояние между ними в наиболее широкой части не становилось в конце концов равным 0,6 их полной длины.

1416. Затем я пропускал многочисленные искры и тщательно за ними наблюдал. Очень редко они были прямые, чаще же оказывались либо дугообразными, либо неправильно изогнутыми. В большинстве случаев, как мне кажется, они определенно были выпуклыми по направлению друг к другу; может быть, две трети искр в большей или меньшей степени давали это явление, а остальные были более или менее выгнуты наружу. Но мне никогда не удавалось получить такие тонкие искры, чтобы они отдельно соскочили с проводов *n* и *o*, а потом слились в одну искру, прежде чем достигнуть шарика *c* или соединиться с ним. Поэтому в настоящий момент, хотя я и думаю, что наблюдал стремление искр к соединению, но не берусь утверждать, что это действительно так.

1417. Здесь наблюдается однако одно весьма интересное явление, аналогичное, а может быть отчасти тождественное, с

тем, которое я пытался получить; я подразумеваю большую легкость разряда в том месте, где проскакивает искра. Например, в тех случаях, когда один конец, хотя бы n , производил разряд электричества от обоих концов к шарiku c (рис. 122), электричество другого конца o должно было проходить через воздушный промежуток, в 1,5 раза превосходящий тот, через который ему бы пришлось пройти, непосредственно проскакивая между данным концом и самим шариком. В таких случаях, даже пользуясь методом Уитстона,¹ на-глаз нельзя было заметить, чтобы искра из конца n , содержавшая обе порции электричества, была двойной. Не могла она также состоять из двух искр, проследовавших разными путями, ибо такое явление было бы видно на-глаз; но все-таки возможно, что искра от первого конца n и его лейденской банки, опередив на ничтожный промежуток времени искру от другого конца o , нагревала и расширяла воздух на своем пути и приводила его в состояние, настолько более благоприятствующее разряду, что электричество конца o предпочтительно проскакивало через него и избирало весьма извилистый путь, а не более прямой путь к шарiku. Против этого предположения надо, однако, заметить, что одна уже искра между d и e своим влиянием стремилась бы произвести одновременные разряды у n и o и, несомненно, производила их, когда ни один из проводов не был поставлен в более благоприятные условия в отношении предшествующего индуктивного действия (1414).

1418. Дело в том, однако, что разрывной разряд способен сам себе. Вначале он представляет собой случай неустойчивого равновесия, и если *время* хотя бы в чрезвычайно малой степени (1436) привходит в разряд, как его элемент, то начало действия в какой-нибудь точке благоприятствует его продолжению и усилению в этом месте, и некоторые количества силы будут разряжаться по такому пути, которого они при других обстоятельствах не избрали бы.

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 584, 585.

1419. Уже одно нагревание и расширение воздуха первой порцией проходящего электричества должно оказывать большое влияние при получении этого явления.

1420. Что касается самого результата, то действие его можно проследить в каждой электрической искре, ибо разряд определяется не всем проходящим количеством электричества, а только той небольшой частью силы, которая доводит решающую молекулу (1370) до максимального напряжения; затем, когда силы ее преодолены и начинается разряд, все остальное электричество проходит по тому же пути благодаря влиянию только что упомянутых благоприятствующих условий; и независимо от того, как распределено электричество: на одном или на тысяче квадратных дюймов заряженного стекла, разряд идет до конца. В дальнейшем мы встретимся с влиянием этого явления при образовании кистевых разрядов (1435), и весьма возможно, что удастся выявить его участие при образовании зигзагообразной искры и разветвляющейся молнии.

1421. Свойства электрической искры в *различных газах* различны; возможно, что это различие зависит просто от действия выделяющегося в этот момент тепла. Но оно может зависеть также от того особого соотношения частиц и электрических сил, которое я положил в основу своей теории индукции; факты не противоречат такому представлению, а с такой точки зрения самые различия подкрепляют доводы в пользу молекулярного действия, поскольку оно как бы указывает на влияние последнего во всех областях электрических явлений (1425, 1454).

1422. Внешний вид искр в различных газах наблюдался и описывался неоднократно,¹ но я считаю не лишним вкратце указать на следующие результаты: искры получались с латунными шариками (платиновые поверхности были бы лучше) и при

¹ См. описание машины Тейлера (Teyler), данное ван Марумом, I, стр. 112 и II, стр. 196, а также Encyclopaedia Britannica, VI, статья «Электричество», стр. 505, 507.

обыкновенных давлениях. В *воздухе* искры обнаруживают тот чрезвычайно яркий синеватый цвет, который всем известен, и когда количество проходящего электричества невелико, то часто по его пути видны бледные или темные участки. В *азоте* искры очень красивы; они имеют в общем такой же внешний вид, как и в воздухе, но обладают определенно более сильной окраской синеватого или пурпурового оттенка; сопровождавший их треск мне казался особенно звучным. В *кислороде* искры были белее, чем в воздухе и азоте, и, мне кажется, менее ярки. Искры в *водороде* были очень красивого малинового цвета; это не находится в связи с разреженностью водорода, ибо при разрежении (1459)¹ окраска исчезала. Треск в этом газе был очень слаб, но это объясняется физическими свойствами последнего.² В *углекислом газе* цвет искры был таков же, как в воздухе, но с некоторым зеленоватым оттенком; искры были особенно неправильны по форме — более неправильны, чем в обыкновенном воздухе; кроме того, при прочих равных условиях в отношении размера шарика и т. д., их удавалось получать значительно более длинными, чем в воздухе, т. е. газ проявлял удивительную способность легко пропускать разряд в форме искры. В *газообразной соляной кислоте* искры были почти белые; они всегда были ярки на всем своем протяжении и никогда не обнаруживали тех темных участков, которые иногда получают в воздухе, азоте и некоторых других газах. Газ был сухой, и в течение всего опыта внутренняя поверхность стеклянного шара оставалась сухой и блестящей. Искра в *светильном газе* бывала иногда зеленой, иногда красной; случалось, что одна часть ее была зеленой, а другая — красной; вдоль искры наблюдались также резко ограниченные темные участки, не связанные с яркими участками каким-нибудь более тусклым переходом. Создается впечатление, что светлый и темный участки следуют непосредственно один за другим.

¹ Ван Марум говорит, что искры в водороде примерно в четыре раза больше чем в воздухе (т. I, стр. 122).

² Leslie, Cambridge Phil. Transactions, стр. 267.

1423. Такое разнообразие внешних признаков создает у меня впечатление, что они обусловлены прямой связью между электрическими силами и частицами диэлектрика, через который происходит разряд, а не являются просто результатом случайного воспламенения или вторичного действия электричества на те частицы, которые оно встречает на своем пути и разбрасывает при своем прохождении (1454).

1424. Искру можно получить и в средах значительно более плотных, чем воздух, как, например, скипидар, оливковое масло, смола, стекло и т. п.; ее можно получить также в веществах, которые, будучи более плотными, в то же время приближаются к свойствам проводников, например, в спермацете, воде и т. п. Но и в этих случаях, насколько я понимаю, не встречается ничего, что бы противоречило тем общим представлениям, в защиту которых я выступаю.

Электрический кистевой разряд

1425. Следующий вид разрывного разряда, который я рассмотрю, это *кистевой разряд*. Существует много способов получения такого разряда, или, вернее, усиления его характерных особенностей, и все эти способы служат к выяснению тех принципов, которые лежат в его основе. Возьмем изолированный проводник, соединим его с положительным кондуктором электрической машины и снабдим его металлическим стержнем диаметром 0,3 дюйма; пусть стержень выступает в сторону, противоположную машине и заканчивается закруглением или небольшим шариком. Такой стержень, как правило, дает хорошие кистевые разряды; если машина находится в плохом состоянии, то можно указать множество приемов, способствующих образованию кистевого разряда. Так, для увеличения индуктивной силы (1374) к концу стержня можно приблизить руку или какую-нибудь *большую* проводящую поверхность; можно взять конец меньших размеров и из плохо проводящего вещества, например из дерева; можно включить искру между главным кондуктором машины и тем вторичным проводником, к которому принадлежит конец,

испускающий кистевые разряды; можно (это сообщает кистенным разрядам чрезвычайно красивый вид и большие размеры) более или менее разредить воздух вокруг конца — все равно как: нагреванием или посредством воздушного насоса; при этом ранее упомянутые благоприятствующие условия следует сохранить.

1426. Кистевой разряд получался от мощной машины на шарике диаметром в 0,7 дюйма; шарик находился на конце длинного латунного стержня, прикрепленного к положительному главному кондуктору; разряд имел тогда в общем вид, изображенный на рис. 123; в средней части шарика появлялся, выступая прямо из него, конический яркий участок или ствол, который на небольшом расстоянии от шарика внезапно превращался в широкую кисть бледных разветвлений; последние находились в дрожательном движении и при этом сопровождалась низким глухим треском.

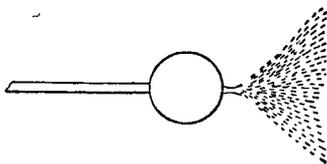


Рис. 123.

1427. На первый взгляд кисть кажется непрерывной, но проф. Уитстон показал, что явление как целое состоит из последовательных перемежающихся разрядов. ¹ Если, двигая не головой, а одним только глазом, быстро переводить взгляд в направлении, перпендикулярном кисти, смотря сначала в упор примерно на 10—15° выше ее и сейчас же затем настолько же ниже, то вся кисть представляется разложенной на некоторое число отдельных кистей, расположенных вдоль линии, пройденной глазом; каждая элементарная кисть представляет собой результат отдельного разряда, а пространство между ними отвечает как тому времени, в течение которого глаз проходил этот промежуток, так равно и времени, прошедшему между одним разрядом и следующим за ним.

1428. Отдельные кисти легко было отделить на расстояние, в восемь или десять раз превосходящее их собственную толщину,

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 586.

но они за это время не расширились, т. е. не становились более неопределенными по форме; они становились, наоборот, более отчетливыми и, отделяясь от других, действовали на глаз как более определенные по форме, разветвлению и характеру. Значит, каждая из них существовала одно мгновение (1436). У каждой кисти имелся вполне развитый конический ствол (1426).

1429. При шарике меньшего диаметра вся кисть вообще была меньше, а звук, хотя и слабее, но более непрерывный. При разложении кисти, как и ранее, на ее элементарные части оказалось, что последние возникали через значительно более короткие промежутки времени, чем в первом случае, но разряд все же был перемежающимся.

1430. Когда для получения кисти служил провод с закругленным концом, кисть получалась еще меньше, но, как и ранее, ее можно было разложить на последовательные разряды. Звук, хотя и более слабый, был выше по тону и представлял собой ясную музыкальную ноту.

1431. Звук получается из повторяющихся шумов каждого отдельного разряда; последние же при обычных условиях происходят через почти равные промежутки времени и тем создают впечатление определенной ноты, высота которой растет с увеличением быстроты и правильности чередования перемежающихся разрядов; эта нота является удобной и точной мерой длительности промежутков между разрядами и может, таким образом, служить для определения элемента *времени* в каждом случае, когда разряд слышен, даже если внешних его проявлений не видно. Так, когда мы поднесем руку к выступающему стержню или шарiku, и высота тона, производимого кистевым разрядом, при этом повышается, то это явление говорит о том, что мы увеличили индукцию (1374), а таким путем и быстроту чередования заряда и разряда.

1432. Если брать провод с более тонким концом, то получаются все более мелкие кистевые разряды, пока, наконец, их едва удастся распознавать как таковые. Но пока был слышен звук, на-глаз можно было установить, что разряд — перемежающийся;

когда же звук прекращался, свет становился *непрерывным*, как при электрическом свечении (1359, 1405, 1526—1543).

1433. Для тех, кто не привык пользоваться глазом описанным мною способом, или в случаях, когда чередование разрядов является слишком быстрым для невооруженного глаза, для выявления вышеупомянутых условий окажется полезным прекрасное вращающееся зеркало проф. Уитстона.¹ Другой превосходный прием заключается в том, чтобы, производя кистевой разряд или другое световое явление на конце стержня, держать последний в руке против кондуктора, заряженного положительно или отрицательно, а затем быстро перемещать его из стороны в сторону, глаз же оставлять неподвижным. Последовательные разряды происходят, конечно, в различных местах, и прекрасно удается различать, что происходит до отдельной вспышки или кистевого разряда, во время этой вспышки и после нее.

1434. Кистевой разряд — это в действительности разряд между плохо проводящим или не проводящим телом, с одной стороны, и либо проводником, либо другим непроводником — с другой. При обычных условиях это — разряд между проводником и воздухом, и я себе представляю, что он происходит приблизительно следующим образом. Когда на середину комнаты выступает конец наэлектризованного стержня, то между ним и стенами комнаты через диэлектрик, т. е. воздух, имеется индукция, и линии индуктивной силы сгущаются на этом конце в количестве большем, чем в каком-либо другом месте. Другими словами, в силу упомянутых выше причин (1374) частицы воздуха у конца стержня оказываются поляризованными более, чем частицы в других точках стержня. Частицы воздуха, расположенные в поперечных сечениях этих силовых линий, наименее поляризованы в тех сечениях, которые ближе к стенам, а наиболее поляризованы в тех, которые ближе к концам проводов (1369); поэтому легко может случиться, что частица у конца провода будет находиться при напряжении, которое сейчас же

¹ Philosophical Transactions, 1834, стр. 584, 585.

завершится разрядом, тогда как напряжение частиц, отстоящих всего на несколько дюймов дальше, все еще будет ниже этого предела. Но предположим, что стержень заряжен положительно; соседняя с ним частица воздуха *A* (рис. 124) будет поляризована, а отрицательный заряд ее, конечно, обращен к стержню, а положительный — наружу. В тот момент, когда между положительной силой частицы стержня, находящейся против воздуха, и отрицательной силой обращенной к стержню частицы воздуха, произойдет разряд, вся частица воздуха наэлектризуется положительно; когда же в следующий момент на разрядившейся части стержня восстановится положительное состояние (путем проводимости от находящейся позади поверхности металла), то стержень будет действовать на частицы, находящиеся за частицей *A*, и будет снова приводить *A* в поляризованное состояние;



Рис. 124.

но, мало того, и сама частица *A*, в силу того, что она заряжена, должна проявлять определенное индуктивное действие в направлении этих более удаленных ча-

стиц; вследствие этого напряжение между *A* и *B* повышается настолько, что и в этом месте, так же как и повторно между металлом и *A*, наступает разряд.

1435. Было показано, что, помимо этого явления, раз процесс разряда начался, вся операция, как в случае неустойчивого равновесия, стремится к развязке (1370, 1418), причем остальная часть процесса облегчается, и к месту разряда устремляется еще другое электричество, помимо того, которым первоначально было вызвано необходимое напряжение. Поэтому, когда разрывной разряд уже начался у ствола кисти, то электрическая сила, накапливавшаяся в проводнике, связанном со стержнем, находит здесь более удобный путь для разряда, чем во всяком другом месте. Она сразу будет следовать по этому как бы намеченному для нее пути, причем оставляет при этом проводник в частично разряженном, а воздух вокруг конца провода — в заряженном состоянии. Для полного восстановления заряда проводника и

для рассеяния в большей или меньшей степени заряженного воздуха соединенным действием отталкивания от проводника и притяжения к стенам комнаты, к которым направлено его индуктивное действие, необходимо некоторое время; это и есть то время, которое протекает между одним кистевым разрядом и следующим за ним (1420, 1427, 1431, 1447).

1436. Описание получилось длинное, но ни в самом явлении, ни в вызывающих его силах нет ничего, что помешало бы разряду быть *мгновенным*, насколько мы можем это оценить и измерить. Рассмотрение *времени* является, однако, существенным с нескольких точек зрения (1418), а в отношении разрывного разряда, на основании теории, казалось гораздо более вероятным, что его можно скорее обнаружить в кистевом разряде, а не в искре. В самом деле, при кистевом разряде частицы вдоль линии, по которой проходит разряд, находятся в отношении напряжения в весьма различных условиях, и у ствола кисти действие разряда уже завершается раньше, чем частицы на концах разветвлений достигают своего наибольшего напряжения.

1437. Я считаю, что *кистевой разряд*, вероятно, представляет собой ряд последовательных явлений вот какого рода: разряд начинается у ствола (1426, 1553), распространяясь последовательно на все части отдельной кисти, и продолжает развиваться у ствола у ранее образовавшихся частей до тех пор, пока не сформируется вся кисть; затем вследствие падения напряжения и силы у проводника разряд прекращается сразу во всех местах, чтобы возобновиться, когда эта сила снова повысится в достаточной степени. В *искре же* частицы вдоль линии разряда, будучи в силу имеющихся условий почти одинаковыми в отношении интенсивности поляризации, претерпевают разряд почти в один и тот же момент, так что продолжительность оказывается для нас почти неощутимой.

1438. Г-н Уитстон уже производил опыты, полностью иллюстрирующие это положение. Он нашел, что кистевой разряд вообще обладает заметной длительностью, но в отношении искры ему, при всей его наблюдательности, не удалось подметить тако-

явление.¹ Я повторял его опыт с кистевым разрядом, хотя и с менее совершенными средствами, чтобы проверить, не смогу ли я усмотреть, что длительность разряда больше в стволе, т. е. при основании кисти, чем на концах. Судя по тому, что я видел, я склонен думать, что явление такого рода имеется налицо.

1439. Итак, разряд распадается на несколько разветвлений и с помощью их проходит через участки воздуха, одинаковые или почти одинаковые в отношении поляризации и той степени напряжения, которую в них восприняли частицы; это обстоятельство является весьма естественным следствием предшествующих условий; с большим основанием можно было ожидать именно этого; гораздо менее вероятно, чтобы разряд продолжал идти прямо вперед по одной линии среди таких частиц, которые, будучи удалены от конца стержня, находятся в состоянии более низкого напряжения, чем те, которые близки к стержню. С одной стороны, нельзя не сделать заключения, что в том месте, где появляются ветви отдельной кисти, условия для разряда более благоприятны, чем в более темных участках между разветвлениями; с другой стороны, мы можем также заключить, что в тех местах, где сопутствующее разряду свечение одинаково, условия являются также почти одинаковыми. Отдельные последовательные кисти никоим образом не обладают одинаковой формой, даже если их наблюдать, не перемещая стержня или окружающих предметов (1427, 1433). Можно принять, что последовательные разряды проходят в массу окружающего воздуха для каждой кисти по новому пути, в соответствии с тем, что весьма незначительные обстоятельства, как пыль и т. п. (1391, 1392), благоприятствуют прохождению сквозь один ряд частиц, предпочтительно перед другим.

1440. Кистевой разряд не требует обязательно какого-либо потока в той среде, в которой он появляется. такой поток почти всегда существует, но он является следствием разряда и будет рассмотрен ниже (1562—1610). Если направить тупой положи-

¹ Philosophical Transactions, 1836, стр. 586, 590.

тельно заряженный конец на неизолированную воду, на нем появляется сияние, или свечение; от него исходит струя воздуха, и поверхность воды выдавливается; но если поднести конец настолько близко, что происходят звучные кистевые разряды, поток воздуха мгновенно прекращается, и поверхность воды становится горизонтальной.

1441. Кистевой разряд направлен не ко всем частицам воздуха, находящимся вблизи наэлектризованного проводника, от которого исходит разряд; наэлектризованными являются только те места, где проходят разветвления; воздух в центральных темных частях между ними не получает заряда, и во время разряда его электрическое и индуктивное напряжение на деле значительно понижается. В самом деле,

пусть рис. 125 изображает отдельную положительную кисть; перед разрядом индукция направлена от конца стержня наружу по расходящимся линиям к удаленным проводникам,

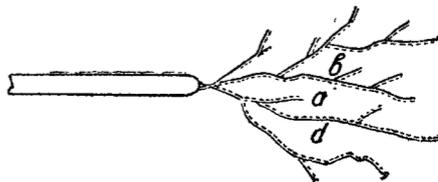


Рис. 125.

как стены комнаты и т. п.; частица у *a* обладает поляризацией определенной степени напряжения и с определенной силой стремится зарядиться; в момент же разряда воздух в разветвлениях *b* и *d*, также приходя в положительное состояние, противопоставляет свое влияние на *a* влиянию положительного проводника, и потому напряжение частицы у *a* скорее уменьшается, а не увеличивается. Заряженные частицы у *b* и *d* являются теперь индуктивными телами, но линии их индуктивного действия все еще направлены наружу к стенам комнаты; направление полярности и стремление других частиц получить от них заряд определяются этими линиями силы и находятся с ними в соответствии.

1442. Те частицы, которые заряжены, вероятно, заряжены очень сильно; но так как вся среда является непроводником, то они не могут привести в это состояние соседние с ними ча-

стицы. Поэтому они под влиянием сил притяжения и отталкивания перемещаются от заряженного проводника по направлению к ближайшему неизолированному проводнику или к ближайшему телу, находящемуся в отличном от них состоянии, точно так же, как перемещались бы заряженные частицы пыли, и затем разряжаются; каждая частица на своем пути действует на все тела, вблизи которых она проходит, как центр индуктивной силы. Перемещение этих заряженных частиц, когда их много, производит ветер и потоки, но последние будут рассмотрены в главе о *разряде путем переноса* (1319, 1562 и т. д.).

1443. Когда о воздухе говорят, что он наэлектризован, — а он часто приходит в такое состояние вблизи электрических машин, — то, по моим представлениям, он состоит из смеси наэлектризованных и ненаэлектризованных частиц, причем вторых значительно больше, чем первых. Когда мы отбираем электричество от воздуха с помощью пламени или проводов, это происходит либо путем действительного разряда этих частиц, либо посредством операций, зависящих от их индуктивных действий; можно производить по желанию и то, и другое. Закон равенства двух сил или форм силы в индуктивном действии строго соблюдается как в этих, так и в других случаях; это полностью подтверждается установленным ранее фактом (1173, 1174), что как бы сильно воздух в сосуде ни был заряжен положительно, в точности такое же количество отрицательной силы получается на внутренней поверхности самого сосуда, ибо никакого избытка того или другого электричества получить не удалось.

1444. Я нигде не утверждал, что воздух заряжается только там, где появляется светящаяся кисть, и это ниоткуда не следует. Заряд может распространяться за пределы видимых частей, т. е. частицы справа и слева от линий света могут получать электричество, а светящиеся участки светятся лишь вследствие того, что по ним к другим участкам проходят большие количества электричества (1437). Точно так же в искровом разряде свечение тем сильнее, чем больше проходит электричества,

хотя последнее не должно стоять ни в какой зависимости от количества электричества, требующегося для возникновения разряда (1370, 1420). Значит, та форма, которую мы наблюдаем в кистевом разряде, может и не охватывать всего количества наэлектризованного воздуха, ибо в это же время может получать заряд (1552) и невидимая часть, обволакивающая видимую область на известную толщину.

1445. Некоторые явления, с которыми я столкнулся при опытах с газообразной соляной кислотой, заставляют меня думать, что это газообразное вещество способно пропускать через себя темный разряд. В то же время из теории вполне ясно, что в некоторых газах может иметь место обратное, т. е. что заряд воздуха может распространяться даже не на весь объем свечения. Мы до сих пор слишком мало знаем об электрическом свечении, чтобы установить, от чего оно зависит; весьма вероятно, что когда электричество прорывается в воздух, все частицы которого находятся в состоянии напряжения, свет может излучаться такими частицами, которые, хотя и находятся очень близко к частицам, получающим в этот момент заряд, но не принадлежат к их числу.

1446. Чем дальше кисть проникает в газ, тем, несомненно, дальше продвигается вперед заряд или разряд; но эти отношения могут меняться для различных газов, и в то же время напряжение, необходимое в первый момент разряда, может меняться не в таком же, а в другом отношении. Так, что касается азота и газообразной соляной кислоты, то, насколько можно судить по опытам, произведенным мной до сих пор, кисти, которые получаются в первом, гораздо изящнее и длиннее, чем в последней (1458, 1462); между тем, напряжение, необходимое для начала разряда, в соляной кислоте значительно выше, чем в азоте (1395). Таким образом здесь снова, как и в отношении многих других свойств, различные газообразные диэлектрики представляют свои особые различия, чем вновь подтверждается особое отношение каждого к действию и явлениям индукции.

1447. Подводя итог этим соображениям относительно характера и условий кистевого разряда, я могу сказать, что он пред-

ставляет собой: искры в воздух; распространение электрической силы в вещество не путем проводимости, а путем разрывного разряда; ослабленную искру, которая, переходя к веществу, проводящему очень плохо, часто разряжает лишь небольшую часть накопленной на проводнике силы. В самом деле, заряженный воздух оказывает на проводник противодействие, и потому в то время как сила проводника ослабевает, вследствие потери электричества (1435), разряд быстро прекращается до того момента, пока в результате рассеяния заряженного воздуха и нового возбуждения проводника условия не вернуться в первоначальное действительное состояние; тогда снова происходит разряд, и снова он ослабевает и усиливается.

1448. Кистевой разряд и искра постепенно переходят друг в друга. Если положительно зарядить небольшой шарик от хорошей электрической машины с большим главным кондуктором и приближать к нему большой неизолированный разрядный шар, можно получить прекрасные переходы от искры к кистевому разряду. Рисунки длинных и мощных искр, приводимые ван Марумом,¹ Гариссом² и другими, также указывают на это явление. Насколько я мог заметить, всякий раз, когда искра проходила в воздух в виде кисти при обычных давлениях, разряжалось не все электричество, а лишь часть его, большая или меньшая, в зависимости от обстоятельств; наоборот, во всех случаях, когда явление на всем своем протяжении представляло отчетливую искру, разряд происходил до конца, если только в разрядной цепи нигде, за исключением того места, где проскакивала искра, не было разрыва.

1449. Когда электрический кистевой разряд, длиной от одного до шести или более дюймов, проходит в свободную атмосферу, он имеет вид, изображенный на рис. 123. Если же близко поднести руку, шарик или какой угодно другой проводник с утолщением на конце, то концы светящихся нитей поворачиваются

¹ Description of the Teylerian Machine, I, стр. 28, 32; II, стр. 226 и т. д.

² Philosophical Transactions, 1834, стр. 243.

по направлению к нему и друг к другу, и вся кисть принимает различные, в зависимости от обстоятельств, виды, как это изображено на рис. 126, 127 и 128. Влияние этих обстоятельств в каждом случае легко проследить, и я мог бы здесь его описать, но мне совестно отнимать время Общества столь простыми ве-

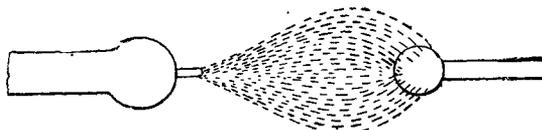


Рис. 126.

щами. Но как прекрасно кривизна разветвлений иллюстрирует искривленный вид линий индуктивной силы, существовавших до разряда! Ведь, в самом деле, первые являются следствиями вторых и пробивают себе путь в каждом разряде там, где пред-

шествующее индуктивное напряжение достигает надлежащей степени. Они изображают эти кривые так же хорошо, как железные опилки изображают маг-

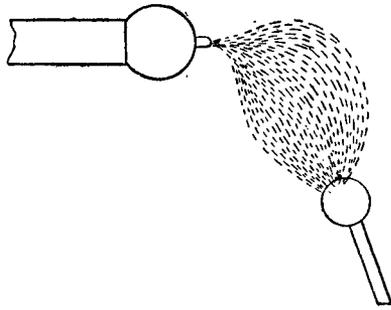


Рис. 127.

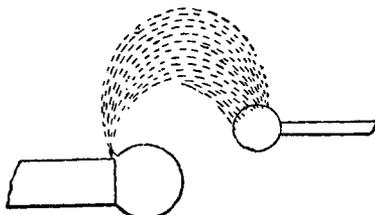


Рис. 128.

нитные кривые; в обоих случаях видимые явления представляют собой следствия действия сил в том месте, где эти явления наблюдаются. Таким образом эти явления составляют новое и веское свидетельство (1216, 1230) вдобавок к тому, которое было высказано ранее, в пользу как индукции в диэлектриках по кривым линиям, так и боковой связи этих линий — связи, про-

изводимой действием, равносильным отталкиванию, с последующим расхождением линий или, как в изображенных на рисунках случаях, выпуклой их формой.

1450. Что касается теории молекулярного индуктивного действия, то я могу привести в качестве еще одного доказательства получение длинной кистеобразной разветвленной искры между небольшим шариком на положительном кондукторе электрической машины и шариком большего диаметра, находящемся от него на некотором расстоянии (1448, 1504). Как прекрасно искра эта иллюстрирует предшествующее состояние *всех* частиц диэлектрика между разрядными поверхностями, и как непохожи ее внешние проявления на то, чего можно было бы ожидать, если исходить из теории, предполагающей, что индуктивное действие есть действие на расстоянии, что оно происходит только по прямым линиям, и что заряд представляет собой электричество, удерживаемое на поверхности проводников одним давлением атмосферы!

1451. Когда кистевой разряд получается в разреженном воздухе, то его внешний вид сильно меняется в зависимости от обстоятельств и бывает чрезвычайно красив. Иногда кисть состоит всего из шести-семи ветвей, широких и ярко светящихся, пурпурового цвета, и местами отстоящих друг от друга на дюйм или более; с помощью искрового разряда от главного кондуктора (1455) отдельные кисти можно получать по желанию. Разрежение воздуха благоприятствует получению разряда в форме кисти; это происходит таким же образом и по тем же причинам, что и при искровом разряде (1375); но всегда имеет место предварительная индукция, заряд через диэлектрик и поляризация частиц последнего (1437); при этом индукция, как и во всех других случаях, попеременно то усиливается машиной, то ослабляется разрядом. В некоторых опытах разрежение доводилось до крайней степени, и противоположные проводящие поверхности сближались настолько, насколько это было возможно сделать, не

вызывая свечения (1529); тогда кистевые разряды сокращались в своих поперечных размерах и повторялись настолько быстро, что образовали казавшуюся непрерывной дугу света от металла к металлу. Все же можно было видеть, что разряд продолжал быть перемежающимся (1427), так что даже при этих наиболее благоприятных условиях образованию каждой отдельной кисти предшествовала индукция, и необходимой подготовкой для самого разряда была сильная поляризация смежных частиц.

1452. Кистеобразную форму разрывного разряда можно получить не только в воздухе и газах, но и в гораздо более плотных веществах. Я получал ее в *скипидаре* от конца провода, проходившего через стеклянную трубку в жидкость, содержащуюся в металлическом сосуде. Кисть была небольших размеров, и получить ее было очень трудно; разветвления отличались своей простотой, были удалены друг от друга и обнаруживали значительное расхождение. Свечение было чрезвычайно слабо, так что для его наблюдения требовалась совершенно темная комната. Когда в жидкости имелось небольшое количество твердых частиц, например пыли или шелка, то кистевой разряд получался значительно легче.

1453. Схождение или слияние различных линий разряда (1412) прекрасно видно на кистевом разряде в воздухе. Это обстоятельство может представлять некоторое затруднение для тех, кто не привык видеть в каждом разряде одинаковое проявление сил в противоположных направлениях, и считает, что положительный кистевой (может быть, по причине общепринятого выражения «направление тока») разряд указывает на истечение первоначальной силы в различных направлениях, а не на стремление сойтись и соединиться для движения по одной общей линии. Обыкновенный случай кистевого разряда можно для пояснения сравнить с разрядом, происходящим, если к сильно наэлектризованному стеклу приблизить согнутый палец; тогда происходит разряд; от стекла расходятся разветвления кисти, на пальце они сходятся в искру. Возможно получить разряд между сильно возбужденным шеллаком и возбужденным стек-

лом машины, хотя этот опыт воспроизводится трудно; если разряд проходит, то он, сообразно свойствам заряженных тел, являет вид кисти на каждом из концов, посередине же — искра; этим прекрасно иллюстрируется стремление разряда облегчать подобное же действие, как я описывал на одной из предшествующих страниц (1418).

1454. В различных газах кистевой разряд обладает характерными особенностями, что указывает на связь с частицами этих веществ — связь еще более значительную, чем в случае искры (1422, 1423). Это явление находится в резком контрасте с тем постоянством разряда, которое наблюдается, когда различные вещества берутся в качестве *проводников*, у которых должны начинаться кистевые разряды. Так, когда я брал такие вещества и предметы, как дерево, папка, древесный уголь, селитра, лимонная кислота, щавелевая кислота, окись свинца, хлорид свинца, карбонат кали, литой поташ, крепкий раствор поташа, купоросное масло, сера, сернистая сурьма и гематит, то не наблюдалось никаких различий в характере кистевых разрядов, за исключением того, что (а это зависело от того, что они действовали как лучшие или худшие проводники) разряд от машины происходил с большей или меньшей легкостью и быстротой.¹

1455. Вот некоторые из тех явлений, которые я наблюдал в различных газах у положительно заряженных поверхностей и при различных давлениях. Вообще действие разрежения было одинаково для всех газов: сначала проскакивали искры; последние постепенно переходили в кисти, разветвления которых увеличивались и становились более отчетливыми; потом, при дальнейшем разрежении, они начинали спадать и собираться друг около друга, и, наконец, происходило образование сквозного потока от проводника к проводнику; после этого от проводников

¹ Исключение должно быть, конечно, сделано для тех случаев, когда ствол кисти, превращаясь в искру, вызывает в этом месте некоторое рассеяние или даже разложение вещества и, таким образом, приобретает в этом месте более или менее характерную окраску.

к стеклянным стенкам сосуда устремлялось несколько боковых потоков; последние утолщались, становились более прозрачными на вид и сменялись сплошным постоянным свечением, обволакивающим разрядный провод. Эти явления менялись в зависимости от размеров сосуда (1477), степени разрежения и характера разряда электричества от машины. Когда последнее происходило в виде ряда последовательных искр, явления получались чрезвычайно красивые; при этом действие искры, получаемой от небольшой машины, было равно действию, производимому постоянным разрядом значительно более мощной машины, а иногда и превосходило его.

1456. В о з д у х. В воздухе при обычных давлениях легко получались красивые положительные кисти, окрашенные в знакомый нам пурпуровый цвет. В разреженном воздухе разветвления простираются на большую длину и заполняют весь шар (1477); свечение становится значительно ярче и обнаруживает красивый пурпуровый цвет, иногда с оттенком розового.

1457. К и с л о р о д. При обыкновенных давлениях кистевой разряд очень плотен, сжат и обладает тускло белесым цветом. В разреженном кислороде форма и внешний вид разряда улучшаются; цвет приближается к пурпуровому, но все это выражено куда менее ярко, чем в воздухе.

1458. А з о т дает кистевые разряды у положительной поверхности с большой легкостью — значительно большей, чем все другие испытанные мною газы; разряды почти всегда прекрасны по форме, свечению и цвету, а в разреженном азоте они просто великолепны. В отношении количества испускаемого света они превосходят разряды во всех других газах.

1459. В о д о р о д при обычных давлениях давал кистевой разряд лучше, чем кислород, но не мог равняться с азотом; цвет разряда был зеленовато-серый. В разреженном водороде разветвления были прекрасны по форме и отчетливости, но бледны по окраске, мягко бархатистого вида и совсем не похожи на разветвления в азоте. При крайнем разрежении газа свечение имело бледную серо-зеленую окраску.

1460. С в е т и л ь н ы й г а з. Кистевые разряды получались лишь с трудом, что представляет полный контраст с азотом. Разряды были короткие и сильные, обычно зеленоватого цвета, и по характеру в значительной степени напоминали искру, ибо возникали как у положительного, так и у отрицательного концов; часто, когда между двумя кистями имелся темный промежуток известной длины, можно было все же услышать быстрый резкий звук, характерный для искры, как если бы разряд проходил сквозь газ внезапно, напоминая в этом отношении искру. В разреженном светильном газе формы кисти были выражены лучше, но свечение оставалось очень слабым, а цвет—сероватым.

1461. У г л е к и с л ы й г а з при обыкновенных давлениях давал кисти очень невзрачные в отношении размеров, свечения и окраски, что, вероятно, связано с присущей этому газу склонностью давать разряд в виде искры (1422). В разреженной углекислоте кисть лучше по форме, но в отношении свечения слаба; она имеет тусклый зеленоватый или пурпуровый оттенок, меняющийся в зависимости от давления и других условий.

1462. Г а з о о б р а з н а я с о л я н а я к и с л о т а. В этом газе очень трудно получить кистевый разряд при обыкновенных давлениях. При постепенном увеличении расстояния между закругленными концами искры внезапно прекращались, когда промежуток достигал примерно одного дюйма, а разряд, который продолжал проходить через газ внутри шара, совершался бесшумно и без свечения. Иногда удавалось на несколько моментов получить короткую кисть, но она быстро пропадала. Даже когда я пользовался перемежающимся искровым током (1455) от машины, мне лишь с трудом удавалось получать кистевой разряд, и то очень короткий, хотя я пользовался стержнями с закругленными концами (примерно 0,25 дюйма диаметром), которые раньше легко давали кистевые разряды в воздухе и азоте. В то время как соляная кислота являла такие затруднения, великолепные кисти исходили из различных частей машины в окружающий воздух. При разрежении газа образование кисти облегчалось, но в общем кисть была невзрачна, сплюсненной

формы; свечение было слабо; кисти у положительной и отрицательной поверхностей мало отличались друг от друга. При дальнейшем разрежении газа получалось небольшое число больших разветвлений бледно-синеватого цвета, совершенно непохожих на разветвления в азоте.

1463. Во всех этих газах различные формы разрывного разряда можно расположить в один общий ряд и проследить постепенный переход от одной крайности к другой, т. е. от искры к свечению (1405, 1526), или, быть может, к еще более отличной от них разновидности, которую мы назовем темным разрядом (1544—1560); но все же поразительно наблюдать, как каждый из них сохраняет свой особый характер, в то же время подчиняясь одному и тому же общему закону. Так, в соляной кислоте очень трудно получить кистевой разряд, место которого здесь занимает почти темный разряд, по легкости получения напоминающий искру. Мало того, в соляной кислоте я *никогда* не наблюдал искры, в которой бы имелся темный участок. В азоте искра легко переходит в кистевой разряд. В углекислом газе искровой разряд, повидимому, происходит с легкостью; в то же время этот газ, в противоположность азоту, представляет затруднения при получении кистевого разряда и, в противоположность соляной кислоте, не способен поддерживать в течение долгого времени искру. Эти различия лишний раз подкрепляют, во-первых, те наблюдения над искрой, которые производились в различных газах (1422, 1423), а затем те заключения, которые вытекают из них относительно связи электрических сил с частицами вещества.

1464. Особые свойства азота в отношении электрического разряда (1422, 1458) должны, несомненно, существенно влиять на форму и на частоту появления молнии. Это—газ, с наибольшей легкостью дающий светящиеся ветви, при помощи которых разряд распространяется на расстояния большие, чем во всех других исследованных газах; далее, он составляет четыре пятых

нашей атмосферы; при атмосферных электрических явлениях одна, а иногда и обе индуктивные силы сосредоточиваются на частицах воздуха; последний нельзя считать хорошим проводником, хотя на его проводимость, вероятно, и оказывают влияние частицы содержащейся в нем влаги. По всем этим основаниям присущая азоту особая способность давать начало разряду и производить его в форме кисти или разветвлений, вероятно, существенно связана с его электрической ролью в природе, так как он весьма серьезно действует на свойства и условия разряда, если таковой происходит. Весь вопрос о разряде в газах и через газы представляет большой интерес, и хотя бы уже с точки зрения атмосферного электричества заслуживает обширного и тщательного экспериментального исследования.

Различие между разрядами у положительной и отрицательной поверхностей проводников

1465. Я в предыдущем говорил об этом общеизвестном явлении ровно столько, сколько было совершенно необходимо; поэтому я могу собрать здесь все, что я имею сказать по этому вопросу. Кистевые разряды, наблюдаемые в воздухе у положительной и отрицательной поверхностей, обнаруживают весьма замечательное различие, правильное и полное понимание которого имело бы, несомненно, чрезвычайное значение для электрофизики; оно пролило бы яркий свет на рассматриваемый нами вопрос, т. е. на молекулярное действие диэлектриков под влиянием индукции и на его последствия; оно, повидимому, легко поддается экспериментальному исследованию.

1466. Рассматриваемое различие принято было раньше выражать так: положительно заряженное острие дает в воздух кистевые разряды, а то же самое острие, будучи заряжено отрицательно, дает явления звезды. Это справедливо только для плохих проводников, а для металлических проводников — в том случае, если их заряжать прерывисто или если они находятся под действием индукции со стороны. Если металлическое острие свободно выступает в воздухе, положительное и отрицательное

свечение очень мало отличаются по внешнему виду, и различие это можно обнаружить лишь при очень внимательном исследовании.

1467. В зависимости от разных условий, это явление чрезвычайно изменчиво, но так как мы должны исходить из какого-нибудь определенного положения, то, может быть, его можно будет высказать в следующем виде: если для получения кистевого разряда взять металлический провод с закругленным концом в атмосферном воздухе, то кистевые разряды, образующиеся при отрицательном заряде провода, оказываются очень невзрачными и небольшими по сравнению с теми, которые получаются при положительном заряде. Или иначе: если большой металлический шар, соединенный с электрической машиной, зарядить *положительно* и постепенно приближать к нему тонкое изолированное острие, то еще на значительном расстоянии на острие появляется звездочка, которая, хотя и становится ярче, но не теряет формы звезды до того момента, пока острие подходит к шару вплотную; если же шар заряжен отрицательно, то, как и раньше, на значительном расстоянии на острие появляется звезда; но когда оно подвигается ближе (в моем случае на расстоянии $1\frac{1}{2}$ дюйма), на нем образуется кистевой разряд, простирающийся до отрицательного шара; если острие подходит еще ближе (на расстоянии $\frac{1}{8}$ дюйма), кистевой разряд прекращается, и проскакивают яркие искры. Я полагаю, что этими изменениями исчерпываются все различия; они, повидимому, указывают, что отрицательно заряженная поверхность стремится сохранить характер своего разряда неизменным, а положительно заряженная поверхность, наоборот, при подобных же условиях допускает большое разнообразие.

1468. В свойствах отрицательного разряда в воздух имеется несколько пунктов, которые заслуживают внимания. Выступающий в воздух металлический стержень, диаметром в 0,3 дюйма, с закругленным концом, заряжался отрицательно и давал короткий, сопровождаемый шумом, кистевой разряд (рис. 129). Как на-глаз (1427, 1433), так и по звуку (1431) было установлено,

что отдельные разряды следовали друг за другом очень быстро, т. е. за один и тот же промежуток времени их было в семь или восемь раз больше, чем в том случае, когда стержень был в такой же степени заряжен положительно. Когда стержень был положителен, легко было превратить кистевой разряд в свечение, вращая машину несколько быстрее (1405, 1463); когда же стержень был заряжен отрицательно, то никакими усилиями этого получить не удавалось. Даже если подносить руку к проводу, единственным следствием оказывалось увеличение числа кистевых разрядов за данный промежуток и повышение, в связи с этим, тона звука.

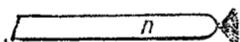


Рис. 129.

1469. На острие, находившемся против отрицательного кистевого разряда, появлялась звезда; приближение острия вызывало уменьшение размеров и ослабление шума кистевого разряда и, наконец, его прекращение; отрицательный конец становился бесшумным и темным, но все же способным давать место разряду.

1470. Когда к отрицательному кистевому разряду приближался закругленный конец более тонкого провода (рис. 130), последний, становясь положительным вследствие индукции, на

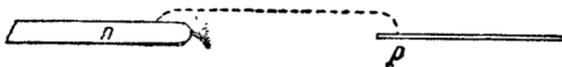


Рис. 130.

расстоянии 8 дюймов давал спокойное свечение, причем отрицательный кистевой разряд продолжался. При дальнейшем приближении провода производимый отрицательным кистевым разрядом звук погасался, указывая на более быстрое следование разрядов (1431); на еще более близком расстоянии из положительного конца выступали разветвления и отчетливые кистевые разряды; в то же время отрицательная кисть сокращалась в поперечном размере и уплотнялась, образуя своеобразную узкую

продолговатую кисть, напоминающую по форме волосяную кисточку; таким образом оба кистевых разряда существовали одновременно, но сильно отличались друг от друга формой и внешним видом и, в особенности, более быстрым следованием отрицательных разрядов друг за другом по сравнению с положительными. Если для такого же опыта служил более тонкий положительный провод, на последнем появлялось сначала свечение, а потом кистевой разряд; одновременно изменялся и отрицательный разряд; при некотором определенном расстоянии между ними оба они становились чрезвычайно схожими по внешнему виду, и мне казалось, что они звучали в унисон; во всяком случае, звуки их гармонировали; таким образом интервалы между разрядами были либо изохронными, либо находились в простых отношениях. При более быстром вращении машины и при тех же проводах отрицательная поверхность становилась темной и бесшумной, а на положительной появлялось свечение. При еще быстром вращении машины последнее переходило в искру. Более тонкие положительные провода давали другие видоизменения явлений, но в их рассмотрение я здесь входить не стану.

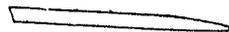


Рис. 131.

1471. Затем вместо толстого стержня к отрицательному кондуктору присоединялся более тонкий (1468), конец которого постепенно суживался в затупление, как изображено на рис. 131; интересно было наблюдать, что, несмотря на изменение я кистевого разряда, общий ход явлений не менялся. Конец стержня давал короткий отрицательный кистевой разряд, который не менялся при приближении руки или большой проводящей поверхности, пока последняя не оказывалась настолько близко, что вызывала искру. Тонкое острие, помещенное против конца на некотором расстоянии, светилось; когда я приближал его, оно не уничтожало свечения и шума отрицательного кистевого разряда, а только стремилось образовать кисть на себе самом; эта кисть при еще меньшем расстоянии переходила в искру, шедшую от одной поверхности к другой.

1472. Когда в воздухе одновременно производятся отчетливые отрицательный и положительный кистевые разряды, связанные друг с другом, то первый почти всегда обнаруживает сжатую форму, как изображено на рис. 132, чрезвычайно напоминающая форму, свойственную этому положительному разряду, когда на него сбоку индуктивно влияют близко расположенные положительные тела. Такую же сжатую форму имеет кистевой разряд, исходящий из точки входящего угла у положительного кондуктора (рис. 133).

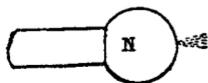


Рис. 132.

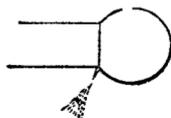
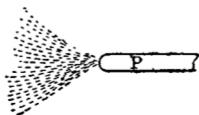


Рис. 133.

1473. Химическая природа вещества проводников (1454) не влияет на характер отрицательного кистевого разряда, разве только тем, что сказывается их большая или меньшая проводимость.

1474. Разрежение обыкновенного воздуха около отрицательно заряженного шарика или затупленного конца способствовало развитию отрицательного кистевого разряда; мне кажется, что действие это было сильнее, чем при положительном разряде; впрочем, действие это велико и в том и в другом случае. Можно было получить обширные разветвления от отрицательно наэлектризованного шарика или конца стержня к тарелке воздушного насоса, на которой был установлен сосуд с воздухом.

1475. Очень существенные изменения относительной формы и свойств положительный и отрицательный разряды обнаруживают при замене того диэлектрика, в котором они производятся. Это различие настолько велико, что указывает на своеобразную зависимость этой формы разряда от природы того газа, в котором он происходит; это опровергает представле-

ние, будто газы являются только препятствиями для разряда и действуют все одинаково, влияя только давлением (1377).

1476. Для *воздуха* преобладание положительного кистевого разряда — факт общеизвестный (1467, 1472). В *азоте* оно так же сильно и даже сильнее, чем в воздухе (1458). В *водороде* положительный кистевой разряд теряет часть своего превосходства — он в нем не так хорош, как в азоте или воздухе; наоборот, отрицательный заряд, повидимому, не ухудшается (1459). В *кислороде* положительная кисть оказывается сжатой и невзрачной, тогда как отрицательная не уменьшается; эти два разряда были настолько похожи друг на друга, что часто на-глаз не удавалось отличить один от другого; сходство сохранялось при постепенном разрежении кислорода. В *светильном газе* кистевые разряды по сравнению с азотом (1460) получаются с трудом, и по своему общему виду положительный разряд только незначительно превосходит отрицательный — как при обыкновенных, так и при низких давлениях. В *углекислоте* так же имело место это сходство разрядов. В *газообразной соляной кислоте* положительный кистевой разряд был очень немногим лучше отрицательного; при этом как тот, так и другой получались с трудом (1462) по сравнению с той легкостью, с которой они появляются в азоте или воздухе.

1477. Эти опыты производились с латунными стержнями толщиной примерно в четверть дюйма; стержни были с закругленными концами; концы стояли друг против друга внутри стеклянного шара, диаметром в 7 дюймов, содержавшего исследуемый газ. При присоединении к стержню электрическая машина непосредственно сообщала ему в одних случаях положительный, в других — отрицательный заряд.

1478. Итак мы видим, несмотря на то, что превосходство положительного кистевого разряда над отрицательным есть явление общее, это различие достигает наибольшей силы в азоте и воздухе; наоборот, в углекислоте, соляной кислоте, светильном газе и кислороде оно уменьшается и, наконец, почти исчезает. Таким образом в этом явлении, как и во всех прочих, изученных

до сих пор, опыты свидетельствуют в пользу того представления, которое объясняет эти результаты непосредственной связью электрических сил с молекулами вещества, принимающего участие в самом явлении (1421, 1423, 1463). Даже когда при действии общего закона возникают особые явления, то принятая нами теория представляется вполне способной их объяснить.

1479. Прежде чем перейти к дальнейшему исследованию вероятной причины этого различия между положительным и отрицательным кистевыми разрядами, я хотел бы иметь в руках результаты нескольких нынеготавливаемых мною опытов; я полагаю, что данная серия «Исследований» и без того затянулась, и на этом ее закончу; я надеюсь, что через несколько недель я буду в состоянии вновь приступить к этому исследованию и целиком выполнить свою задачу (1306).

*Королевский институт
23 декабря 1837 г.*

ТРИНАДЦАТАЯ СЕРИЯ

Раздел 18. Об индукции (продолжение). Глава IX. Разрывной разряд (продолжение). Особенности положительного и отрицательного разрядов в форме искры или кисти. Разряд со свечением. Темный разряд. Глава X. Конвекционный разряд или разряд путем переноса. Глава XI. Отношение пустоты к электрическим явлениям. *Раздел 19. Природа электрического тока.*

Поступило 22 февраля. Доложено 15 марта 1838 г.

РАЗДЕЛ 18

Об индукции (продолжение)

ГЛАВА IX

Разрывной разряд (продолжение). Особенности положительного и отрицательного разрядов в форме искры или кисти

1480. Обратимся теперь к общему различию между положительным и отрицательным разрывными разрядами; наша цель при этом заключается в том, чтобы проследить возможно глубже причину этого различия и выяснить, от чего оно главным образом зависит: от заряженных проводников или от промежуточного диэлектрика; а так как оно, повидимому, в воздухе и азоте (1476) особенно сильно, то начнем с наблюдения явлений в воздухе.

1481. Чтобы составить себе общее понятие об этом явлении, лучше обратиться к поверхностям значительных размеров, а не к остриям, так как последние влекут за собой, как побочное следствие, образование потоков вещества (1562). Поэтому в моих исследованиях я пользовался шариками и стержнями различных

диаметров; в последующем даны некоторые из главных результатов.

1482. Возьмем два шарика, сильно различающиеся своими размерами, один, например, в полдюйма, а другой — в три дюйма диаметром, расположим их на концах стержней таким образом, чтобы каждый из них можно было наэлектризовать с помощью машины и заставить давать искровые разряды по направлению к другому, и пусть последний в это время будет не изолирован; тогда, как известно, если маленький шарик заряжен положительно, а большой отрицательно, искры получаются значительно более длинные, чем если маленький шарик заряжен отрицательно, а большой положительно. В первом случае искры имеют в длину 10 или 12 дюймов, а во втором — всего один или полтора дюйма.

1483. Но прежде чем перейти к описанию дальнейших опытов, я скажу о двух терминах, которыми, как и многими другими, я обязан одному из своих друзей, и которые, я полагаю, было бы полезно ввести в употребление. При обыкновенном индуктивном действии важно различать, у которой из заряженных поверхностей индукция возникает и поддерживается, т. е. если два или более металлических шара или другие массы вещества связаны индуктивно, то важно указать, которые из них заряжены сначала и которые приводятся ими в противоположное электрическое состояние. Я предлагаю называть тела, которые заряжены сначала, *индуцирующими* телами, а те, которые вследствие индукции приходят в противоположное состояние, — *индуцируемыми*. Такое различие необходимо не потому, что между суммарным действием *индуцирующих* и *индуцируемых* сил существует какое-либо различие, а потому что, когда шар *A* является индуцирующим, то он приводит в индуцируемое состояние не только находящийся против него шар *B*, но также и многие другие окружающие проводники, несмотря на то, что некоторые из них могут отстоять на значительное расстояние; в результате этого, если сделать индуцирующим сначала один шар, а затем другой, шары оказываются связанными друг с другом не совсем одинаково,

хотя в обоих случаях *один и тот же шар* приводится в *одно и то же состояние*.

1484. Есть одна вольность, которую я иногда буду позволять себе в выражениях; я хотел бы пояснить, в чем она заключается, и указать границы, в которых я буду ею пользоваться. Она заключается в том, что отдельные искровые или кистевые разряды я буду называть *положительными* или *отрицательными* в соответствии с тем, у какой из поверхностей я буду считать их *возникающими* — у положительной или отрицательной. Мы говорим о кистевом разряде как о положительном или отрицательном, когда он исходит из поверхностей, которые перед этим находились в указанных состояниях, а опыты г. Уитстона доказывают, что разряд *действительно начинается* у заряженной поверхности и отсюда распространяется в воздух (1437, 1438) или другой диэлектрик. Согласно моим представлениям, *искры* также возникают, или начинаются в одной определенной точке (1370) — именно там, где напряжение раньше всего возрастает до максимальной степени. Когда это можно определить, как, например, при одновременном употреблении больших и малых шаров (в этом случае разряд возникает, или начинается, у последних), я буду называть этот разряд, который проходит *сразу*, положительной искрой, если наибольшее напряжение получалось сначала у положительно заряженной поверхности, — отрицательной, если требуемое напряжение получалось раньше у отрицательной поверхности.

1485. Был собран прибор, изображенный на рис. 134; *A* и *B* представляли собой латунные шары, значительно отличающиеся по диаметру; они были укреплены на металлических стержнях, которые могли перемещаться сквозь втулки в изолирующих стойках, так что расстояние между шариками можно было менять по желанию. Большой шар *A*, диаметром в два дюйма, был соединен с изолированным латунным проводником, который можно было заряжать положительно или отрицательно непосредственно от машины с цилиндром: маленький шарик *B*, в 0,25 дюйма диа-

метром, был соединен с разрядным проводом (292) и хорошо заземлен. Толщина латунных стержней, на которых сидели шарики, была равна 0,2 дюйма.

1486. Когда большой шарик был заряжен *положительно* и являлся индуцирующим (1483), то до тех пор, пока промежутков между шариками не достигал 0,49 дюйма, наблюдались отрицательные искры; затем при расстояниях от 0,49 до 0,51 дюйма происходили то кистевые, то искровые разряды, а при 0,52 дюйма и выше — одни только кистевые разряды. Когда большой шар был заряжен *отрицательно* и являлся индуцирующим, то при промежутках до 1,15 дюйма возникала только положительная искра, от 1,15 до 1,55 — искра и кистевые разряды, а для получения одних только кистевых разрядов требовался промежуток, по крайней мере, в 1,65 дюйма.

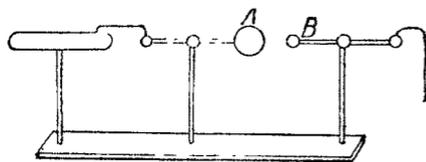


Рис. 134.

1487. После этого шарик *A* и *B* были переставлены местами. Тогда при *положительном* индуцирующем шарике *B* одни положительные искры имели место лишь до 0,67 дюйма; от 0,68 до 0,72 возникали и искровые и кистевые разряды, а от 0,74 и выше — одни только положительные кистевые разряды. Когда я делал маленький шарик *B* отрицательным и индуцирующим, то вплоть до 0,40 появлялись одни отрицательные искры, затем при расстоянии в 0,42 — искра и кистевые разряды, тогда как от 0,44 и выше имели место только шумные кистевые разряды.

1488. Таким образом мы обнаруживаем значительные различия в зависимости от того, какую роль играют шарики: роль индуцирующих или индуцируемых. Если сделать маленький шарик заряженным *положительно*, действуя на него индукцией, то он дает искру почти вдвое длиннее искры, производимой тем же шариком, когда он заряжен положительно и является индуцирующим; соответствующая, хотя при данных условиях и не столь

резко выраженная разница, обнаруживалась, когда он был заряжен *отрицательно*.¹

1489. Другие результаты таковы: если зарядить положительно маленький шарик, он дает значительно более длинную искру, чем когда он заряжен отрицательно; если зарядить маленький шарик отрицательно, он дает кистевой разряд с большей легкостью, чем когда он заряжен положительно, если судить по влиянию, оказываемому увеличением расстояния между шариками.

1490. Когда расстояние между шариками было ниже 0,4 дюйма, так что маленький шарик должен был давать искры — все равно, положительные или отрицательные, — мне не удавалось наблюдать какого-либо постоянного различия ни в легкости возникновения, ни в числе искр, проскакивавших в течение данного промежутка времени. Когда же расстояние было таково, что маленький шарик при отрицательном заряде давал кистевые разряды, то разряды от него в виде отдельных отрицательных кистей происходили значительно чаще, чем при положительном заряде, независимо от того, какой вид они имели: искр или кистевых разрядов.

1491. Отсюда ясно, что когда электричество от шарика исходит в виде кистевых разрядов, то последние происходят значительно чаще; и когда отдаваемое таким образом электричество является отрицательным, каждый из них содержит или уносит значительно меньше электрической силы, чем когда оно положительно.

1492. Во всех опытах, подобных описанному, момент перехода от искры к кистевому разряду в значительной степени зависит от состояния электрической машины и размеров кондуктора, соединенного с разряжающимся шариком. При сильном действии машины и значительных размерах кондуктора, когда для каждого разряда быстро накапливается большое количество силы, длина промежутка, при которой искры сменяются кистевыми

¹ Подобные же опыты с различными газами см. п. 1518. Дек. 1838 г.

разрядами, становится больше, но в основном явление остаётся одинаковым.¹

1493. Хотя эти результаты и указывают на разительные и своеобразные соотношения электрической силы или сил, они не дают указаний об относительной степени заряда, которую маленький шарик воспринимает всякий раз перед тем, как возникает разряд, т. е. они не говорят, в каком случае он приобретает более высокое напряжение: когда разряду непосредственно предшествует отрицательное или положительное состояние. Чтобы выяснить этот важный пункт, я расположил два разрядных промежутка так, как изображено на рис. 135. *A* и *D* суть латунные шары по два дюйма диаметром, *B* и *C* — латунные шарики поменьше, диаметром в 0,25 дюйма; вилки *L* и *R*, на

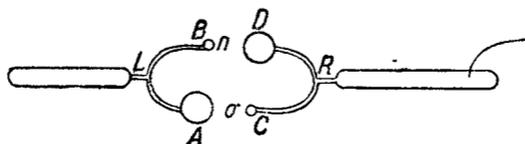


Рис. 135.

которых они укреплены, были сделаны из латунной проволоки диаметром в 0,2 дюйма. Расстояние между большим и маленьким шариками на одной и той же вилке было равно 5 дюймам, чтобы два разрядных промежутка *n* и *o* можно было достаточно удалить друг от друга и прекратить влияние одного на другой. Вилка *L* была соединена с выступающим цилиндрическим кондуктором, который можно было с помощью электрической машины заряжать по желанию положительно или отрицательно, а вилка *R* была соединена с другим кондуктором, отведенным к земле. Оба разрядных промежутка *n* и *o* можно было изменять по желанию; при этом длина их от времени до времени измерялась введением диагональной шкалы. Очевидно, что поскольку шарики *A* и *B*

¹ Подобные же опыты с различными газами см. в пп. 1510—1517. Дек. 1838 г.

соединены с одним и тем же проводником, они всегда заряжались одновременно, и что разряд может иметь место по направлению к любому из шариков, соединенных с разрядным проводом; при этом разрядные промежутки n и o можно было надлежащим образом сравнивать друг с другом в отношении влияния большого и маленького шарика, когда они заряжены в воздухе положительно или отрицательно.

1494. Когда оба промежутка n и o были равны 0,9 дюйма, а шарики A и B были заряжены положительно и являлись индуцирующими, разряд происходил только в n и шел от маленького шарика на проводнике к большому шарика разрядного провода; большей частью он происходит в виде положительного кистевого разряда, хотя один раз — в виде искры. Когда шарики A и B были индуцирующими и заряжены отрицательно, разряд, тем не менее, происходил от того же маленького шарика в n в виде непрерывной отрицательной кисти.

1495. Я уменьшил промежутки n и o до 0,6 дюйма. Когда шарики A и B были индуцирующими и положительными, весь разряд происходил в n в виде положительной кисти; когда A и B были индуцирующими и отрицательными, весь разряд происходил опять же в n в виде отрицательной кисти.

1496. Таким образом легкость разряда у отрицательного маленького шарика, повидимому, не так уже значительно отличается от легкости разряда у положительного. Если различие и существовало, то ведь всегда имелось два маленьких шарика, по одному в каждом состоянии, так что разряд мог возникать у того, который наиболее благоприятствовал этому явлению. Единственное отличие заключалось в том, что один находился в индуцирующем, а другой в индуцируемом состоянии, и тот, который в данный момент находится в индуцирующем состоянии, все равно положительном или отрицательном, неизменно оказывался в более выгодных условиях.

1497. Чтобы противодействовать этому вредному влиянию, я сделал промежуток n равным 0,79, а промежуток o — 0,58 дюйма. В этом случае, если шарики A и B были индуцирующими

и *положительными*, разряд был примерно одинаков в обоих промежутках. С другой стороны, когда шарики *A* и *B* были индуцирующими и *отрицательными*, разряд все еще происходил у обоих, но преимущественно у *n*; как будто разряд у маленького шарика происходил с несколько большей легкостью, когда он заряжен отрицательно, и с меньшей легкостью, когда он заряжен *положительно*.

1498. Действие маленьких шариков и концевых стержней, служивших для этих и подобных опытов, правильно сравнивать с действием, проявляемым такими же шариками и стержнями, когда они наэлектризованы и находятся в обычном воздухе на значительно большем расстоянии от проводников, чем то, на которое они отстояли в этих случаях друг от друга. Прежде всего, разряд, даже в виде искры, согласно моим представлениям, обусловлен и, так сказать, зарождается в одном месте на поверхности маленького шарика (1374); он возникает, когда напряжение в этом месте повышается до известной максимальной степени (1370); это возникновение разряда сперва в одном определенном месте легко проследить в случае перехода искры в кистевой разряд при увеличении расстояния; в конце концов становится очевидным даже время, которое необходимо для того, чтобы произвести это явление (1436, 1438). Далее, большие шарики, которыми я пользовался, можно было бы заменить шарами большего диаметра на еще большем расстоянии и шаг за шагом представить их себе переходящими в стены комнат, которые при обычных условиях представляют собой индуцируемые тела, в то время как индуцирующим телом является заряженный положительно или отрицательно маленький шарик.

1499. Однако, как давно выяснено, маленький шарик представляет собой не что иное, как затупленное острие, а острие, с точки зрения электричества, является просто маленьким шариком; так что, когда острие или затупленный конец испускают в воздух кистевые разряды, то они действуют точно так же, как действовали в описанных опытах маленькие шарики, и в силу тех же свойств и соотношений.

1500. В отношении этих опытов можно с полным правом утверждать, что большой отрицательный шар является столь же существенным для разряда, как и маленький положительный шарик, и что большой отрицательный шар проявляет такое же превосходство над большим положительным шаром (который оказывается неспособным извлечь искру из находящегося против него маленького отрицательного шарика), какое маленький положительный шарик имеет над маленьким отрицательным; вероятно, когда будет выяснена действительная причина этого различия и когда она будет отнесена скорее за счет состояния частиц диэлектрика, чем за счет размеров проводящих шаров, то такое наблюдение получит весьма важное значение. Но в настоящее время, пока мы еще заняты исследованием самого вопроса, мы можем принять, — и в действительности это так и есть, — что на поверхности меньших шариков силы обладают большим напряжением, чем на поверхностях больших (1372, 1374), что поэтому момент разряда определяется первыми, так как они раньше доходят до того напряженного состояния, которое для них необходимо, и что независимо от того, приведены ли они в это состояние индукцией по направлению к стенам комнаты или по направлению к служившим мне большим шарам, их прекрасно можно сравнивать друг с другом в отношении их влияния и действий.

1501. Итак, я прихожу к следующим заключениям: во-первых, когда две равные небольшие поверхности, одинаково расположенные в воздухе, наэлектризованы одна положительно, а другая отрицательно, то та, которая заряжена отрицательно, может дать разряд в воздух при напряжении немного более низком, чем то, которое требуется для положительного шарика; во-вторых, при разряде от положительной поверхности за одно и то же время исходит значительно больше электричества, чем от отрицательной (1491). Последнее заключение в достаточной мере подтверждается описанным выше (1468) оптическим анализом положительного и отрицательного кистевых разрядов, причем оказалось, что разряды последнего рода следуют

друг за другом в пять или шесть раз чаще, чем разряды первого рода.¹

1502. Если же с помощью мощной машины получать от небольшого шарика кистевые разряды или кистеобразные искры, то можно до некоторой степени понять и привести в связь различия, которые обнаруживаются, когда он заряжен положительно или отрицательно. Известно, что когда шарик заряжен положительно, искры, которые он дает, значительно длиннее и сильнее, чем когда он заряжен отрицательно, и к тому же он дает их с большей легкостью (1482); действительно, хотя искра и уносит за один раз значительно больше электричества, но напряжение, при котором она возникает, во всяком случае лишь немного выше. С другой стороны, если шарик заряжен отрицательно, то хотя разряд может начинаться при более низкой степени напряжения, он длится лишь очень недолго, и каждый раз уходит лишь небольшое количество электричества. Эти обстоятельства непосредственно связаны друг с другом, ибо длина, которой может достигнуть положительная искра, и размеры и длина положительного кистевого разряда являются следствием того, что от положительной поверхности при одном разряде может уходить значительное количество электричества (1468, 1501).

1503. Однако, если исходить из моего представления об индукции, то приписывать эти явления только виду и размерам проводника значило бы рассматривать весь вопрос весьма несовершенным способом (1523, 1600). Я думаю, что эти явления целиком зависят от того, как поляризуются частицы промежуточного диэлектрика, и я уже привел некоторые экспериментальные указания на различие, представляемое в этом отношении различными электриками (1475, 1476). Как я буду иметь случай показать в дальнейшем, характер поляризации в различных диэлектриках может быть весьма различен. Скажем, в обыкновен-

¹ Чтобы изучить взаимные влияния небольших положительных и отрицательных поверхностей, можно было бы с большим успехом пользоваться каплями резинового клея, растворами или другими жидкостями. См. ниже (1581, 1593).

ном воздухе то, что кажется следствием преобладания положительной силы у поверхности маленького шарика, может быть обусловлено более высоким состоянием поляризации частиц воздуха или азота в нем; может быть, отрицательная часть более сжата, тогда как положительная более разлита или наоборот (1687 и т. д.). В самом деле, такое состояние могло бы вызвать определенные явления у положительного шарика, которые у отрицательного шарика не имели бы места в такой же степени, точно так же, как если бы сам положительный шарик обладал собственной особой, независимой силой.

1504. Предположение, что эти явления обусловлены больше диэлектриком, чем шариком, находит себе подтверждение в характере двух разрядов. Если небольшой положительный шарик испускает кистевые разряды с разветвлениями в десять дюймов длиной, то каким образом шарик может влиять на ту часть разветвления, которая находится от него на расстоянии в пять дюймов? И при этом та часть кисти, которая находится за пределами этого расстояния, имеет тот же характер, как предшествующая ей, и несомненно, что этот характер придают ей те же причины, те же законы. Я считаю, что действие друг на друга смежных частиц диэлектрика полностью доказано, и потому в таком разветвлении усматриваю распространение разряда от частицы к частице, причем каждая из них для последующей частицы производит то же, что для нее самой производила предыдущая и что производил для первой частицы заряженный металл, около которого она находилась.

1505. Что касается общих условий и отношений положительного и отрицательного кистевых разрядов в плотном и разреженном воздухе, а также в других средах и газах, то если они происходят в различное время и в разных местах, они, конечно, независимы друг от друга. Но если они происходят у расположенных друг против друга острий или шариков в одно и то же время и в одном и том же сосуде с газом (1470, 1477), они часто находятся в определенной связи; можно создать такие условия, чтобы они были либо изохронными и возникали в одинаковом количестве

и одновременно, либо возникали в кратном отношении, т. е. по два или три отрицательных разряда на один положительный, либо чередовались, либо появлялись без всякой правильности. Все эти изменения я наблюдал, и если принять во внимание, что воздух в сосуде, а также стекло сосуда могут воспринимать кратковременный заряд, то легко понять общую природу и причину этих явлений.

1506. Опыты, подобные опытам в воздухе (1485, 1493), были произведены в различных газах; результаты их я опишу как можно короче. Прибор изображен на рис. 136; он состоял из стеклянного колокола, имевшего в наиболее широкой части одиннадцать дюймов в диаметре, а в высоту, до основания горла,—десять с половиной дюймов. Шарики обозначены теми же буквами, как на рис. 135, и были так же расположены друг относительно друга, но *A* и *B* находились на отдельных подвижных проводках, которые, однако, были обычно соединены наверху с помощью поперечного провода *W*; последний был соединен с латунным кондуктором, который получал от машины положительный или отрицательный заряд. Стержни шариков *A* и *B* были градуированы там, где они двигались через пробки, так что на приложенной в этом месте диагональной шкале можно было отсчитать расстояние между данными шариками и теми, которые находились под ними. Что касается положения шариков в сосуде и их взаимного расположения, то *C* и *D* отстояли друг от друга на три с четвертью дюйма; высота их над тарелкой воздушного насоса равнялась пяти дюймам, а расстояние между каждым из шариков и стеклянной стенкой сосуда было не меньше одного и трех четвертей дюйма, обычно больше. Шарики *A* и *D* имели, как и раньше, по два дюйма

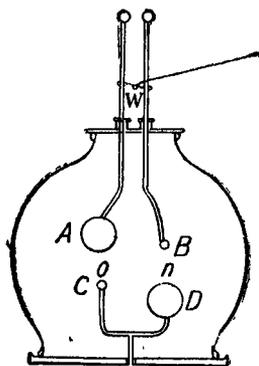


Рис. 136.

Стержни шариков *A* и *B* были градуированы там, где они двигались через пробки, так что на приложенной в этом месте диагональной шкале можно было отсчитать расстояние между данными шариками и теми, которые находились под ними. Что касается положения шариков в сосуде и их взаимного расположения, то *C* и *D* отстояли друг от друга на три с четвертью дюйма; высота их над тарелкой воздушного насоса равнялась пяти дюймам, а расстояние между каждым из шариков и стеклянной стенкой сосуда было не меньше одного и трех четвертей дюйма, обычно больше. Шарики *A* и *D* имели, как и раньше, по два дюйма

в диаметре (1493), а шарики *B* и *C*—только по 0,15 дюйма.

Одновременно с только что описанным прибором я иногда пользовался другим, представлявшим собой открытый разрядник (рис. 137), с помощью которого можно было производить сравнение разряда в воздухе и в других газах. Шарики *E* и *F*, по 0,6 дюйма диаметром каждый, были соединены подвижными стержнями с другими шариками и изолированы. Латунный кондуктор, когда им пользовались для сравнения, соединялся одновременно с шариками *A* и *B* (рис. 136) и с шариком *E* этого прибора (рис. 137), шарики же *C*, *D* и *F* присоединялись к разрядному проводу.

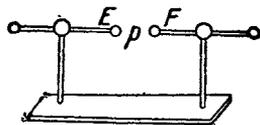


Рис. 137.

1507. Сначала я приведу в виде таблицы результаты, относящиеся к способности газов задерживать разряд. Шарики *A* и *B* (рис. 136) раздвигались, чтобы исключить их действие, и действия, получаемые у *B* и *D* в газовом промежутке *n*, сравнивались с действиями в воздушном промежутке *p* между шариками *E* и *F* (рис. 137). Таблица достаточно понятна сама по себе. Естественно, что когда воздушный промежуток был меньше того, который приведен в первом или третьем столбцах цифр, то весь

Длина постоянного промежутка <i>n</i> между <i>B</i> и <i>D</i> = 1 дюйму	Расстояние <i>p</i> в долях дюйма			
	когда меньший шарик <i>B</i> был индуцирующим и положительным, разряд происходил целиком:		когда меньший шарик <i>B</i> был индуцирующим и отрицательным, разряд происходил целиком:	
	в воздушном промежутке для значений ниже:	в газе в промежутке <i>n</i> при значениях больших, чем:	в воздушном промежутке для значений ниже:	в газе в промежутке <i>n</i> при значениях больше, чем:
В воздухе	$p = 0,40$	$p = 0,50$	$p = 0,28$	$p = 0,33$
В азоте	0,30	0,65	0,31	0,40
В кислороде	0,20	0,49	0,22	0,24
В водороде	0,33	0,52	0,27	0, 0
В светящем газе	0,20	0,90	0,20	0,27
В углекислоте	0,64	0,30	0,30	0,45

разряд происходил в воздухе, а когда длина воздушного промежутка превосходила цифры второго или четвертого столбца, весь разряд шел через газ. При промежуточных расстояниях разряд происходил то здесь, то там, т. е. иногда в воздухе, иногда в газе.

1508. Эти результаты, поскольку они имеют значение, в общем совпадают с подобными же результатами, приведенными в предыдущей серии (1388), и подтверждают заключение, что различные газы задерживают разряд в весьма различной степени. По всей вероятности, они не так надежны, как предыдущие, ибо стеклянный сосуд, не будучи покрыт лаком, действовал неправильно; иногда он принимал определенную степень заряда как непроводник, а в других случаях действовал как проводник, т. е. переносил и расстраивал этот заряд. Другой причиной различия этих отношений являются, несомненно, относительные размеры разрядных шариков в воздухе: в прежнем случае они были весьма различных размеров, а здесь одинаковы.

1509. В будущих опытах, которые будут претендовать на точность, влияние этих факторов должно быть проверено, и прежде всего самые газы должны содержаться не в стеклянных, а в металлических сосудах.

1510. Следующий ряд результатов был получен при одинаковых величинах промежутков n и o (рис. 136); они касались вопроса, в каких случаях разряд у меньшего шарика происходит с большей легкостью: когда последний заряжен положительно или отрицательно (1493).

1511. В воздухе при длине промежутков, равной 0,4 дюйма, причем шарики A и B были индуцирующими и положительными, разряд через n и o был почти одинаков; когда A и B являлись индуцирующими и были заряжены отрицательно, разряд происходил главным образом через n , в виде отрицательного кистевого разряда. Когда промежутки были равны 0,8 дюйма, а A и B были индуцирующими и положительными, весь разряд проходил через n в виде положительной кисти; при A и B индуцирующих и отрицательных, разряд целиком проходил через n в виде

отрицательной кисти. Таким образом эти результаты не разрешают сомнения, присуща ли отрицательному шарiku большая легкость разряда, чем положительному.

1512. А з о т. Промежутки n и o равны 0,4 дюйма; A и B индуцируют, заряжены положительно: разряд — через оба промежутка, главным образом через n , путем положительных искр; A и B индуцируют, заряжены отрицательно: одинаковый разряд в n и o . При промежутках, равных 0,8 дюйма: A и B индуцируют, заряжены положительно — разряд целиком через n путем положительной кисти; A и B индуцируют, заряжены отрицательно — разряд большей частью через o , путем положительных кистей. Таким образом, хотя различие в этом газе и не является убедительным, все же, повидимому, при положительном маленьком шарике разряд происходит с гораздо большей легкостью.

1513. К и с л о р о д, Промежутки n и o равны 0,4 дюйма: A и B индуцируют, заряжены положительно — разряд почти одинаков; A и B индуцируют, заряжены отрицательно — разряд главным образом через n , путем отрицательных кистей. При промежутках, равных 0,8 дюйма: A и B индуцируют, заряжены положительно — разряд как через n , так и через o ; A и B — индуцируют, заряжены отрицательно — разряд целиком в o , в виде отрицательных кистей. Таким образом здесь наиболее легкий разряд дает, повидимому, отрицательный маленький шарик.

1514. В о д о р о д. Промежутки n и o равны 0,4 дюйма: A и B индуцируют, заряжены положительно — разряд почти одинаков; A и B индуцируют, заряжены отрицательно — разряд преимущественно через o . Промежутки равны 0,8 дюйма: A и B индуцируют, заряжены положительно — разряд большей частью через n в виде положительных кистей; A и B индуцируют, заряжены отрицательно — разряд преимущественно через o в виде положительных кистей. В этом случае положительный разряд происходит как будто с большей легкостью.

1515. С в е т и л ь н ы й г а з: n и o равны 0,4 дюйма; A и B индуцируют, заряжены положительно — разряд почти пол-

ностью через *o* путем отрицательных искр; *A* и *B* индуцируют, заряжены отрицательно; разряд почти целиком через *n*, путем отрицательных искр. Промежутки равны 0,8 дюйма, а *A* и *B* — индуцируют, заряжены положительно — разряд преимущественно через *o* путем положительных кистей; *A* и *B* индуцируют, заряжены отрицательно — весь разряд через *n* в виде отрицательных кистей. Здесь с большей легкостью происходит отрицательный разряд.

1516. Углекислый газ: *n* и *o* равны 0,4 дюйма; *A* и *B* индуцируют, заряжены положительно — разряд почти весь через *o* или отрицателен; *A* и *B* индуцируют, заряжены отрицательно — разряд почти целиком через *n* или отрицателен. Промежутки равны 0,8 дюйма; *A* и *B* индуцируют, заряжены положительно — разряд преимущественно через *o*, или отрицателен; *A* и *B* индуцируют, заряжены отрицательно — разряд целиком через *n* или отрицателен. В этом случае отрицательный шарик имел решительное преимущество в смысле легкости разряда.

1517. Итак, если можно доверять опыту в этом его виде, то отрицательный маленький шарик имеет над положительным маленьким шариком решительное преимущество в смысле облегчения разрывного разряда в некоторых газах, как углекислота и светильный газ (1399); для других газов это заключение кажется более сомнительным, а в некоторых, наоборот, представляется возможным, что преимущество может оказаться на стороне положительного маленького шарика. Все эти результаты были получены при почти одинаковом атмосферном давлении.

1518. С этими газами, заключенными в воздушном сосуде (рис. 136), я произвел несколько опытов, касающихся перехода искры в кистевой разряд и аналогичных тем, которые описаны выше для случаев на открытом воздухе (1486, 1487). Я приведу в таблице результаты, касающиеся вопроса, когда с искрой начинают чередоваться кистевые разряды. Дальнейшие результаты были столь пестры, а характер разряда в разных газах столь раз-

личен, что включать полученные результаты без дальнейшего исследования вряд ли было бы полезно. При промежутках меньших, чем указанные, разряд всегда происходит в виде искры.

	Разряд между шариками В и D		Разряд между шариками А и С	
	маленький шарик В, индуцирующий <i>пол.</i>	маленький шарик В, индуцирующий <i>отр.</i>	большой шарик А, индуцирующий <i>пол.</i>	большой шарик А, индуцирующий <i>отр.</i>
Воздух	0,55	0,30	0,40	0,75
Азот	0,30	0,40	0,52	0,41
Кислород	0,70	0,30	0,45	0,82
Водород	0,20	0,10		
Светильный газ	0,13	0,30	0,30	0,14
Углекислота	0,82	0,43	0,60	Свыше 1,80, нехватило места

1519. Я настоятельно указываю, что искры возникали и при значительно более длинных промежутках, чем эти: таблица дает только те расстояния, ниже которых разряд происходит в виде искры без исключений. Уже намечаются некоторые любопытные отношения различных газов к разряду, но было бы бесполезно рассматривать их раньше, чем они будут выяснены дальнейшими опытами.

1520. Я не могу не упомянуть здесь, что проф. Белли (Belli) в Милане опубликовал ряд весьма ценных опытов об относительном рассеянии положительного и отрицательного электричества в воздухе: ¹ он находит, что последнее рассеивается с значительно большей легкостью, чем первое.

1521. Я произвел несколько опытов подобного же рода, но поддерживал при этом высокий заряд; результаты получились менее разительными, чем у синьора Белли, и я не счел их удо-

¹ Bibliothèque Universelle, 1836, сентябрь, стр. 152.

влетворительными. В связи с этим вопросом я хотел бы упомянуть об одном вредном для опыта явлении, которое в течение долгого времени смущало меня. Когда я позволял стекать положительному электричеству с острия в воздухе, то электромметр указывал определенное напряжение на кондукторе, соединенном с острием, но при продолжении опыта это напряжение возрастало на несколько градусов; если затем кондуктор заряжался отрицательно, причем к нему было присоединено то же самое острие и все прочие условия оставались неизменными, то сначала наблюдалась определенная степень напряжения, которая при продолжении опыта также возрастала. При возвращении кондуктора в положительное состояние напряжение было сначала низко, но, как и ранее, возрастало, и то же самое имело место, когда кондуктор снова заряжался отрицательно.

1522. Этот результат указывал, повидимому, на то, что острие, испускавшее одно электричество, приводилось им на короткое время в состояние более благоприятное для испускания другого. Однако при более близком рассмотрении я нашел, что явление было обусловлено индуктивным влиянием того воздуха, который, будучи заряжен острием и увеличиваясь перед ним в количестве, по мере того как продолжалось истечение положительного или отрицательного электричества, отклонял и удалял часть индуктивного влияния окружающих стен и при этом кажущимся образом действовал на свойства острия; в действительности же изменение напряжения вызывал сам диэлектрик.

1523. Результаты, связанные с условиями, различными для положительного и отрицательного разряда, окажут на теорию учения об электричестве значительно большее влияние, чем мы можем себе представить в настоящее время, особенно, если они, как я полагаю, зависят от особенностей и степени того поляризованного состояния, в которое приходят молекулы соответственных диэлектриков (1503, 1600). Так, например, отношение нашей атмосферы и земли в ней к возникновению искры или ки-

стего разряда должно быть особенным, а не случайным (1464). Иначе оно не согласовалось бы с другими метеорологическими явлениями, также, конечно, зависящими от специальных свойств воздуха, которые как нельзя более гармонируют с функциями животной и растительной жизни, но, тем не менее, ограничены в своих действиях не расплывчатыми правилами, а чрезвычайно точными законами.

1524. Уже при прохождении через воздух гальванического тока мы видим особенности положительного и отрицательного разрядов у двух острий из древесного угля; и если заставить эти разряды проходить одновременно по направлению к ртути, то это различие становится еще более заметным как по звуку, так и по количеству образующихся паров.

1525. Представляется весьма вероятным, что с этими явлениями может быть связано также замечательное различие, недавно замеченное и описанное моим другом проф. Даниелем,¹ а именно: когда одинаковые по размеру цинковый и медный шары были соответственно помещены в медный и цинковый полые шары, также одинакового размера, и возбуждались с помощью электролитов или диэлектриков одинаковой крепости и состава, то цинковый шарик значительно превосходил своим действием цинковый полый шар; в самом деле, нетрудно понять, как на полярность частиц будут влиять условия на положительной поверхности, а именно — которую из двух обкладок электролита представляет собой цинк: большую или меньшую. Возможно даже, что с помощью различных электролитов или диэлектриков это отношение можно значительно менять, а в некоторых случаях даже изменить на обратное.

Разряд со свечением

1526. Разрывной разряд, который проявляется в виде *свечения* (1359, 1405), имеет совсем особый характер и очень красив; повидимому, он состоит в быстром и почти непрерывном заряже-

¹ Philosophical Transactions, 1838, стр. 47.

нии воздуха, находящегося поблизости к проводнику и соприкасающегося с ним.

1527. Такого типа разряд получается при *уменьшении заряжающей поверхности*. Так, когда стержень диаметром 0,3 дюйма с закругленным концом заряжался положительно в обычном воздухе, то конец его испускал тоикие кистевые разряды, но иногда последние исчезали, и на их месте появлялось спокойное фосфоресцирующее непрерывное свечение, покрывавшее весь конец провода и распространявшееся на очень небольшое расстояние от металла в воздух. При стержне диаметром в 0,2 дюйма свечение возникало с большей легкостью. При еще более тонких стержнях, а также при тупых конических остриях, оно возникало с еще большей легкостью; при тонком острие мне не удавалось получать в свободном воздухе кистевого разряда, а только такое свечение. Положительное свечение и положительная звездочка в действительности представляют собой одно и то же.

1528. *Увеличение мощности машины* ведет к образованию свечения, ибо закругленные концы, которые при слабом действии машины дают одни только кистевые разряды, легко производят свечение, когда машина в порядке.

1529. *Разрежение воздуха* удивительно благоприятствует явлениям светящегося разряда. Латунный шарик в два с половиной дюйма диаметром, находясь под колоколом воздушного насоса, будучи индуцирующим и заряженным положительно, покрывался свечением на площади диаметром в два дюйма, когда давление понижалось до 4,4 дюйма ртутного столба. Путем небольшого налаживания шарик удавалось весь целиком покрыть этим свечением. Если взять латунный шарик в 1,25 дюйма диаметром и на нем индуцировать положительный заряд от индуцирующего отрицательного острия, то эти явления при высоких степенях разрежения исключительно красивы. Свечение обволакивало положительный шарик, и яркость его постепенно усиливалась; в конце концов оно становилось очень ярким; оно поднималось также, наподобие низкого пламени, на высоту

в полдюйма или более. Прикосновение к стенкам стеклянного сосуда действовало на это мерцающее пламя; оно принимало кольцеобразную форму, вроде короны на верхушке шарика; оно казалось гибким и довольно медленно вращалось, примерно четыре или пять раз в секунду. Эта кольцеобразная форма и вращение могут быть очень хорошо приведены в связь с механическими потоками (1576), происходящими под колоколом. Красота этого свечения в разреженном воздухе часто значительно усиливается искровым разрядом у кондуктора (1551, примечание).

1530. Получить в воздухе *отрицательное свечение* при обычных давлениях трудно. Мне не удавалось его получить с помощью моей машины ни на стержне диаметром в 0,3 дюйма, ни на значительно более тонких стержнях; и до сих пор остается под вопросом, чем, собственно, является, даже в случае тонких острий, то, что называется отрицательной звездой: очень ослабленным и мелким, но все же перемежающимся кистевым разрядом или же свечением, подобным получающемуся на положительном острие.

1531. В разреженном воздухе отрицательное свечение получается легко. Если закругленные концы двух металлических стержней, диаметром примерно по 0,2 дюйма, внести внутрь полого шара или сосуда (воздух внутри должен быть разрежен) и поставить друг против друга на расстоянии примерно четырех дюймов, то на обоих стержнях можно получить свечение, покрывающее не только концы, но и дюйм или два за ними. Если поместить *шарики* под колоколом воздушного насоса, то, подбирая расстояние и степень разрежения, удастся покрыть отрицательный шарик свечением, независимо от того, что представляла собой его поверхность — индуцирующее или индуцируемое тело.

1532. При стержнях необходимо принимать во внимание, что когда они расположены концентрически в сосуде или полом шаре, то свет от одного стержня часто отражается от стенок сосуда на другой стержень, вследствие чего последний кажется светящимся, когда в действительности этого нет. Это явление можно обнаружить, смещая глаза во время наблюдения; избежать его можно, пользуясь вычурными стержнями.

1533. Любопытно наблюдать связь между *светящимися, кистевыми* и *искровыми* разрядами, получаемыми от положительных или отрицательных поверхностей. Так, когда поверхность, у которой возникает разряд, заряжена отрицательно, то, начавшись искрой, разряд переходит в кистевой значительно скорее (1484), чем когда она заряжена положительно; но дальше в порядке изменений мы обнаруживаем, что положительный кистевой разряд переходит в свечение гораздо раньше отрицательного. Таким образом, хотя и положительная и отрицательная поверхности дают эти три состояния в одном и том же порядке, последовательность не является в точности одинаковой. Возможно, что когда эти положения будут подробно изучены, что необходимо сделать возможно скорее, то мы обнаружим, что для каждого отдельного газа или диэлектрика получаются характерные для него особые результаты, в зависимости от того способа, которым его частицы приходят в полярное электрическое состояние.

1534. Свечение происходит во всех газах, которые я в этом отношении исследовал. К таковым относятся: воздух, азот, кислород, водород, светильный газ, углекислота, соляная кислота, сернистая кислота и аммиак. Мне показалось, что я получил его также в скипидаре, но если это и так, то разряд был очень тускл и слаб.

1535. Свечение всегда сопровождается ветром, либо исходящим непосредственно из светящейся части, либо направленным непосредственно к ней, причем первый случай является наиболее частым. Это происходит даже тогда, когда разряд возникает на шаре значительных размеров. Если же созданы условия, затрудняющие или предотвращающие свободный и правильный приток воздуха к участку, обнаруживающему свечение, то последнее исчезает.

1536. Мне никогда не удавалось ни разложить или разделить свечение на видимые элементарные перемежающиеся разряды (1427, 1433), ни получить другое доказательство перемежающегося действия, а именно — слышимый звук (1431).

Неудача попыток обнаружить это на-глаз объясняется, может быть, протяженностью свечения, которая мешает разделению видимых изображений; в самом деле, если разряд является перемежающимся, то мало правдоподобно, чтобы все его части чередовались сразу с совпадающей во времени правильностью.

1537. Все эти явления указывают на то, что *свечение* происходит от непрерывного заряжения или разряжения воздуха, причем в первом случае оно сопровождается потоком воздуха от места свечения, а в последнем — к нему. Подходя к заряженному проводнику, окружающий воздух, достигнув того места, где напряжение частиц возросло в достаточной степени (1370, 1410), получает заряд и затем удаляется под совокупным действием сил, которым он подвергнут; уступая дорогу другим частицам, которые, в свою очередь, подходят и заряжаются, он в то же время и сам способствует образованию того потока, который приводит их в требуемое положение. Так благодаря закономерности сил в результате создается постоянное и спокойное явление, заключающееся в том, что заряжаются последовательные порции воздуха, образуются потоки и непрерывное свечение.

1538. Мне часто удавалось вызывать свечение предпочтительно у конца стержня, который, будучи предоставлен самому себе, давал бы кистевой разряд; я достигал этого просто тем, что способствовал образованию около стержня потока воздуха; с другой стороны, нетрудно превратить свечение в кистевой разряд, для чего следует действовать либо на поток воздуха (1574, 1579), либо на индуцирующее действие вблизи него.

1539. Переход от свечения, с одной стороны, к кистевому, а с другой — к искровому разряду, а, следовательно, и их взаимную связь можно установить различными путями. Такие условия, которые стремятся облегчить получение заряда воздухом от наэлектризованного проводника, а также те, которые стремятся удержать напряжение на том же уровне, несмотря на разряд, способствуют образованию свечения; наоборот действуют обстоятельства, стремящиеся воспрепятствовать получению воз-

духом заряда и благоприятствующие накоплению перед разрядом электрической силы, которая, ослабляясь этим действием, должна быть повышена, прежде чем напряжение сможет достигнуть требуемой степени; эти обстоятельства способствуют перемежающемуся разряду, а, следовательно, образованию кисти или искры. Так, разрежение воздуха, удаление больших проводящих поверхностей из непосредственной близости светящихся концов, поднесение к ним заостренного конца помогают поддерживать или производить свечение, а уплотнение воздуха, поднесение руки или другой большой поверхности, постепенное приближение разряжающего шарика стремятся превратить свечение в кистевой разряд или даже искру. Все эти условия можно проследить и свести удобопонятным образом к их относительной способности благоприятствовать образованию либо *непрерывного* разряда в воздух, что дает свечение, либо *прерывистого* разряда, который производит кисть или, при более напряженном состоянии, искру.

1540. Вращением электрической машины закругленный конец латунного стержня диаметром в 0,3 дюйма покрывался положительным свечением; при остановке машины, вследствие чего заряд соединенного с ней кондуктора должен был уменьшиться, свечение непосредственно перед своим полным прекращением на момент превращалось в кисти; это доказывало, что для конца определенных размеров требуется определенный постоянный заряд большого напряжения. Когда машина вращалась так, что напряжение было как раз достаточно низко для того, чтобы давать непрерывные кистевые разряды из конца в воздух, то приближение тонкого острия превращало этот кистевой разряд в свечение. Когда машину вращали так, что из конца в воздух исходило непрерывное свечение, то при постепенном приближении руки свечение сжималось к самому концу провода, затем выбрасывало светящуюся точку, которая превращалась затем в ствол (1426) и давала, в конце концов, сильно разветвленные кисти. Все эти результаты находятся в согласии с вышеизложенным (1539).

1541. Если смазать закругленный конец провода жиром, вместо свечения сейчас же получается кисть. От шарика, снабженного притупленным концом, который может по желанию более или менее выдвигаться за поверхность шарика, можно получить все стадии разряда, начиная с свечения, через кистевую, и кончая искрой.

1542. Весьма интересно и поучительно проследить также переход от искры к свечению через промежуточное состояние истечения, между концами в сосуде, содержащем более или менее разреженный воздух; но я боюсь быть слишком многословным.

1543. Все эти явления показывают, что свечение по своей природе представляет собой в точности то же, что и светящаяся часть кисти или разветвления, а именно — электризацию воздуха; единственное отличие заключается в том, что свечение представляется непрерывным благодаря постоянному возобновлению одного и того же действия в данном месте, тогда как разветвление обусловлено кратковременным, независимым и перемежающимся действием того же рода.

Темный разряд

1544. Теперь я хочу обратить внимание на одно весьма замечательное обстоятельство, имеющее место в светящемся разряде, сопровождаемом отрицательным свечением; его, может быть, в дальнейшем можно будет проследить вплоть до разрядов значительно более высокого напряжения. Концы двух латунных стержней по 0,3 дюйма диаметром, пропущенные с противоположной стороны в стеклянный шар, были приведены в соприкосновение, и окружающий их воздух был сильно разрежен. Затем через них был пропущен разряд электричества от машины, и в то время, как он происходил, концы были раздвинуты. В момент раздвижения конец отрицательного стержня покрылся непрерывным свечением, а положительный конец оставался совершенно темным. При дальнейшем увеличении расстояния, на конце положительного стержня появлялось пурпуровое све-

чение, или дымка, которая распространялась по направлению к отрицательному стержню, удлиняясь по мере увеличения промежутка; она, однако, никогда не соединялась с отрицательным свечением, так что между ними всегда оставалось небольшое темное пространство. Это пространство, длиною примерно в $\frac{1}{16}$ или $\frac{1}{20}$ дюйма, видимо, не менялось по своим размерам и положению относительно отрицательного стержня; отрицательное свечение также не менялось. Независимо от того, чем был отрицательный конец: индуцирующим или индуцируемым, явление получалось одинаковое. Странно было видеть, как при раздвижении концов пурпуровый туман ослабевал или удлинялся, а темное пространство и отрицательное свечение оставались, тем не менее, неизменными (рис. 138).

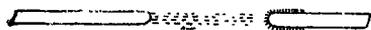


Рис. 138.

1545. Затем я брал два шарика под большим колоколом воздушного насоса и разрезал воздух. Происходили обычные переходы в характере разряда, но всякий раз, когда светящийся поток, который появляется при прекращении искрового и кистевого разрядов, сам превращался в «тлеющее» свечение, на шариках наблюдалось темное пространство, независимо от того, который из шариков был индуцирующим — заряженный положительно или отрицательно.

1546. Иногда, при больших размерах отрицательно заряженного шарика, при сильном действии машины и при высоком разрежении, половина поверхности шарика покрывалась свечением, и затем при поверхностном наблюдении казалось, что темное пространство отсутствует; но это была ошибка, которая получалась вследствие перекрытия выпуклого конца отрицательного свечения и вогнутого конца положительного столба. Более тщательные наблюдения и опыты убедили меня в том, что когда имеется отрицательное свечение, то оно никогда видимым образом не касается светящейся части положительного разряда, но всегда имеется темное пространство.

1547. Это странное разделение положительного и отрицательного разрядов, поскольку речь идет об их светящихся частях, при условиях, которые можно было бы считать весьма благоприятными для их слияния, вероятно, связано с их различиями, когда они имеют форму кистевого разряда и, может быть, объясняется той же причиной. Далее, весьма вероятно, что темные участки, наблюдаемые в слабых искрах, также связаны с этими явлениями.¹ Понять их было бы очень важно, ибо совершенно ясно, что во многих опытах, в частности во всех тех, которые я приводил, разряд сквозь темные части диэлектрика достигает в точности той же самой величины, как и в светящейся части. Такое различие в результатах, казалось бы, предполагает разницу в тех способах, которыми одна и другая электрические силы приводятся в равновесие на соответствующих участках; если же рассматривать все эти явления, как дающие лишнее доказательство того, что причины индукции и разряда мы должны искать в состоянии частиц диэлектрика, то было бы чрезвычайно существенно, если бы мы могли в точности определить, в чем заключается разница в действии в темной и в светящейся частях.

1548. Темный разряд через воздух (1552), который в упомянутом случае виден совершенно ясно (1544), приводит нас к исследованию того, могут ли вообще частицы воздуха осуществлять разряд от частицы к частице, не становясь при этом светящимися; и такое исследование существенно, потому что оно связано с той степенью напряженности, которая необходима для того, чтобы разряд начался (1368, 1370). Разряд между *воздухом* и *проводниками* без световых проявлений является весьма обычным, и несветящиеся разряды с помощью переносящих [заряды] потоков воздуха и других жидкостей (1562, 1595) также достаточно обычны, но эти случаи сюда не относятся, ибо они не представляют собой разрядов между изолирующими частицами.

¹ См. опыты проф. Джонсона, *Silliman's Journal*, XXV, стр. 57.

1549. Было изготовлено приспособление для получения разряда между двумя шариками (1485, рис. 134), но вместо того, чтобы присоединить индуцируемый шарик непосредственно к разрядному проводу, он был соединен с внутренней обкладкой лейденской банки, а разрядный провод — с ее внешней обкладкой. Затем машина приводилась во вращение, и обнаруживалось, что всякий раз, как у шариков *A* и *B* возникал звучный и светящийся разряд, лейденская банка заряжалась; в противном случае банка заряда не получала. Это имело место и тогда, когда вместо шариков были взяты небольшие закругленные концы, а также независимо от того, каким образом они были установлены. Следовательно, при таких условиях разряд даже между воздухом и проводниками всегда оказывался светящимся.

1550. Зато в других случаях получались такие явления, которые делают почти несомненным, что через воздух может проходить темный разряд. Если из закругленного конца металлического стержня, диаметром в 0,15 дюйма, извлекать хороший отрицательный кистевой разряд, то приближение к нему навстречу более тонкого стержня или затупленного острия при определенном расстоянии вызовет сокращение кистевого разряда, и на положительном индуцируемом проводе появится свечение, сопровождаемое исходящим от него потоком воздуха. Но поскольку воздух заряжен как у положительной, так и у отрицательной поверхностей, то мы, повидимому, вправе заключить, что эти заряженные части где-либо в промежутке встречаются и там разряжаются друг друга, не производя никаких световых явлений. Возможно, впрочем, что воздух, наэлектризованный около светящегося конца положительно, может перемещаться по направлению к отрицательной поверхности и действительно создавать ту атмосферу, куда устремляются видимые отрицательные кистевые разряды; в таком случае нет необходимости в возникновении темного разряда. Однако я склоняюсь к предыдущему мнению и полагаю, что в пользу такого взгляда говорит уменьшение размеров отрицательного кистевого разряда при появлении свечения на конце противоположного провода.

1551. Пользуясь в качестве диэлектрика разреженным воздухом, очень легко получить световые явления в виде кистей или свечения на обоих проводящих шариках или концах, причем промежуток остается темным; при этом действие протекает настолько быстро, что мы, по моему мнению, не вправе считать, что разряд через темный участок осуществляется потоками воздуха. Так, если разредить воздух вокруг двух шариков, диаметром примерно в один дюйм каждый, отстоящих на 4 или более дюйма, и затем поместить их на пути разряда, то у машины создается прерывистый или искровой ¹ ток, и от любого из концов можно получить световые явления; в то же время большая или меньшая часть промежутка остается совершенно темной. Разряд будет проходить так же внезапно, как задерживаемая искра (295, 334), т. е. в течение почти неощутимо малого промежутка времени, а в таком случае, я полагаю, он должен проходить сквозь темный участок в виде истинного разрывного разряда, а не путем конвекции.

1552. Отсюда я заключаю, что темный разрывной разряд может действительно происходить (1547, 1550), и что в светящемся кистевом разряде видимые разветвления могут и не представлять собой полного протяжения разрывного разряда (1444, 1452); что, наоборот, каждое из них может иметь темную наружную часть, как бы обволакивающую каждый участок, по которому распространяется разряд. Возможно даже, что существуют такие явления, как темные разряды, аналогичные по форме кистевым и искровым, но не светящиеся ни в одной своей части (1445).

1553. Возникновение темного разряда, во всяком случае, показывает, при каком низком напряжении может происходить разрывной разряд (1548), и указывает на то, что яркость окончательного кистевого или искрового разряда никак не связана

¹ Под искровым током я подразумеваю ток, проходящий в виде ряда искр между кондуктором машины и прибором; под непрерывным током — такой, который проходит через металлические проводники, не претерпевая притом перерыва в одном и том же месте.

с требуемым напряжением (1368, 1370). Разряд, так сказать, начинается в темноте, а свет является простым следствием того количества, которое, после возникновения разряда, притекает к этому месту и встречает там наиболее благоприятные условия для своего прохождения (1418, 1435). В качестве иллюстрации общего нарастания разряда я могу заметить, что в опытах по переходу разряда в кислороде из искрового в кистевой (1518) каждой искре непосредственно предшествовал короткий кистевой разряд.

1554. Явления, относящиеся к темному разряду в других газах, хотя в некоторых чертах и отличаются от явлений в воздухе, но подтверждают выведенные выше заключения. Два закругленных конца (1544, рис. 138) были помещены в газообразную соляную кислоту (1445, 1463), при давлении в 6,5 дюйма ртути; через прибор пропускался непрерывной ток электричества от машины; до тех пор, пока длина промежутка была около одного дюйма, возникали яркие искры; после этого они сменялись сплюснутыми кистеобразными перемежающимися свечениями на обоих концах, с темным участком между ними. Когда ток от машины был искровой, каждая искра вызывала разряд через газообразную соляную кислоту; в известном интервале разряд был светящийся; при более длинном промежутке разряд был прямолинейный и напоминал пламя или очень чахлую, кратковременную искру, отнюдь не густую и не резкую; при дальнейшем увеличении промежутка искра производила слабый кистевой разряд на индуцирующем положительном конце и свечение— на индуцируемом отрицательном, причем между ними имелся темный участок (1544); в таких случаях у кондуктора получалась тусклая и бесшумная искра, а не резкая и не звучная (334).

1555. При введении большого количества газообразной соляной кислоты до давления в 29,97 дюйма, те же самые концы давали при малых расстояниях яркие искры; когда же они отстояли друг от друга примерно на один дюйм или более, разряд обыкновенно происходил в виде очень небольших кистей и свечения, а часто свет совершенно отсутствовал, хотя электриче-

ство через газ проходило. Каждый раз, когда яркая искра проходила через указанный газ при этом давлении, она была яркой по всей длине, без всякого темного или тусклого промежутка.

1556. В светильном газе при обычных давлениях, при расстоянии около одного дюйма, разряд сопровождался короткими кистями у концов и промежуточным темным пространством в полдюйма или более, несмотря на то, что разряд сопровождался резким коротким звуком, характерным для тусклой искры, и в темной части не мог быть обусловлен конвекцией (1562).

1557. Этот газ представляет несколько любопытных явлений в отношении светлого и темного участков искрового разряда. Когда яркие искры проскакивали между концами стержней диаметром по 0,3 дюйма (1544), то рядом с наиболее яркими участками искр внезапно возникали темные части. Далее, при этих же концах, а также при шариках (1422), эти яркие искры были иногда красные, иногда зеленые, а иногда одна и та же искра была в различных местах и зеленой и красной. Далее, в описанных выше опытах (1518) при определенных промежутках проходил очень своеобразный, бледный, тусклый, но быстрый разряд, который, хотя по виду был и слаб, но имел очень прямолинейное очертание и сопровождался треском в виде хлопка, как если бы он протекал очень быстро.

1558. Водород часто давал своеобразные искры, у которых одно место было яркокрасно, а другие — тусклые, бледносеры, или же вся искра имела особый тусклый вид.

1559. Азот давал весьма замечательный разряд между двумя шариками, диаметры которых были равны соответственно 0,15 и 2 дюйма (1506, 1518), причем меньший из них заряжался отрицательно либо непосредственно, либо путем индукции. Этот своеобразный разряд происходил при промежутках от 0,42 до 0,68 дюйма или даже при 1,4 дюйма, когда большой шар был индукцирующим и положительным; разряд состоял из небольшого кистеобразного участка на маленьком отрицательном шарике, затем темного пространства и, наконец, тусклой бледной полоски на большом положительном шаре (рис. 139). Положение

темного пространства было весьма постоянно; оно, вероятно, непосредственно связано с описанным при получении отрицательного свечения темным пространством (1544). Когда в силу каких-либо обстоятельств получалась яркая искра, то контраст с особенной, описанной выше искрой был поразителен; в последней постоянно имела бледная пурпуровая часть, которая всегда находилась по близости к положительному шару.

1560. Итак, существование темного разряда, повидимому, вполне установлено. В то же время доказано, что в различных газах он возникает не в одинаковой степени и различным образом. Отсюда, в добавление ко многим другим (1296, 1398, 1399, 1423, 1454, 1503), еще одно специфическое действие, с помощью которого также можно различать и устанавливать электрические отношения изолирующих диэлектриков, и еще один довод в пользу той молекулярной теории индукции, которая рассматривается в данный момент.¹

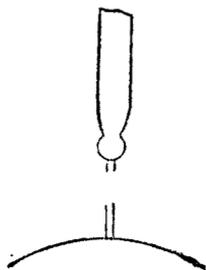


Рис. 139.

1561. То, что я имел сказать относительно разрывного разряда, получилось несколько длинно, но я считаю, что это оправдывается важностью предмета. Прежде чем закончить эти замечания, я снова хочу поднять вопрос, не имеем ли мы оснований считать напряжение или удержание [заряда] и последующий разряд в воздухе или других изолирующих диэлектриках явлениями, которые тождественны с задерживанием и разрядом в металлическом проводе и отличаются от них только по степени, правда, чуть ли не бесконечное число раз (1334, 1336). Другими словами, не можем ли мы путем ряда постепенных сближений проследить, как, начиная с разряда, происходящего в воздухе,

¹ Я не могу не сослаться здесь в виде примечания на физические взгляды Био на природу свечения электрического разряда. *Annales de Chimie*, LIII, стр. 321.

далее разряда через спермацет и воду, через растворы, а затем через хлориды, окислы и металлы, — как во всех этих случаях разряд протекает без каких-либо существенных различий в самом характере? Не можем ли мы, далее, связать незаметную проводимость воздуха, проводимость через газообразную соляную кислоту и темный разряд с несколько лучшей проводимостью спермацета и воды и почти совершенной проводимостью металлов и объединить явления, наблюдаемые на крайних концах этого ряда? И не возможно ли, что задержка и накаливание в проводе представляют собой явления, в точности соответствующие по своей природе задерживанию заряда и искры в воздухе? Если это так, то здесь снова обе крайности в свойствах диэлектриков окажутся тесно связанными, причем все отличие обусловлено, вероятно, тем способом и степенью, до которой поляризуются их частицы под влиянием индуктивных действий (1338, 1603, 1610).

Г Л А В А X

Конвекционный разряд или разряд путем переноса

1562. Последним видом разряда, который я собираюсь рассмотреть, является разряд, производимый перемещением заряженных частиц с места на место. По своей природе этот вид разряда, повидимому, сильно отличается от предшествующих (1319), но поскольку он приводит к таким же результатам, то может оказаться весьма существенным для выяснения природы не только самого разряда, но также и того, что мы называем электрическим током. Как уже замечено раньше по поводу кистевого и светящегося разрядов (1440, 1535), он часто присоединяет свое действие к действию разрывного разряда и завершает процесс нейтрализации электрических сил друг другом.

1563. Частицы, которые сначала заряжаются, а затем перемещаются, могут быть частицами как изолирующего, так и проводящего вещества, большими или малыми. Может быть, окажется полезным рассмотреть в первую очередь большую частицу проводящего вещества.

1564. Медный бак, в три фута диаметром, был изолирован и наэлектризован, но настолько слабо, что у его краев или выступающих частей не было заметного рассеяния [электричества] путем кистевых или разрывных разрядов. К баку был поднесен подвешенный на чистом белом шелковом шнуре латунный шарик диаметром в два дюйма; оказалось, что если шарик находился в течение одной — двух секунд вблизи какой-нибудь точки заряженной поверхности бака, на таком расстоянии от него (дюйма два), чтобы непосредственного заряда от бака на нем не получалось, то шарик, хотя и оставался все время изолированным, заряжался сам, и его электричество было *противоположно* электричеству бака.

1565. Наиболее сильно это действие было у краев и выступающих частей бака, а более слабо — у его стенок или тех протяженных участков поверхности, которые, согласно выводам Кулона, обладают наиболее слабым зарядом. Очень сильным заряд оказывался у стержня, несколько выступавшего из бака. Явление происходило как при положительном, так и при отрицательном заряде меди; оно получалось также с маленькими шариками, вплоть до шариков диаметром в 0,2 дюйма и менее, а также с заряженными проводниками меньшего размера, чем вышеупомянутый медный бак. Оказывается, что в некоторых случаях почти невозможно пронести изолированный шарик на расстоянии одного — двух дюймов от заряженной плоской или выпуклой поверхности без того, чтобы он получил заряд, противоположный заряду этой поверхности.

1566. Это явление есть явление индукции между телами, а не сообщения [электричества]. Когда шарик связывается с положительно заряженной поверхностью посредством промежуточного диэлектрика, его противоположные стороны приводятся в противоположные состояния, причем сторона, направленная к баку, является отрицательной, а наружная сторона — положительной. К шарiku направлено больше индуцирующего действия, чем проходило бы в этом месте при отсутствии шарика, и это происходит по многим причинам, — между прочим и потому,

что он — проводник, и отпадает сопротивление частиц того диэлектрика, который находился бы в противном случае на месте шарика (1298); с другой стороны, действующая положительная поверхность шарика, выдаваясь из бака дальше, чем в отсутствии проводящего вещества, более свободно действует через остающийся диэлектрик на окружающие проводники и, таким образом, благоприятствует усилению той индуцирующей полярности, которая направлена по его пути. Что касается того, что сила на внешней поверхности шарика превышает силу на индуцирующей поверхности бака, то дело обстоит так, как если бы последняя сама выдавалась в этом направлении. Таким образом шарик приобретает состояние, подобное состоянию поверхности бака, которым оно обусловлено, но более высокое и достаточное для того, чтобы произвести разряд в воздух у своей положительной поверхности или оказать на небольшие частицы такое же действие, какому сам он подвергается со стороны бака. Эти частицы, устремляясь к нему, захватывают заряд и удаляются; таким образом шарик как целое приводится в противоположное индуцируемое состояние. Следствием этого является то, что если он подвижен, то его стремление приблизиться под влиянием всех сил к баку возрастает, и в то же время состояние его становится все более и более напряженным в отношении как полярности, так и заряда, и наконец, при определенном расстоянии происходит разряд; шарик приобретает то же состояние, что и бак, отталкивается, устремляется к тому проводнику, который расположен наиболее благоприятно для того, чтобы разрядить шарик, и здесь вновь принимает свое безразличное состояние.

1567. Мне кажется, что способ, которым индуцирующие тела действуют на расположенные вблизи их незаряженные плавающие или подвижные проводники, часто имеет именно такой характер, а в особенности, когда это действие заканчивается переносом заряда (1562, 1602). Любопытно, что главное индуцирующее тело не может отдать воздуху своего электричества, а индуцируемое тело *может* осуществить разряд силы того же

рода. При проводниках удлиненной или неправильной формы, как нити или частички пыли, это явление часто должно возникать с легкостью, а последующее притяжение — немедленно.

1568. Описанное явление, вероятно, оказывает свое влияние также при получении видоизменений в искровом разряде, упомянутых в предыдущей серии (1386, 1390, 1391); в самом деле, если бы частица пыли попала к оси индукции между шариками, то, еще находясь на некотором расстоянии от этой оси, она сама стремилась бы произвести разряд описанным способом (1566), а такое начало может настолько облегчить весь процесс (1417, 1420), что поведет к полному разряду в виде искры через эту частицу, хотя этот путь от шарика к шарiku мог бы и не быть кратчайшим. Таким образом и в случае одинаковых шариков на одинаковых расстояниях, как в уже описанных сравнительных опытах (1493, 1506), частица, находящаяся между двумя шариками, вызывала бы разряд предпочтительно между ними; и если бы даже имелось по частице между каждыми двумя шариками, то различие в ее размерах и форме давало бы временное превосходство одной паре шариков над другой.

1569. Способность частиц пыли переносить электричество высокой напряженности общеизвестна, и я уже приводил кое-какие примеры такого рода, когда говорил о пользовании прибором для индукции (1201). В основном явление это хорошо наблюдается с помощью больших легких предметов, например с помощью игрушки, называемой электрическим пауком, а если для физических опытов желательны более мелкие объекты, то с помощью дыма от тлеющей свечи из зеленого воска; дым представляет собой непрерывный поток таких частиц и тем самым делает видимым их путь.

1570. Действие и путь небольших проводящих, переносящих заряд частиц можно хорошо наблюдать, если взять в качестве диэлектрика скипидар. Несколько коротких кусков нитки могут играть роль носителей заряда, и порядок их действия является чрезвычайно интересным.

1571. В скипидаре получалось весьма замечательное явление, относительно которого у меня еще имеется сомнение, чем оно было обусловлено: переносящей способностью частиц или каким-либо другим их действием. На дне стеклянного сосуда с некоторым количеством этой жидкости находился неизолированный серебряный кружок, а сверху в жидкость погружался наэлектризованный металлический стержень с закругленным концом. Изоляция была очень хорошая, а притяжения и другие явления — очень сильные. Затем на конец стержня помещалась капелька жидкого резинового клея, и он заряжался в жидкости; резиновый клей немедленно распадался на тонкие нити и быстро расходился в скипидаре. К тому времени, как были таким образом смешаны с пинтой диэлектрика четыре капли, диэлектрик утратил значительную часть своей изолирующей способности; в жидкости больше не удавалось получить искр; и все явления, определяемые изолирующим действием, упали до очень слабой степени. Жидкость была лишь слегка мутна. Простым фильтрованием через бумагу ей можно было вернуть первоначальную прозрачность, после чего она изолировала так же хорошо, как раньше. Вода, следовательно, просто распускалась в скипидаре, не входя с ним в соединение и не растворяясь в нем; но как действовали эти мелкие частички: были ли они носителями заряда или же они скоплялись на линии наибольшего индуктивного напряжения (1350) и здесь, принимая под влиянием электрических сил удлиненную форму, объединяли свои действия и образовали полоску вещества, обладающего значительной по сравнению с скипидаром проводимостью, — это до сих пор остается под вопросом.

1572. Аналогия между действием твердых проводящих, переносящих заряд частиц и действием заряженных частиц жидких изолирующих веществ, действующих как диэлектрики, весьма очевидна и проста; но в последнем случае как результат неизбежно появляются токи в подвижной среде. Индуцирующее действие приводит частицы в полярное состояние, за которым, по достижении определенной напряженности (1370), следует передача части той силы, которая вначале находится на провод-

нике; в результате частицы заряжаются и под объединенным влиянием сил отталкивания и притяжения направляются к разряжающемуся месту или в такую точку, где эти индуцирующие силы легче всего уравниваются противоположными индуцируемыми силами.

1573. Нетрудно понять, почему острие так исключительно благоприятствует возникновению токов в жидком изолирующем диэлектрике, каков, например, воздух. Напряжение, необходимое для заряда воздуха, приобретает прежде всего у конца острия (1374); именно отсюда удаляются заряженные частицы, и механической силе, которую острие оказывает на воздух для образования потока, всемерно содействует форма и расположение того стержня, окончанием которого является данное острие. В то же время, став источником активной механической силы, острие благодаря самому акту образования этой силы, т. е. разряду, препятствует приобретению такого же необходимого состояния любым другим участком стержня и, таким образом, сохраняет и поддерживает свое собственное превосходство.

1574. Весьма разнообразные и красивые явления получаются, если прикрывать острие или помещать его в замкнутое пространство; они чрезвычайно хорошо выявляют образующийся поток и подтверждают прежние заключения; необходимо помнить, что в таких случаях действие на разряд бывает двоякого рода. В самом деле, чтобы воспрепятствовать потоку, можно либо прекращать приток свежего незаряженного воздуха или задерживать удаление уже заряженного, как при электризации острия в закрытой с одного конца трубке из изолирующего вещества; либо можно менять *электрическое состояние* самого острия, изменяя его расположение по отношению к другим телам, находящимся с ним в непосредственной близости и также наэлектризованным; например, когда острие находится в металлической трубке, — с помощью этого металла; когда оно заключено в стеклянной трубке, — подобным же действием заряжен-

ных мест стекла или даже с помощью окружающего воздуха, который был заряжен и не может удалиться.

1575. Каждый раз, когда мы намерены наблюдать в жидком диэлектрике такие индуктивные явления, которые непосредственно связаны с текучестью среды и ею обусловлены, как, например, разряд из острия или притяжения и отталкивания и т. п., надо брать большую массу жидкости и такое относительное расстояние между индуцирующей и индуцируемой поверхностями, чтобы жидкость включала в себя все *линии индуктивной силы* (1369) между ними; в противном случае нельзя получить действия токов, притяжения и т. п., которые являются следствием всех этих сил. Те явления, которые возникают в открытом воздухе или внутри наполненного скипидаром шара, не будут иметь места в тех же самых веществах, если последние заключены в трубки из стекла, шеллака, серы или других подобных веществ, хотя последние и являются прекрасными изолирующими диэлектриками; таких явлений нельзя и ожидать, ибо в этих случаях полярные силы уже не рассеиваются целиком между частицами жидкости, стремящимися под их влиянием к перемещению, а оказываются теперь во многих местах связанными с частицами, которые, будучи в твердом состоянии, несмотря на свое стремление к перемещению, вынуждены оставаться неподвижными.

1576. Все разнообразие условий, которые при проводниках различной формы и строения могут давать начало потокам, согласно показывает, что последние образуются чрезвычайно просто. Если в достаточной мере повысить напряжение на поверхности *шара*, и если это напряжение будет наибольшим на участке поверхности, удобном для создания потока воздуха к нему или от него, то шар будет производить это явление так же, как острие (1537); это имеет место всякий раз, когда на шаре появляется свечение, так как для этого явления существенно наличие потока. Если взять шар такой величины, что на нем все же можно будет получить свечение, то оно будет появляться в том месте, где поток уходит от шара; оно будет находиться на стороне,

как раз противоположной месту соединения шара с стержнем; однако, если повысить напряжение в другом месте, так чтобы оно было выше напряжения на рассматриваемом участке, что легко можно осуществить с помощью индукции, то место свечения и направление потока также изменятся и перейдут к тому месту, которое в данный момент оказывается более благоприятным для их образования (1591).

1577. Например, приближение к шару руки стремится вызвать кистевой разряд, но усилением притока электричества можно сохранить условия свечения; и тогда, если перемещать руку с одной стороны шара к другой, положение свечения будет совершенно определенно передвигаться вместе с рукой.

1578. Если подносить к светящемуся шару острие на расстоянии в двенадцать — четырнадцать дюймов, свечение превращается в кистевой разряд; однако при дальнейшем приближении возобновляется свечение, вероятно, вследствие разряда ветром или воздухом, исходящим от острия к шару. Это свечение вполне подчиняется движению острия, следуя за ним в любом направлении.

1579. Даже струя ветра действовала на местоположение свечения. Я подносил к шару покрытую лаком стеклянную трубку; через нее по направлению к шару воздух то продувался, то нет; тогда в первом случае местоположение свечения несколько менялось, как будто его этой струей сдувало в сторону, а такой результат и можно было предвидеть. Все эти явления прекрасно иллюстрируют общие основные причины и взаимоотношения свечения и сопровождающего его потока воздуха (1574).

1580. Пламя способствует появлению потоков в окружающем его диэлектрике. Так, если на поверхности шара, который не вызывал потоков воздуха, устроить любой величины пламя, то поток возникает с величайшей легкостью; к тому, чтобы получить эффективное действие пламени, в этом случае не встречается ни малейшего затруднения, если хоть один момент подумать о соотношении между пламенем, как частью окружающего диэлектрика, и наэлектризованным шаром (1375, 1380).

1581. Если взять вместо твердого острия проводящий конец из жидкого вещества, то такие концы прекрасно обнаруживают образование потоков, их действия и влияние на усиление условий, при которых они возникали. Направим в открытом воздухе вниз закругленный амальгамированный конец латунного стержня диаметром в 0,3 дюйма или около этого; пусть на нем висит капелька ртути, а затем сильно его наэлектризуем. Ртуть даст явление свечения; вдоль стержня устремится поток воздуха и направится от ртути прямо вниз; форма металлической капли слегка изменится: выпуклость небольшого участка около середины внизу станет больше, а кругом, поодаль от этого участка, она уменьшится. Изменение произойдет от формы *a* (рис. 140)

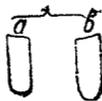


Рис. 140.



Рис. 141.

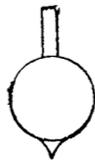


Рис. 142.

к *b*; оно почти, а может быть и целиком, обусловлено механической силой потока воздуха, проносящегося над его поверхностью.

1582. Заметим для сравнения, что при постепенном приближении шара к капле свечение переходит в кистевой разряд и, наконец, из наиболее выступающей части ртути проскакивают искры. Острие действует точно так же, но при значительно меньших расстояниях.

1583. Возьмем затем каплю крепкого раствора хлорида кальция; если сообщить ей заряд, часть ее, вероятно, будет рассеяна, но значительная часть при не слишком сильной электризации останется в форме конической капли (рис. 141), сопровождаемой сильным потоком. При свечении поверхность капли будет гладкой. Если образуется короткая слабая кисть, будет замечаться небольшое дрожательное движение в жидкости, но оба эти явления совпадают с основным наблюдаемым явлением,

а именно — с равномерной и последовательной электризацией воздуха, образованием [электрического] ветра, или потока; а также с тем видом, который жидкости придает этот поток. Если к конусу постепенно подносить разрядный шар, то в конце концов будут проскакивать искры, направленные от вершины конуса к приближаемому шару, что указывает на значительную степень проводимости данной жидкости.

1584. Когда я брал каплю воды, явления были такого же рода и легче всего получались в том случае, если с шара свешивалась капля резинового клея или сиропа (рис. 142). При медленном вращении машины получалась красивая большая капля устойчивой конической формы с вогнутым боковым очертанием и небольшим закругленным концом, на котором появлялось свечение; в то же время в направлении от острия конуса исходил постоянный ветер, сила которого была такова, что деформировала поверхность неизолированной воды, находившейся против этого конца.

При более быстром вращении машины часть воды разбрасывалась; оставшаяся меньшая заостренная часть обнаруживала негладкую поверхность, и был слышен звук следовавших друг за другом кистевых разрядов. При еще большем количестве электричества разбрасывалось еще больше воды; оставшаяся вода попеременным движением то вытягивалась, то стягивалась; был слышен более сильный кистевой разряд; колебания воды и последовательные разряды отдельных кистей совершались одновременно. Когда теперь к капле снизу подносилась вода, то по виду капли не усматривалось такого же правильного сильного сжатого потока воздуха, как раньше; когда же расстояние было таково, что проскакивали искры, то вода внизу скорее *притягивалась*, чем отступала, а поток воздуха *прекращался*.

1585. Если приблизить разрядный шарик к капле в ее первоначальном спокойном светящемся состоянии (1582), свечение немедленно переходит в кистевые разряды, и возникает колебательное движение капли. При дальнейшем приближении проскакивали искры, и притом всегда в направлении от металла

стержня по поверхности воды к острию и отсюда через воздух к шарiku. Это является естественным следствием недостаточной проводимости жидкости (1584, 1585).

1586. Почему капля колебалась, меняя свою форму в промежутки между кистевыми разрядами и в разные моменты становилась более или менее заостренной, наиболее же заостренной в момент образования кисти, и каким образом спокойная, светящаяся жидкая капля, принимая коническую форму, как бы способствовала началу действия, — все это вопросы, теоретически настолько ясные, что я не буду на них останавливаться. В настоящий момент главное внимание следует обратить на образование переносящего [заряды] потока воздуха и на то, каким образом поток обнаруживает свое существование и влияние, придавая каплям их форму.

1587. Капля воды или еще лучшего проводника принимает форму конуса главным образом под влиянием потока воздуха; это можно показать, кроме всяких других (1594), еще следующим способом. Когда против конической капли ставился какой-либо острый конец, капля быстро утрачивала свою заостренную форму, втягивалась и округлялась; поток воздуха от капли прекращался и сменялся потоком от нижнего острия, и если последнее находилось достаточно близко к капле, потоком сдувало ее в сторону; при этом капля принимала вогнутую форму.

1588. Едва ли есть необходимость упоминать, как обстояло дело, когда вещество капли проводило еще хуже воды, как, например, масло или скипидар. В этих случаях самая жидкость разбивалась на нити и увлекалась не только потому, что ее удалению помогал пронесившийся над ее поверхностью воздух, но также вследствие того, что изолирующие частицы жидкости приходили в такое же заряженное состояние, как частицы воздуха; не будучи в состоянии произвести по направлению к последним разряд в значительно более сильной степени, чем могли бы разрядяться сами частицы воздуха, они уносились теми же силами, которые приводили в движение частицы воздуха. Подобное же

явление с расплавленным сургучем на металлическом острие является старым и общеизвестным опытом.

1589. На форму капли из разведенного гуммиарабика под колоколом воздушного насоса электризация заметно не влияла. Если впускать воздух, капля начинает обнаруживать изменение формы при давлении в десять дюймов ртутного столба. При давлении в четырнадцать — пятнадцать дюймов изменение было более заметно; по мере возрастания плотности воздуха эти действия усиливались, и, в конце концов, они не отличались от действий в атмосфере. Ослабление действий в разреженном воздухе я приписываю уменьшению энергии его потока; это уменьшение обусловлено прежде всего более слабым электрическим состоянием наэлектризованного шара в разреженной среде, а затем — ослабленным состоянием диэлектрика; сила сцепления воды по отношению к разреженному воздуху примерно такова, как сила сцепления ртути по отношению к плотному воздуху (1581), тогда как сцепление воды в плотном воздухе сравнимо с силой сцепления ртути в скипидаре (1597).

1590. Когда шар покрыт вязкой проводящей жидкостью, как, например, патокой или сиропом, то с помощью индуктивного действия легко образовать [электрический] ветер почти из каждой его точки (1577); опыт, производство которого раньше несколько затруднялось, теперь легко удастся, так как жидкость позволяет тому месту, которое раньше было слабо по своему действию, достигнуть высокого состояния, чему способствует принятие жидкостью заостренной формы.

1591. Чтобы образовался поток, электрическое напряжение должно возрасти и длительно поддерживаться в *одном месте*, именно там, где поток возникает сначала, на более высоком уровне, чем в других местах, и тогда при однородном и свободном доступе воздуха получается поток. Если не допускать образования потока (1574), разряд может происходить в виде кистевого или искрового. Но независимо от того, в каком виде он происходит: в виде кисти или искры, или [электрического] ветра, представляется весьма вероятным, что та начальная интенсив-

ность или напряжение, при котором частица данного газообразного диэлектрика заряжается или начинает разряд, при указанных выше условиях всегда одинаково (1410).

1592. Я вовсе не думаю, чтобы приходящий в движение воздух был наэлектризован весь целиком; наоборот, в поток вовлекается большое количество незаряженного воздуха. Возможно, что фактически заряженная часть составляет только небольшую долю того воздуха, который в итоге приводится в движение (1442).

1593. Когда капля разведенного гуммиарабика (1584) заряжена *отрицательно*, она образует конус большей величины, чем при положительном заряде; разбрасывается меньше жидкости, и, тем не менее, с трудом удается извлечь искру приближением шарика, — настолько заострен конус, и с такой легкостью идет разряд. Когда против такой капли помещалось острие, то вызываемое им сокращение конуса было не столь значительно, как при положительном заряде. Все эти явления резко отличаются от тех, которые происходят при положительном конусе, и я не сомневаюсь в том, что такие капли представляют весьма поучительный метод исследования различия между положительным и отрицательным разрядами в воздухе и в других диэлектриках (1480, 1501).

1594. Чтобы не быть понятым превратно (1587), должен заметить, что образование конусов я не приписываю *одному только* потоку воздуха или другого изолирующего диэлектрика у их поверхности. Когда капля состоит из плохо проводящего вещества, явление в некоторой части обусловлено наэлектризованным состоянием частиц; к этой части сводится почти все явление, когда вещество представляет собой расплавленный сургуч, скипидар и подобные им изолирующие тела (1586). Но даже тогда, когда капля состоит из хорошо проводящего вещества, как вода, растворы или ртуть — правда, в этом случае вышеупомянутое явление мало заметно (1607), — даже тогда не все изменение формы вызывается одним только потоком воздуха или другого диэлектрика; отчасти явление обуславливается теми силами притяжения, под влиянием которых заряженная капля, если бы

она обладала свободой движения, перемещалась вдоль линии наибольшей индукции; когда же свободы перемещения нет, форма капли удлиняется до тех пор, пока сумма различных сил, стремящихся придать ей эту форму, не уравновесится силами сцепления жидкости. Действие сил притяжения хорошо демонстрируется, если взять патоку, разведенный гуммиарабик или сироп, ибо образующиеся в этом случае длинные нити, являющиеся осью потоков воздуха (такие потоки, следует думать, возникают в то же время у их концов), можно уподобить гибким проводникам; их направление указывает, по какому пути их увлекают силы притяжения.

1595. В плотных изолирующих диэлектриках явление потоков обнаруживает механические силы в чрезвычайной степени. Так, если поместить в стеклянный сосуд пинту хорошо очищенного и профильтрованного (1571) скипидара и в двух разных местах погрузить в него два провода — один, ведущий к электрической машине, а другой — к разрядному проводу, — то при вращении машины жидкость по всей своей массе приходит в бурное движение и поднимается в то же время на два, три или четыре дюйма вверх по проводу машины; при этом струйки жидкости отрываются от провода в воздух.

1596. Если на дне жидкости имеется очень чистая неизолированная ртуть, а провод от машины заканчивается шариком или же острием и проходит в то же время через стеклянную трубку, которая простирается и выше и ниже поверхности скипидара, то эти потоки наблюдаются лучше, и можно видеть, как они устремляются вниз по проводу, направляясь прямо от него к ртути, а здесь расходятся во все стороны, чем вызывают сильную рябь на поверхности ртути, и, поднимаясь у стенок сосуда, возвращаются, чтобы снова проделать прежний путь.

1597. Висящая на амальгамированном латунном стержне капля ртути в воздухе сохраняла свою форму почти неизменной (1581); но при погружении в скипидар она сильно заострялась, и случалось даже, что частицы металла отрывались и увлекались потоками диэлектрика. Форма жидкого металла в точности

напоминала форму капли сиропа в воздухе (1584), причем вершина конуса была такая же острая, хотя и не такая длинная. Подноси к капле неизолированное острие, удавалось получить с ней такие же явления, как с каплей сиропа в воздухе (1587), хотя не с такой же легкостью, вследствие плотности и ограниченного количества диэлектрика.

1598. Если ртуть на дне жидкости соединить с электрической машиной, а в руке держать стержень, оканчивающийся шариком примерно в три четверти дюйма диаметром, и шарик погрузить в наэлектризованную жидкость, то последуют весьма поразительные явления. Если шарик поднять назад так, чтобы

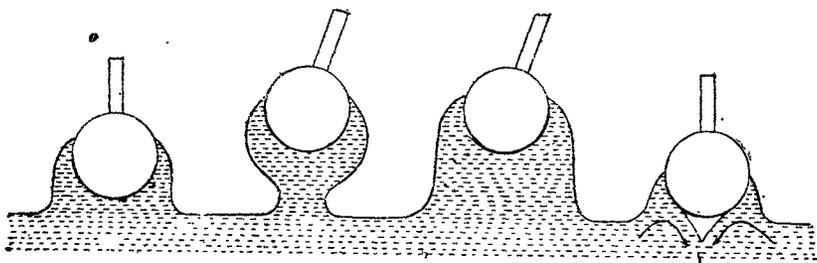


Рис. 143.

Рис. 144.

Рис. 145.

Рис. 146.

он оказался у поверхности, почти над уровнем жидкости, то картина такова, как будто к шару пристало большое количество жидкости (рис. 143). Если шарик приподнять выше, то он попрежнему окажется соединенным жидким столбиком с скипидаром в сосуде внизу (рис. 144). Если заставить машину действовать сильнее, то столбик становится толще, а затем может быть поднят и выше, приобретая форму, изображенную на рис. 145; все время, пока длятся эти явления, в поднятом столбике жидкости можно наблюдать прямые и обратные потоки, проходящие иногда очень близко друг к другу.

1599. В опытах, подобных этим, очень трудно на-глаз определить направление потоков. Если вводить обрывки шелка, то они пристаю к проводникам, но при пользовании капельками воды

или ртути можно, повидимому, хорошо проследить путь жидкого диэлектрика. Так, если на конце стержня над неизолированной ртутью поместить каплю воды (1571), то она вскоре уносится в виде частиц, устремляющихся вниз к ртути. Если на ртуть под концом стержня поместить вторую каплю, то она быстро разбрасывается во всех направлениях в форме струек; при этом силами притяжения она растягивается на удлиненные площадки, а потоки их уносят прочь. Если с шарика, который служил для поднятия столбика жидкости (1598), свешивается капля ртути, то форма капли, повидимому, указывает на потоки, проходящие в жидкости в направлении, показанном стрелками (рис. 146).

1600. Весьма замечательное действие на эти явления связано с положительным и отрицательным зарядом и разрядом; а именно, шар, заряженный положительно, поднимает значительно более высокий и толстый столбик скипидара, чем при отрицательном заряде. Не может быть сомнения, что это явление связано с упомянутым выше (1480, 1525) различием положительного и отрицательного действий, и в значительной мере подкрепляет представление, что такое различие следует отнести скорее за счет частиц диэлектрика, чем за счет заряженных проводников, и что оно обусловлено тем, каким образом поляризуются частицы (1503, 1523).

1601. Всякий раз, когда в изолирующих диэлектриках проходят потоки вещества, они по-настоящему производят разряд; и важно заметить, хотя это само собой понятно, что безразлично, в каком направлении перемещается поток или частицы, поскольку при перемене направления их состояние меняется на противоположное. Это изменение легко произвести как в воздухе, так и в скипидаре между двумя поставленными друг против друга стержнями, ибо приближением изолированного шарика к концу одного из стержней можно направить к нему поток с противоположного конца.

1602. Часто оба потока возникают одновременно, например, когда оба конца дают кистевые разряды, а часто и тогда, когда

наблюдается свечение (1531). В таких случаях заряженные частицы — по крайней мере многие из них — встречаются и разряжаются друг друга (1548, 1612). Если около конца изолированного стержня в направлении к заряженному главному кондуктору держать дымящуюся восковую свечу, то очень часто образуются два потока, которые делаются видимыми благодаря дыму свечи: один поток тянется в виде тонкой нити частиц дыма прямо к заряженному кондуктору, а другой так же прямо от того же фитиля свечи в сторону и от кондуктора; и здесь играют роль принципы индуцирующего действия и заряда, о которых говорилось при рассмотрении связи между шариком-переносчиком и проводником (1566).

1603. Общее сходство и, можно, я думаю, сказать, тождество действия в отношении изоляции и проводимости (1338, 1561), существование которого было обнаружено при сравнении тел, являющихся лучшими и худшими представителями класса изоляторов и проводников, привело меня к убеждению, что явления *конвекции*, имеющие место в плохо проводящих веществах, имеют себе подобие и у лучших проводников, даже таких, как металлы. При ближайшем рассмотрении конусы, полученные Дэви¹ в жидких металлах, как ртуть и олово, повидимому, представляли такие случаи, а возможно, что также и описанное Ампером (1113)² удлинение металлической среды, через которую проходит ток электричества; в самом деле, нетрудно представить себе, что уменьшение конвекционного действия вследствие высокой проводимости имевшейся в этих опытах металлической среды могло быть полностью компенсировано огромным количеством проходящего электричества. Действительно, совершенно необходимо ожидать *некоторого*, может быть заметного, а может быть незаметного, действия рассматриваемого рода, когда такой ток проходит через жидкость, представляющую заметное сопротивление

¹ Philosophical Transactions, 1823, стр. 155.

² Bibliothèque Universelle, XXI, стр. 47.

прохождению электричества, чем она свидетельствует о наличии некоторой доли изолирующей способности (1328).

1604. Я имел в виду связать конвекционные потоки в воздухе, скипидаре и т. п. с током в металлах с помощью промежуточных случаев, но нашел, что сделать это не легко. Если, например, взять вещества, которые, подобно воде, кислотам, растворам, плавленным солям или хлоридам обладают промежуточными проводимостями, то незначительное количество электричества, которое в состоянии давать обыкновенная [электрическая] машина (371, 861), расходуется мгновенно, так что причина явления лежит либо в очень низком напряжении, либо в том, что промежуток времени, в течение которого происходит действие, настолько ничтожен, что нет надежды наблюдать искомый результат. Если воспользоваться для опыта гальванической батареей, то поскольку все эти вещества являются электролитами, выделение газа и другие получаемые при этом изменения мешают образованию требуемых явлений и не дают возможности их наблюдать.

1605. Тем не менее, имеется несколько опытов, которые обнаруживают эту связь. Две платиновые проволоки, образовавшие электроды мощной гальванической батареи, были расположены рядом, близко друг к другу, в герметически закрытой толстой стеклянной трубке, в дистиллированной воде, в которой имелось несколько мелких растительных волокон. Когда вследствие выделения газа и проистекающего отсюда повышения давления образовавшиеся на электродах пузырьки были настолько малы, что производили лишь слабо восходящие потоки, можно было наблюдать, как имеющиеся нити притягивались и отгалкивались в пространстве между двумя проводами, как будто бы они находились между двумя противоположно заряженными поверхностями в воздухе или скипидаре; они двигались настолько быстро, что смещали и разрушали пузырьки и потоки, образуемые пузырьками. Теперь, я полагаю, не может быть сомнений в том, что при подобных же условиях, но при обильном притоке электричества и достаточно высоком напря-

жении могут образоваться конвекционные токи; действительно, притяжение и отталкивание нитей представляли собой элементы таких потоков (1572), а, следовательно, вода, хотя она как проводник почти беспредельно превосходит воздух или скипидар, является средой, в которой такие потоки могут иметь место.

1606. Я изготовил прибор (рис. 147), в котором *a* представляет собой шеллаковую пластину, *b* — проходящую через нее тонкую платиновую проволочку; наружу проволока выступает только своим сечением; *c* — колечко промокательной бумаги, лежащее на шеллаке; *d* — дистиллированная вода, удерживаемая бумагой на месте в количестве, как раз достаточном для того, чтобы покрыть конец проволочки *b*. Вторая проволочка *e* касалась кусочка станиоля, находящегося в воде, а также была соединена с разрядным проводом; таким путем, заряжая проволочку *b* либо положительно, либо отрицательно, легко было от конца ее пропускать ток электричества в жидкость, а также и уводить его через проволочку *e*.

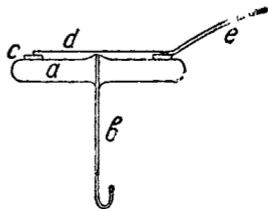


Рис. 147.

1607. При соединении *b* с кондуктором мощной электрической машины во время работы последней не удавалось заметить ни малейшего нарушения уровня жидкости над концом проволоки; но в то же самое время разряд был настолько полон, что не наблюдалось ни малейших признаков электрического заряда вокруг кондуктора или машины. Отсюда я делаю заключение, что количество электричества, проходившее за *данный промежуток времени*, было слишком мало по сравнению с проводимостью жидкости, чтобы произвести желаемое действие.

1608. Затем я заряжал большую лейденскую батарею (291) и разряжал ее через проволочку *b*, включая, однако, в цепь влажный шнур в два фута длиной, чтобы предупредить образование искры в воде и превратить разряд, который иначе был бы внезапным и сильным, в разряд более умеренного характера,

продолжающийся в течение заметного промежутка времени (334). Теперь я получил над концом проволоочки очень незначительный подъем воды; правда, в то же время в этом месте образовалось небольшое количество мелких пузырьков газа, вследствие чего я не мог утверждать с уверенностью, что это явление было то самое, что и явление, полученное Дэви в металлах; тем не менее, поскольку я могу судить, оно имело отчасти и, я полагаю, в главной своей части именно этот характер.

1609. Для опытов подобного же рода с электролитами я пользовался гальванической батареей, состоящей из 100 пар четырехдюймовых пластин. В этих случаях шеллак имел форму чашечки, а проволочка *b* имела 0,2 дюйма в диаметре. Иногда я пользовался положительно заряженным амальгамированным цинком в соприкосновении с разбавленной серной кислотой; в других случаях — отрицательно заряженным медным проводом в растворе сульфата меди; однако вследствие выделения газа, осаждения меди и т. д. мне не удавалось получить определенных результатов. Следует заметить, что когда я, желая повторить опыты Дэви, брал ртуть, то батарея из 100 пар пластин оказывалась недостаточной для того, чтобы произвести подъем жидкости.¹

1610. Таким образом можно считать, что последними опытами (1609) не удалось дать ожидаемое доказательство, но я питаю сильное доверие к предыдущим (1605, 1608) и к связанным с ними соображениям (1603). Если я их правильно понял, и если позволительно сравнивать потоки около острий и поверхностей в таких крайне различных телах, как воздух и металлы, и допустить, что они представляют собой явления *одного и того же рода*, отличающиеся лишь количественно в отношении изолирующей способности или проводимости служащего для опыта

¹ Кажется, что для опытов в Королевском институте сэра Г. Дэви брал 500 или 600 пар пластин. Опыты в Лондонском институте производились с установкой г. Пиписа (Pepys), представляющей собой одну пару пластин огромных размеров; эта установка описана в *Philosophical Transactions*, 1823, стр. 187.

диэлектрика, то какой же веский довод мы получаем опять в пользу теории, которая и с точки зрения явлений изоляции и проводимости, и с точки зрения этих явлений связывает воедино такие видимо несходные вещества (1336, 1561)! И с какой, повидимому, полнотой то общее представление, которое приписывает все эти явления непосредственному действию молекул вещества, охватывает разнообразные разобщенные явления по мере того, как они одно за другим подвергаются исследованию!

1611. Связь этого явления конвекции, или переноса, которое обусловлено некоторой степенью изолирующего действия, с проводимостью, т. е. существование одновременно обоих в столь многочисленных веществах, как, например, упомянутые выше металлы, вода, воздух и т. п., привела бы ко многим весьма любопытным теоретическим обобщениям, от которых я должен здесь воздержаться. Но об одном положении я все же позволю себе упомянуть. По существу проводимость представляется действием смежных частиц, и только что изложенные соображения, наряду с другими, формулированными ранее (1326, 1336 и т. д.), приводят к заключению, что все тела — воздух в той же мере как металлы, — проводят электричество путем одного и того же процесса; единственное различие заключается в той необходимой степени силы или напряжения между частицами, которая должна существовать для того, чтобы наступил процесс проводимости или переноса от частицы к частице.

1612. Но тогда возникает вопрос: в чем же заключается то ограничительное условие, которое как бы отделяет друг от друга проводимость и изолирующее действие? Может быть, оно состоит в различии между двумя смежными частицами или смежными полюсами этих частиц, или в природе и величине положительной и отрицательной сил, так что передача или разряд не возникает, пока это различие не возрастет до определенной степени, различной для различных тел, но всегда одинаковой для одного и того же вещества? Или же справедливо, что, как бы ни была мала

разница между двумя такими частицами, по истечении достаточного времени силы уравниваются даже при частицах таких веществ, как воздух, сера или шеллак? В первом случае изолирующая способность каждого данного тела была бы пропорциональна степени необходимой разности сил, которую мы должны здесь принять; во втором — *времени*, необходимому для того, чтобы уравновесить равные степени этого различия в разных телах. Что касается газообразных тел, то, пожалуй, можно бы ожидать постоянного различия в силе; но во всех других веществах времени, повидимому, вполне достаточно, чтобы в конце концов обеспечить полную проводимость. Различие в способах, которыми может поддерживаться изолирующее действие или осуществляться проводимость, не является просто воображаемым, а представляет собой очень важный пункт, так как оно существенно связано с молекулярной теорией индукции и с тем способом, которым частицы вещества приходят в поляризованное состояние и его удерживают.

ГЛАВА XI

Отношение пустоты к электрическим явлениям

1613. Было бы странно, если бы в теории, приписывающей все влияния изоляции и проводимости, т. е. все электрические явления, действию смежных частиц, не упоминалось о теоретически возможном случае *пустоты*. Допуская, что пустоту создать можно, было бы в самом деле весьма любопытно узнать, каково было бы ее отношение к электрическим явлениям, а поскольку шеллак и металл друг другу прямо противоположны, то не является ли пустота противоположной им обоим, не допуская через себя ни индукции, ни проводимости? Г-н Морган (Morgan)¹ говорил, что пустота не проводит. Сэр Г. Дэви вывел из своих исследований заключение, что пустота, настолько совершенная, какая только может быть получена,²

¹ Philosophical Transactions, 1785, стр. 272.

² Philosophical Transactions, 1822, стр. 64.

проводит [электричество], но он не думает, чтобы пустота, которую он получал, являлась абсолютной. Мне кажется, что в таких опытах я наблюдал светящийся разряд преимущественно на внутренней поверхности стекла; повидимому, вполне возможно, что если пустота не проводит, то все же действие это может поддерживать смежная с ней поверхность стекла.

1614. Одно время, когда я думал, что индуктивная сила действует по прямым линиям, я надеялся выяснить этот важный вопрос, производя опыты над индукцией с металлическими зеркалами (я пользовался ими только как проводящими сосудами), направленными на очень ясное ночное небо; их вогнутость была такова, что из самого низа вогнутой части n (рис. 148) не было видно ничего, кроме неба. Когда такие зеркала заряжались, например, путем соединения с лейденской банкой, и исследовались с помощью шарика-переносчика, то в комнате они легко отдавали электричество из самой глубокой части вогнутости; но я рассчитывал обнаружить, что при указанных выше условиях они дадут небольшое количество электричества или совсем не дадут его в том же месте, если бы атмосфера сверху действительно переходила в пустоту. Это мое заключение не оправдалось, ибо я получал там столько же электричества, как и раньше; но когда я открыл, что индукция действует по кривым линиям (1231), то нашел полное и удовлетворительное объяснение этого опыта.

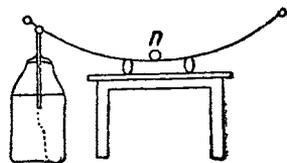


Рис. 148.

1615. Моя теория, поскольку я рискую ее высказать, не претендует на то, чтобы решить, что вытекает из факта пустоты. В настоящее время она еще недостаточно оформлена; не проделано прямых опытов относительно пространства, лишенного вещества, ни каких-либо других опытов, и потому теория не доведена до той степени точности, при которой бы она могла указать, что происходило бы в случае пустоты. До сих пор я лишь пытался установить то, что, повидимому, подтверждается всеми

фактами, а именно: когда происходят электрические явления, как явления индукции, проводимости, изоляции и разряда, то они обуславливаются и вызываются действием *смежных* частиц вещества, причем как смежная рассматривается частица, расположенная ближе всех других; далее я допускал, что эти частицы поляризованы, что каждая из них обнаруживает обе силы, или что сила в них направлена в обе стороны (1295, 1298), и что они действуют на расстоянии только так, что действуют на *смежные* и промежуточные частицы.

1616. Однако, если допустить, что на пути линий индуктивного действия (1304) появится совершенная пустота, то из моей теории отнюдь не следует, чтобы частицы по обе стороны от такой пустоты не могли действовать друг на друга. Положим, что положительно наэлектризованная частица может находиться в центре пустого пространства диаметром в один дюйм; тогда при настоящих моих взглядах ничто не противоречит тому, что эта частица в пределах половины дюйма будет действовать на все частицы, образующие внутреннюю поверхность ограничивающей сферы, и притом с силой, соответствующей общеизвестному закону квадратов расстояний. Но если предположить, что эта сфера в один дюйм заполнена изолирующим веществом, тогда, согласно моему представлению, наэлектризованная частица не действовала бы непосредственно на частицы, находящиеся на расстоянии от нее, но действовала бы на те, которые находятся непосредственно рядом, используя *всю* свою силу на их поляризацию и создавая в них отрицательную силу, равную по величине своей собственной положительной силе и к ней направленную; а с другой стороны — положительную силу равной величины, направленную наружу и действующую таким же образом на следующий ближайший слой частиц. Так что, в итоге, те частицы на поверхности сферы, радиусом в полдюйма, которые подвергались *непосредственному* действию, когда эта сфера представляла собой пустоту, будут теперь подвергаться *косвенному* действию центральной частицы или источника действия, т. е. они будут поляризованы так же и тем же количеством силы.

РАЗДЕЛ 19

Природа электрического тока

1617. Слово *ток* в обычной речи является настолько выразительным, что, пользуясь им при рассмотрении электрических явлений, мы с трудом можем в достаточной мере отрешиться от этого смысла и избежать связанного с ним предвзятого суждения (283, 511). Я буду применять этот термин в его обычном электрическом смысле, а именно как общее выражение некоторого состояния и соотношения электрических сил, которые предполагаются находящимися в поступательном движении.

1618. Ток создается путем одновременно возбуждения и разряда, и какие бы изменения ни претерпевали эти две основные причины, явление остается одинаковым. Так, возбуждение может происходить различными путями, например, посредством трения, химического действия, влияния тепла, изменения состояния, индукции и т. п., а разряд встречается в виде проводимости, электролиза, разрывного разряда и конвекции; тем не менее, связанный с этими действиями ток, если он возникает, по видимому, во всех случаях одинаков. Это постоянство свойств тока, независимо от тех частных и значительных видоизменений, в которых он наблюдается, весьма замечательно и важно, и его исследование и выяснение обещает дать наиболее прямой и удобный путь к истинному и глубокому пониманию природы электрических сил.

1619. До сих пор я не нашел в явлениях тока ничего противоречащего принятому мною взгляду на природу индукции как на действие смежных частиц. Я старался не поддаваться предубеждениям и искать противоречий, но не обнаружил их ни в разряде путем проводимости, ни в электролитическом, ни в конвекционном, ни в разрывном разряде.

1620. Если рассматривать ток как *причину*, он обнаруживает весьма замечательные и разнообразные действия не только непо-

средственно на своем пути и на вещества, в которых он имеет место, но и в сторону, как в индуктивных и магнитных явлениях.

1621. Электролитическое действие. Одно из непосредственных действий тока состоит в проявлении чисто химической силы, которая в данный момент уже изучена очень обстоятельно. Оказалось, что действие это отличается *постоянством* и *определенностью* для данного количества разрядившейся электрической силы (783 и т. д.) и, далее, что требуемое напряжение связано с интенсивностью химического сродства или подлежащих преодолению сил (904, 906, 911). Здесь ток и его следствия оказываются друг другу пропорциональными; одним можно воспользоваться для определения другого; ни малейшей части действия того или другого не теряется и не приобретает, так что этот случай отличается полной точностью, и именно он наиболее отчетливо поясняет учение о том, что индукция представляет собой действие смежных частиц (1164, 1343).

1622. Процесс электролитического разряда представляется мне чрезвычайно сходным, а может быть, и тождественным по своей природе с другим процессом разряда, который на первый взгляд кажется весьма от него отличным, а именно с *конвекцией* (1347, 1572). В последнем случае частицы могут перемещаться по комнате на протяжении нескольких ярдов; они могут производить в воздухе сильный электрический ветер, способный привести в движение механические приспособления, а в жидкостях, например в скипидаре, могут даже трясти руку и уносить тяжелые металлические тела.¹ И тем не менее я не вижу, чтобы эта сила отличалась чем-либо — характером или действием — от той, под действием которой частица водорода покидает одну частицу кислорода, чтобы идти к другой, или в результате которой

¹ Если изолировать и наэлектризовать металлический сосуд высотой в три или четыре дюйма, содержащий скипидар, и погрузить в жидкость шарик (диаметром в один дюйм или более), укрепленный на одном конце стержня, а другой конец держать в руке, то экспериментатор без труда убедится в существовании механической силы, возникающей при перемещении шарика к стенкам сосуда и обратно,

частица кислорода перемещается в противоположном направлении.

1623. Движущиеся частицы воздуха могут вызывать химические изменения точно так же, как и соприкосновение с неподвижным платиновым электродом или со вступающим в соединение электродом или с ионами разлагающегося электролита (453, 471); и мне кажется, что в описанном ранее опыте, в котором один и тот же ток приводит в действие восемь мест разложения (469), и где единственным электрическим средством соединения этих участков тока служили движущиеся заряженные частицы воздуха, действие частиц электролита и воздуха было по существу одно и то же. Частица воздуха заряжалась положительно; она перемещалась в некотором определенном направлении и при встрече с электролитом сообщала ему свои силы; соответственно другая частица (водород) приобретала равное количество положительной силы и с этим зарядом перемещалась, как и первая, и в том же самом направлении до тех пор, пока не встречала другой частицы, которой передавала свою силу и движение, превращая эту частицу в действующую. Поэтому, хотя частица воздуха перемещается на измеримое, а иногда и очень большое расстояние, частица же электролита — на чрезвычайно малое; хотя частица воздуха может представлять собой кислород, азот или водород и берет свой заряд от силы высокого напряжения, в то время как электролитическая частица водорода в электролите обладает естественной склонностью с чрезвычайной легкостью приходить в положительное состояние; хотя частица воздуха заряжена весьма незначительным количеством электричества при очень высоком напряжении, в результате какого-то одного процесса, а частица водорода заряжена большим количеством электричества при очень низком напряжении в результате другого процесса, но в отношении окончательного разрядного действия частиц эти различия являются лишь количественными, а не качественными; это не те различия по существу, которые делают явления несходными, но такие различия, которые придают одинаковым по своей при-

роде вещам то большое разнообразие, которое дает им возможность выполнять свое назначение в системе вселенной.

1624. Таким образом, когда наэлектризовавшаяся у отрицательного острия частица воздуха или содержащейся в нем пыли движется под влиянием индуктивных сил (1572) к ближайшей положительной поверхности и, разрядившись, удаляется от нее, мне представляется, что она в точности соответствует той частице кислорода, которая, зарядившись в электролите отрицательно, попадает под действие такого же расположения индуктивных сил, подойдя к положительному платиновому электроду, разряжается около него и затем удаляется, как это делала перед ней частица воздуха или пыли.

1625. Другим непосредственным действием *тока* на вещества, в которых он имеет место, является *нагревание*; с точки зрения соотношений электрических и тепловых сил представляется весьма важным знать, является ли последнее всегда определенным по величине.¹ Даже среди тел, проводящих ток без изменения, имеется множество таких, которые в настоящее время несовместимы с указанным предположением,² но имеется также множество таких, которые указывают, что, при надлежащих оговорках, создаваемое тепло является определенным. Гаррис показал это для тока данной длины в металлическом проводе, делая опыты с обыкновенным электричеством,³ а де ля Рив доказал то же положение для случая гальванического электричества, остроумно применив для этого термометр Бреге (Breguet).⁴

1626. Когда образование тепла наблюдается в разлагающихся электролитах, то результаты получаются еще более слож-

¹ См. исследования де ля Рива, Bibliothèque Universelle, 1829, LX, стр. 40.

² Среди других: Дэви, Philosophical Transactions, 1821, стр. 438; важные выводы Пельтье (Pelletier:), Annales de Chimie, 1834, LVI, стр. 371; и не нагревающий ток Беккереля, Bibliothèque Universelle, 1835, LX, стр. 218.

³ Philosophical Transactions, 1824, стр. 225, 228.

⁴ Annales de Chimie, 1836, LXII, стр. 177.

ными. Но в исследовании этой стороны вопроса важные шаги сделаны де ля Ривом ¹ и др., и более чем вероятно, что при правильных ограничениях здесь будут получены также постоянные и определенные результаты.

1627. Одним из важнейших свойств тока, и притом существенно связанным с самой его природой, является то, что он всегда одинаков. Повсюду в нем имеются обе силы. Никогда не бывает одного тока силы или одной жидкости. В смысле присутствия в них обеих сил все участки тока можно считать совершенно одинаковыми, и многочисленные опыты, исходящие из возможности их разделения, так же как и вошедшие в обиход теоретические выражения, которые это предполагают, находятся, как я полагаю, в противоречии с фактами (511 и т. д.). Мне кажется, что предположить существование тока одной положительной или одной отрицательной силы или тока обеих с преобладанием одной над другой так же невозможно, как сообщить материи абсолютный заряд (516, 1169, 1177).

1628. Установить эту истину, если, как я полагаю, она таковой является, или же, наоборот, опровергнуть ее — дело чрезвычайной важности. Если бы для начала удалось установить, что центры обеих сил или элементов силы ни коим образом не могут быть отделены на ощутимое расстояние и, во всяком случае, не дальше, чем на расстояние между двумя смежными частицами (1615), или если бы удалось доказать противное, то насколько яснее стал бы наш взгляд на все лежащее перед нами и насколько облегчился бы путь, по которому мы должны идти для ее разрешения, по сравнению с тем, что будет, если мы будем оставаться в неопределенном положении между двумя мнениями! И если, зная это, мы станем строго проверять каждый относящийся к данному вопросу опыт, поскольку нам это позволит

¹ Bibliothèque Universelle, 1829, XL, стр. 49 и Ритчи, Philosophical Transactions, 1832, стр. 296.

наши предвзятые мнения (1161), и не будем слишком легко проходить мимо, отделяваясь теоретическими терминами, то не скорее ли мы в таком случае добьемся настоящей истины, чтобы отсюда с уверенностью проследовать к тому, что в настоящее время неизвестно?

1629. Я говорю это, надеюсь, не для того, чтобы высказать частное мнение, а чтобы обратить внимание тех, кто в состоянии исследовать этот вопрос и судить о нем, на то, что должно быть поворотным пунктом в учении об электричестве, на разветвление пути на два, из которых правильным может быть только один; я надеюсь, что мне будет разрешено углубиться несколько больше в те факты, которые привели меня к изложенному сейчас взгляду.

1630. Когда провод гальванической цепи нагревается, то нередко на одном из концов температура возрастает раньше или особенно сильно. Если бы это явление было связано каким-либо образом с положительным или отрицательным направлениями тока, то оно являлось бы чрезвычайно важным. Я поэтому исследовал несколько таких случаев; однако, когда я менял направление тока, сохраняя контакты провода и его положение в отношении соседних предметов, то я нашел, что явление оставалось неизменным, что указывает на его зависимость не от направления тока, а от других условий. Таким образом, здесь нет указаний на различие между отдельными частями цепи.

1631. То же положение, т. е. однородность во всех местах тока, может быть иллюстрировано его, можно сказать, неистощимостью при произведении им некоторых отдельных действий, ибо эти действия обусловлены только переносом электричества и не расходуют силы. Так, например, ток, нагревающий один дюйм платиновой проволоки, нагревает и сто дюймов ее (853, примечание). Если поддерживать ток в неизменном состоянии, то он будет разлагать жидкость как в одном вольтметре, так и еще в двенадцати других, если они включены в цепь, и в каждом из них в таком же количестве, как в первоначальном.

1632. Далее, в случае разрывного разряда, как, например, в искре, часто наблюдается темный участок (1422), который был

назван проф. Джонсоном нейтральной точкой,¹ что привело к введению в пользование выражений, предполагающих, что там имеется два рода электричества, существующих раздельно, и что они, подходя к этому месту, здесь соединяются и друг друга нейтрализуют.² Но если понимать эти выражения так, что между положительным шариком и этим местом действительно движется одно положительное электричество, а отрицательное — только между отрицательным шариком и этим местом, то в каких странных условиях должны находиться эти участки, — в условиях, которые, по моему мнению, во всех отношениях резко отличаются от имеющих место в действительности! В таком случае одна часть тока состояла бы только из положительного электричества, притом движущегося в одном направлении, другая — из одного отрицательного электричества, движущегося в обратном направлении, а третья часть представляла бы собой скопление обоих электричеств, не движущихся ни в том ни в другом направлении, а смешивающихся между собой и находящихся друг с другом в отношении, совершенно не похожем ни на какое отношение, которое можно было бы предположить существующим в двух первых участках разряда. Это представляется мне неестественным. Какую бы форму разряда ток ни принял, какую бы часть цепи или тока мы ни имели в виду, сколько положительной силы действует в ней в одном направлении, столько же отрицательной силы действует в ней в другом. Если бы это было не так, то мы должны были бы иметь тела, наэлектризованные не просто положительно и отрицательно, но, подчас, весьма необыкновенным образом, и одно тело по сравнению с другим было бы заряжено пяти-, десяти- или двадцатикратным количеством одинаково как положительного, так и отрицательного электричества. В настоящее время, однако, не известно ни одного факта, указывающего на такое состояние.

1635. Утверждение, что ток везде одинаков, должно быть в самом деле справедливо (1627) даже в случаях конвекции или

¹ Silliman's Journal, 1834, XXV, стр. 57.

² Thomson, On Heat and Electricity, стр. 471.

переносного разряда, ибо в противном случае как могли бы иметь место описанные выше результаты? Когда разряд между кусками бумаги, смоченной иодидом калия или сульфатом натра (465, 469), производился потоками воздуха, то происходило разложение; с тех пор я удостоверился, что выделение иода или кислоты оставалось одинаковым, независимо от того, исходил ли от пятна поток положительного воздуха или к нему был направлен поток отрицательно заряженного воздуха, обратные же токи выделяли щелочь. Таким же образом в магнитных опытах (307), независимо от того, как осуществлялся разряд: введением провода или проскакиванием искры или прохождением конвекционных токов в том или ином направлении (в зависимости от электризации частиц), результат получался одинаковый и во всех случаях указывал на действие полного тока.

1634. Следовательно, каждое из сечений тока, если сравнить его с другими сечениями того же самого тока, должно представлять собой постоянное количество, когда проявляемые действия одинаковы, а если они разного рода, то формы, в которых выражаются эти действия, эквивалентны друг другу, и их можно по желанию экспериментально преобразовать одно в другое. Таким образом тождество электрической силы мы должны искать в сечениях, даже в сечениях через искру и токи переноса, а не только в сечениях через провода и электролиты.

1635. Чтобы показать, сколь полезно и важно установить то, что может оказаться истинным принципом, я приведу кое-какие примеры. Учение об униполярности, как оно ранее излагалось и, я полагаю, всеми понималось,¹ очевидно, несовместимо с моим взглядом на ток (1627), а более поздние своеобразные явления полюсов и пламени, описанные Эрманом (Erman) и др.,² обнаруживают

¹ Erman. *Annales de Chimie*, 1807, LXI, стр. 115; *Davy's Elements*, стр. 168; *Biot. Encyclopaedia Britannica*, Suppl. IV, стр. 144; *Becquerel. Traité*, I, стр. 167; de la Rive, *Bibliothèque Universelle*, 1837, VII, стр. 392.

² Erman. *Annales de Chimie*, 1824, XXV, стр. 278; *Becquerel*, там же, XXXVI, стр. 329.

такое же несогласие. Если бы могло существовать униполярное тело, т. е. такое, которое, проводя одно электричество, не проводило бы другого, то каких совершенно новых характерных особенностей мы вправе были бы ожидать от проходящих сквозь него токов одного электричества, и как сильно должны бы они отличаться не только от обыкновенных токов, в которых, по нашему предположению, оба электричества движутся одновременно в противоположных направлениях в равных количествах, но также и друг от друга! Однако Беккерель,¹ Эндриус (Andrews)² и др. этим фактам, которые сами по себе превосходны, постепенно дали более правильное объяснение, и мне стало известно, что проф. Омс (Ohms)³ довел эту работу до конца в своем детальном исследовании всех этих явлений; он показал, что такие же явления могут иметь место в случае хороших проводников, и затем доказывает, что в мыле и т. п. многие из этих явлений обусловлены просто веществами, выделяющимися путем электролитического действия.

1636. Я прихожу отсюда к заключению, что *факты*, послужившие основой для учения об униполярности, не противоречат тому свойству единства и неделимости, которое я приписываю току, а равно не противоречат ему и явления в самом элементе, — их по справедливости можно сравнивать с явлениями в униполярных телах. По всей вероятности, явления, носящие

¹ Becquerel. Annales de Chimie, 1831, XLVI, стр. 283.

² Andrews. Philosophical Magazine, 1836, IX, стр. 182.

³ Schweigger's Jahrbuch der Chemie и т. д., 1830. Вследствие незнания немецкого языка, мне, к величайшему моему сожалению, недоступны многие весьма ценные статьи по экспериментальным исследованиям по электричеству, опубликованные на этом языке, и я не в состоянии отдать им должное. Я пользуюсь представившимся случаем, чтобы указать на другое обстоятельство, которое доставляет мне много неприятностей, и из-за которого, как я убедился на опыте, я могу показаться невнимательным к трудам других: оно заключается в постепенной потере памяти в течение последних нескольких лет; теперь не раз, читая статью, я припоминаю, что видел ее ранее, и был бы рад, если бы в надлежащий момент о ней вспомнил, чтобы сослаться на нее в своем докладе. М. Ф.

название явлений униполярности, и те своеобразные различия, которые обнаруживают положительная и отрицательная поверхности при разряде в воздух, газы или другие упомянутые выше диэлектрики (1480, 1525), находятся в тесной связи друг с другом.¹

1637. Недавно г. де ля Рив описал своеобразное и замечательное действие тепла на ток, проходящий в жидкости между электродами.² Оно заключается в том, что если платиновые электроды погружены в подкисленную воду, то нагревание или охлаждение положительного электрода не вызывает никакого изменения в проходящем токе; наоборот, нагревание отрицательного электрода увеличивало вызываемое током отклонение гальванометра от 12 до 30° и даже до 45°, а охлаждение его в такой же мере уменьшало ток.

1638. Что один электрод таким поразительным образом относится к теплу, тогда как другой остается абсолютно безразличным, представляется мне столь же несовместимым с самым, как я думаю, существом тока, как и униполярность (1627, 1635), и поэтому я приступил к повторению этого опыта с некоторым беспокоейством. Для электродов я выбрал платину, а в качестве электролита — воду, содержащую примерно одну шестую часть по весу серной кислоты; гальваническая батарея состояла из двух пар амальгамированных цинковых и платиновых пластин в разбавленной серной кислоте, а гальванометр в цепи был взят с двумя стрелками и при замыкании системы давал отклонение в 10 или 12°.

1639. При таких условиях нагревание каждого электрода усиливало ток; нагревание обоих вызывало еще больший эффект. Когда оба электрода были нагреты, при последующем охлаждении каждого из них действие на ток соответственно падало. Доля действия, зависящая от нагревания того или другого электрода,

¹ См. также статьи Гейра в *Silliman's Journal*, 1833, XXIV, стр. 246.

² *Bibliothèque Universelle*, 1837, VII, стр. 388.

менялась, но в общем нагревание отрицательного, поиндному, благоприятствовало прохождению тока несколько больше, чем нагревание положительного. Действие было одинаково, независимо от того, как подводилось тепло: снизу с помощью пламени, сверху с помощью паяльной лампы, или с помощью горячего железа, или угля.

1640. Устранив таким образом со своего пути затруднение во взглядах на ток, я не повел этого любопытного опыта дальше. Возможно, что разница между результатами моими и г. де ля Рива объясняется относительными значениями токов, которыми мы пользовались, ибо я применял только слабый ток, получающийся от двух пар пластин длиной два дюйма и шириной полдюйма каждая, тогда как г. де ля Рив пользовался четырьмя парами пластин с поверхностью в шестнадцать квадратных дюймов.

1641. Время от времени описывались электрические разряды в атмосфере в форме огненных шаров. Такие явления представляются мне несовместимыми со всем тем, что нам известно об электричестве и способах его разряда. Поскольку это явление включает элемент *времени* (1418, 1436), то, пожалуй, и возможно, что электрический разряд действительно переходит с места на место в виде шара; однако все указывает на то, что скорость его должна быть почти бесконечна, а продолжительность чрезвычайно мала, а потому невозможно, чтобы глаз ощущал его иначе, как в виде светлой линии. Я не хочу отрицать, что огненные шары могут появляться в атмосфере, но чтобы они имели что-либо общее с разрядом обыкновенного электричества или были вообще связаны с молнией или атмосферным электричеством, — это более чем сомнительно.

1642. Все эти соображения и многие другие способствуют тому заключению, которое делалось неоднократно, что ток есть вещь неделимая — силовая ось, в каждом месте которой обе

электрические силы¹ присутствуют в равном количестве (517, 1627). Такое представление согласуется с проводимостью, электролизом и даже с искровым разрядом и не входит в противоречие ни с одним из составленных нами ранее мнений, но, поскольку дело касается конвекции, то здесь возникает более поразительный результат, который поэтому следует принять во внимание.

1643. Если два шарика *A* и *B* наэлектризованы противоположным электричеством и влияют друг на друга, то в тот момент, когда они начинают двигаться по направлению друг к другу, возникает ток и те действия, которые мы понимаем под словом ток. Независимо от того, что куда движется: *A* к *B* или *B* в противоположном направлении к *A*, в результате возникает ток, и притом имеющий в обоих случаях *одинаковое направление*. Если *A* и *B* движутся друг от друга, то возникает *ток* противоположного направления или эквивалентные действия.

1644. С другой стороны, поскольку заряд существует только благодаря индукции (1178, 1299) и поскольку наэлектризованное тело неизбежно связано с другими телами, находящимися в противоположном состоянии, то если шарик посередине комнаты зарядить положительно и затем двигать в некотором направлении, то возникают такие явления, как если бы (чтобы употребить общепринятое выражение) существовал ток того же самого направления; а если зарядить шарик отрицательно, а затем перемещать, то возникают такие явления, как если бы образовался ток в направлении, обратном направлению движения.

1645. Я говорю здесь об одной или двух частицах то же самое, что я раньше говорил о многих (1633). Если предыдущее представление о токах справедливо, то только что сказанное должно быть его неизбежным следствием. И хотя такое утверждение может сначала показаться странным, но следует учесть, что, согласно моей теории индукции, заряженный проводник или части-

¹ Я рад случаю упомянуть здесь о результатах, полученных г. Кристи с магнито-электричеством (Philosophical Transactions, 1833, стр. 113, примечание). Что касается тока в проводе, то эти результаты подтверждают все то, что я защищаю.

ца связаны с удаленным от него проводником, находящимся в противоположном состоянии, или с тем, который ограничивает распространение индукции при посредстве всех промежуточных частиц (1165, 1295); последние становятся поляризованными точно так же, как поляризуются частицы твердого электролита, находящегося между двумя электродами. А поэтому заключение, что единство и тождество тока в случае конвекции таковы же, как в предыдущих случаях, не так уже странно, как могло бы на первый взгляд показаться.

1646. Имеется одно весьма замечательное явление или действие электролитического разряда, впервые отмеченное, кажется, г. Порреттом (Porrett); оно заключается в накоплении, под разлагающим действием тока, жидкости по одну сторону промежуточной диафрагмы.¹ Это результат механический, и поскольку во всех известных случаях жидкость проходит от положительного электрода к отрицательному, то результат этот, повидимому, указывает на связь с поляризованным состоянием того диэлектрика, в котором проходит ток (1164, 1525). До сих пор это явление не было в достаточной степени изучено экспериментально: так, по словам де ля Рива,² требуется, чтобы вода была плохим проводником, как, например, дистиллированная, а в крепких растворах явление не происходит; наоборот, Дютроше (Dutrochet) утверждает³ противоположное и говорит, что это явление обусловлено не прямым действием электрического тока.

1647. В своем «Трактате об электричестве» Беккерель сопоставил соображения за и против того мнения, что это действие является преимущественно электрическим.⁴ Хотя в настоящий момент я лишен возможности привести убедительные факты,

¹ Annals of Philosophy, 1816, VIII, стр. 75.

² Annales de Chimie, 1835, XXVIII, стр. 196.

³ Annales de Chimie, 1832, XLIX, стр. 423.

⁴ Traité de l'Electricité, IV, стр. 192, 197.

но я не могу не высказать мнение, что это явление аналогично как соединению, так и конвекции (1623), представляя собой случай переноса, обусловленный сродством между диафрагмой и соприкасающейся с ней жидкостью, через совокупность которых осуществляется электрический разряд, и, далее, что уже упомянутое (1482, 1503, 1525) своеобразное отношение, существующее между положительной и отрицательной, между малой и большой поверхностями, может являться непосредственной причиной перемещения жидкости и диафрагмы в противоположных, но определенных направлениях. Г-н Беккерель¹ произвел весьма ценный опыт с частицами глины, который, вероятно, значительно поможет выяснить этот вопрос.

1648. *До тех пор, пока* терминами: *ток и электродинамический* будут пользоваться для выражения тех соотношений электрических сил, при которых принимается существование поступательного движения жидкостей или действий (283), — *до тех пор* с ними будет связываться представление о скорости, и, может быть, это скажется особенно в случае, если будет принята гипотеза об одной или двух жидкостях.

1649. Отсюда возникало желание измерить эту скорость либо непосредственно, либо с помощью какого-либо обусловленного ею действия, и среди правильных попыток этого рода следует, пожалуй, особо отметить опыты д-ра Уатсона (Watson)² в 1748 г. и проф. Уитстона в 1834 г.;³ при более ранних опытах предполагалось, что электричество перемещается от одного конца установки к другому, но в последних исследованиях иногда, повидимому, делалось различие между передачей действия и передачей той воображаемой жидкости, частицы которой вызывают это действие своим движением.

¹ *Traité de l'Electricité*, I, стр. 285.

² *Philosophical Transactions*, 1748.

³ Там же, 1834, стр. 583.

1650. Электролитическое действие имеет тесное отношение к этому вопросу о скорости тока, особенно в связи с теорией одной или двух электрических жидкостей. Здесь, несомненно, имеет место видимая передача силы одновременно с переносом каждой из частичек присутствующего аниона или катиона к соседним частицам катиона или аниона; и поскольку величина силы является определенной, то таким путем мы получаем возможность как бы локализовать силу, отождествляя ее с помощью частиц и оперируя с ней в последовательных порциях, что приводит, я полагаю, к весьма замечательным результатам.

1651. Предположим, например, что под действием гальванической батареи разлагается вода. Каждая частица водорода при своем перемещении в одном направлении или частица кислорода при своем перемещении в другом будут переносить определенное количество электрической силы, связанной с ней в форме химического средства (822, 852, 918), вперед на расстояние, равное тому, на которое переместилась сама частица. Этот перенос сопровождается соответствующим смещением электрических сил через все участки образовавшейся цепи (1627, 1634), и о действии его можно судить, например, по нагреванию проволоки (853) в каждом данном, хотя бы и удаленном сечении провода. Если вода представляет собой куб со стороной в один дюйм, причем электроды соприкасаются с ней каждый поверхностью в один квадратный дюйм и отстоят друг от друга на один дюйм, то можно считать, что за время разложения одной десятой части воды, т. е. 25,25 грана, частицы кислорода и водорода во всей массе воды переместились по отношению друг к другу в противоположных направлениях на расстояние одной десятой дюйма, т. е. что две частицы, бывшие сначала в соединении, окажутся после перемещения на расстоянии одной десятой дюйма друг от друга. Другие возникающие в жидкости движения нисколько не помешают этому результату, ибо не могут ни ускорить, ни замедлить электрический разряд и фактически не имеют к нему никакого отношения.

1652. Количество электричества в 25,25 грана воды, согласно сделанному мною ранее (861) подсчету, больше 24 миллионов

зарядов большой лейденской батареи; другими словами, оно могло бы поддерживать в состоянии красного каления в течение полутора часов платиновую проволоку какой угодно длины диаметром $1/104$ дюйма (853). Хотя этот результат и дан только как некоторое приближение, но до сих пор я не видел оснований менять его, и в общем он подтверждается опытами и выводами г. Пулье (Pouillet).¹ Согласно опытам г. Уитстона, влияние или действия тока через одну секунду стали бы проявляться на расстоянии 576 000 миль.² С этой точки зрения, мы, значит, имеем, с одной стороны, огромное количество силы, равное самому разрушительному грозовому удару, мгновенно появляющееся на расстоянии 576 000 миль от своего источника, а с другой — спокойное действие, при создании которого на перемещение силы на одну десятую дюйма силе потребовалось полтора часа; тем не менее, они эквивалентны друг другу, так как действия, которые они представляют собой, наблюдаются в сечениях одного и того же тока (1634).

1653. Пора обратить внимание на боковые, или поперечные силы *тока*. Важные открытия Эрстеда, Араго, Ампера, Дэви, де ля Рива и др. и та исключительная простота, которую приобрели их установки благодаря теории Ампера, не только способствовали в самой высокой степени чрезвычайно быстрому развитию этой отрасли знания, но и обеспечили ей такое внимание, что нет необходимости настаивать на продолжении этих исследований. Я, конечно, имею в виду магнитное действие и его соотношения; но хотя оно является единственным известным боковым действием тока, есть большие основания предполагать, что существуют и другие, открытие которых послужит наградой за упорные поиски их (951).

1654. Магнитное, или поперечное действие тока, повидимому, совершенно не зависит от тех изменений и способов действия.

¹ Becquerel. Traité de l'Electricité, V, стр. 278.

² Philosophical Transactions, 1834, стр. 589.

которые ток проявляет непосредственно на своем пути; а потому оно является для нас тем более ценным, что дает большее представление об этой силе, чем всякое другое действие, которое могло бы меняться с каждым типом разряда. Независимо от того, как разряд осуществляется: путем проводимости через провод с бесконечной скоростью (1652), путем электролиза с соответствующим присущим последнему чрезвычайно медленным движением (1651) или путем искры, или, возможно, даже с помощью конвекции, — создаваемое им поперечное магнитное действие всегда одинаково по характеру и направлению.

1655. Ряд исследователей показал, что для разряда *одного и того же типа* величина боковой или магнитной силы весьма постоянна (216, 366, 367, 368, 376). Однако, если бы мы пожелали сравнить разряды различного типа, с целью убедиться, будет ли одна и та же величина тока в его *различных формах* создавать одинаковую величину поперечного действия, мы найдем эти данные очень несовершенными. Дэви нашел, что электрический ток, проходящий через водный раствор, влияет на магнитную стрелку,¹ а д-р Ритчи говорит, что ток в электролите столь же магнитен, как ток в металлическом проводе;² он заставил воду вращаться вокруг магнита, как вращался бы несущий ток провод.

1656. Разрывной разряд производит свои магнитные действия: сильная искра, проскакивающая перпендикулярно стальной игле, намагничивает ее так же, как если бы электричество искры шло по металлическим проводам, расположенным по линии разряда; а сэр Г. Дэви показал, что приближение магнитов влияло на разряд гальванической батареи в пустоте и приводило его в движение.³

1657. Итак, три весьма различных типа разряда, а именно: проводимость, электролиз и разрывной разряд, одинаково создают важное поперечное явление магнетизма. Пока еще не установлено, будет ли конвекция или переносный разряд произво-

¹ Philosophical Transactions, 1821, стр. 426.

² Там же, 1832, стр. 294.

³ Philosophical Transactions, 1821, стр. 427.

дить такое же явление, а те несколько опытов, которые я до сих пор успел произвести, не дают мне возможности ответить на вопрос утвердительно.

1658. Теперь я, имея намерение использовать явления тока для проверки справедливости или ошибочности той теории индукции, которую я осмелился выдвинуть, испытываю сильный соблазн позволить себе несколько соображений общего характера относительно бокового действия тока и его возможной связи с поперечным направлением линий обыкновенной индукции (1165, 1304).¹ Я долго искал — и все еще ищу — такого явления или состояния, которое бы представляло собой для статического электричества то же, что магнитная сила представляет для тока электричества (1411). В самом деле, поскольку линии разряда связаны с некоторым поперечным действием, мне представлялось возможным, что и линиям напряжения или индуктивного действия, которые неизбежно предшествуют этому разряду, также должно быть присуще поперечное состояние или действие (951).

1659. Согласно прекрасной теории Ампера, присущую току поперечную силу можно представлять как его притяжение к такому же току или отталкивание от противоположного тока. Не может ли тогда эквивалентная поперечная сила статического электричества быть представлена тем боковым напряжением или отталкиванием, которым, видимо, обладают линии индуктивного действия (1304)? Далее, когда ток или разряд возникает между двумя телами, которые перед тем были связаны друг с другом индуктивно, то линии индуктивной силы ослабевают и исчезают, и поскольку их боковое отталкивание уменьшается, то они стягиваются и, в конце концов, исчезают на линии разряда. Нельзя ли считать это явление тождественным с притяжениями токов одного направления, т. е. не может ли переход статического электричества в ток электричества и переход бокового давления линий индуктивной силы в боковые притяжения линий

¹ Дальнейшие исследования см. в пп. 1709—1736. Дек. 1838 г.

одинаковых разрядов находится в таких же взаимных отношениях и зависимости, и не могут ли они протекать параллельно друг другу?

1660. Явления индукции токов, которые мне посчастливилось открыть несколько лет тому назад (6 и т. д., 1048), может быть, послужат сейчас связующим звеном в этом ряду явлений. Когда ток только образуется, он стремится создать во всем окружающем его веществе ток противоположного направления, и если это вещество обладает проводящими свойствами и находится в подходящих условиях, то такой ток возникает. Наоборот, при прекращении первоначального тока везде вокруг него стремится образоваться ток того же направления, и если проводящее вещество расположено надлежащим образом, он будет в нем возникать.

1661. Поэтому, хотя мы обнаруживаем эти явления только в той части расположенного поблизости вещества, которая обладает проводящими свойствами, тем не менее, возможна гипотеза, что непроводящее вещество также находится в некоторых взаимоотношениях с возмущающей причиной и подвергается ее влиянию, хотя мы этого до сих пор и не обнаружили. Не раз я указывал, что соотношение между проводниками и непроводниками представляет собой не качественную, а лишь количественную противоположность (1334, 1603), а потому как по данному, так и по другим основаниям, вероятно, то, что действует на проводник, будет действовать и на изолятор, производя в нем, может быть, нечто, чему можно дать название электротонического состояния (60, 242, 1114).

1662. Именно уверенность в том, что должна существовать некоторая боковая связь между линиями электрической силы (1114), некоторое до сих пор неизвестное звено в этой цепи явлений, побуждает меня высказать эти мысли. Та же самая уверенность заставила меня произвести многочисленные опыты введения между несущими токи проводами и магнитными полюсами изолирующих диэлектриков с различными индуктивными способностями (1270, 1277) так, чтобы они пересекали линии

магнитной силы. Эти тела, с которыми я делал опыты, были в покое и в движении, но до сих пор мне не удалось обнаружить, чтобы они производили какое-либо влияние; однако я никоим образом не считаю эти опыты достаточно чувствительными и вскоре намереваюсь сделать их в более решающем виде.¹

1663. Я полагаю, что этот предположительный вопрос может быть в настоящий момент поставлен следующим образом: можно ли такими соображениями, какие в общем виде формулированы выше (1658), объяснить поперечные действия электрических токов? Связаны ли два таких тока друг с другом только индуктивным состоянием частиц вещества между ними или они связаны более высоким свойством и состоянием (1654), которое, действуя на расстоянии, а не при посредстве промежуточных частиц, не имеет к ним никакого отношения, подобно силе тяготения?

1664. Если справедливо последнее, то когда электричество действует на вещество и внутри вещества, то его продольное и поперечное действия являются существенно отличными по своей природе, ибо первое, если я не ошибаюсь, зависит от смежных частиц, а последнее — не зависит. Как я говорил ранее, это может быть так, и в настоящее время я склоняюсь к такому взгляду, но я хотел бы наметить соображения, почему и не могло быть иначе, для того чтобы этот вопрос был разобран исчерпывающим образом.

1665. Поперечная сила носит на себе отпечаток полярности. В простейшем виде она проявляется как притяжение или отталкивание, в зависимости от того, как токи направлены: одинаково или различно; в токе и магните она проявляется в виде тангенциальных сил, а в магнитах и на частицах создает полюсы. Но опыты, которые я произвел, убедили меня в том, что полярные силы электричества, как, например, в индукции и электролитическом действии (1298, 1343), обнаруживают действия на расстоянии только через посредство смежных и промежуточных частиц, и я с тех пор думаю, что *все полярные силы* действуют таким же

¹ См. далее пп. 1711—1726. Дек. 1838 г.

образом одинаково во всех случаях; и другие виды явлений, которые можно привести в связь с данным предметом, повидимому, подкрепляют такую мысль. Так, при кристаллизации действие передается от частицы к частице, и таким образом в уксусной кислоте или замерзающей воде меньше чем в секунду образуется кристалл длиною в несколько дюймов или даже в пару футов, но образуется постепенно и путем передачи силы от частицы к частице. И, насколько я только припоминаю, за исключением того действия, которое мы сейчас рассматриваем, невозможно указать случая полярного действия или действия, имеющего свойства полярного, которое не действовало бы при посредстве смежных частиц.¹ Что дело так обстоит, это, очевидно, обусловлено природой полярных сил, ибо одна сила либо находит, либо развивает вблизи себя противоположную силу, а поэтому ей не приходится искать ее на расстоянии.

1666. Однако, оставляя в стороне эти гипотетические представления относительно природы бокового действия и возвращаясь к продольным действиям, я полагаю, что рассмотренные явления и рассуждения, которыми я пользовался в настоящем и в двух предшествующих докладах, склонны подтверждать принятую ранее точку зрения (1164), а именно, что обыкновенное индуктивное действие и обусловленные им явления вызываются действием смежных частиц диэлектрика, находящегося между заряженными поверхностями или местами, которые составляют как бы границы этого явления. Главной отличительной чертой этой теории, ее сильной стороной (если она таковой обладает) является то, что она приписывает диэлектрику существенное и специфическое значение, а не считает, что диэлектрик является чисто случайным обстоятельством или представляет просто пространство, оказывая на рассматриваемые явления не больше влияния, чем самое пространство, им занятое. У меня имеются

¹ Под смежными частицами я понимаю те, которые являются ближайшими друг к другу, а не те, между которыми *нет* пустого пространства. См. п. 1616.

еще некоторые другие связанные с настоящей теорией результаты и взгляды относительно природы электрических сил и возбуждения, и если при дальнейшем изучении они не потеряют, по моему мнению, своей ценности, то я в ближайшее время изложу их в другой серии настоящих исследований по электричеству.

Королевский институт.

14 февраля 1838 г.

ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ СЕРИЯ

Раздел 20. Природа электрической силы или сил. Раздел 21. Связь между электрической и магнитной силами. Раздел 22. Замечание об электрическом возбуждении.

Поступило 21 июня 1838 г. Доложено 21 июня 1838 г.

РАЗДЕЛ 20

Природа электрической силы или сил

1667. Выдвинутая и разъясненная в трех предшествующих сериях экспериментальных исследований теория индукции не делает никаких новых допущений относительно природы электрической силы или сил, а только относительно их распределения. Действия эти могут объясняться либо соединением одной электрической жидкости с частицами вещества, как в теориях Франклина, Эпинуса, Кэвендиша и Моссоти (Mossotti), либо соединением двух электрических жидкостей, как в теории Дюфе (Dufay) и Пуассона, либо чем-нибудь таким, что никак нельзя было бы с полным основанием называть электрической жидкостью; они могут объясняться колебаниями или другими изменениями того вещества, в котором они проявляются. Такие различия в основном представлении о природе этих сил не оказывают влияния на теорию, и хотя она ставит себе целью выяснить, *каким* образом расположены эти силы (по крайней мере в индуктивных явлениях), но, насколько я пока могу судить, ни один опыт, который она дает, нельзя считать доказываю-

щим справедливость которого-нибудь из этих разнообразных взглядов.

1668. Однако столь же, а, может быть, и еще более важно установить, каким образом расположены эти силы, проследить их в их разнообразных отношениях с частицами вещества, определить их основные законы, а также те специфические различия, которые обнаруживаются при этих законах; узнать, сосредоточены ли эти силы в некоторой жидкости или нет. В надежде способствовать такому исследованию, я предложу ряд дальнейших теоретических и опытных соображений относительно условий, в которых, как я полагаю, находятся частицы вещества, когда они обнаруживают индуктивные явления.

1669. Теория предполагает, что все *частицы*, — все равно, какого вещества: изолирующего или проводящего, — как целое представляют собой проводники.

1670. Что, не будучи полярными в своем нормальном состоянии, они могут становиться таковыми под влиянием соседних заряженных частиц, и что состояние полярности развивается мгновенно — точно так же, как в изолированной проводящей *массе*, состоящей из многих частиц.

1671. Что поляризованные частицы находятся в вынужденном состоянии и стремятся возвратиться в свое нормальное, или естественное состояние.

1672. Что, будучи как целое проводниками, они легко могут заряжаться либо *как одно тело*, либо *полярно*.

1673. Что частицы, которые, будучи смежными,¹ находятся, кроме того, на линии индуктивного действия, могут сообщать или передавать одна другой свои полярные силы с *большой или меньшей* легкостью.

1674. Что для частиц, в которых это происходит с меньшей легкостью, требуется, чтобы полярные силы были подняты до более высокой степени, дабы началась такая передача или сообщение сил.

¹ См. примечание к п. 1164. Дек. 1838 г.

1675. Что легкость передачи сил между смежными частицами составляет *проводимость*, а затрудненность — *изоляция*; что проводники и изоляторы представляют собой тела, частицам которых от природы присуща способность передавать соответствующие силы легко или с трудом; что они представляют в этом отношении такие же различия, как в отношении любого другого естественного свойства.

1676. Что обыкновенная индукция является результатом действия материи, заряженной возбужденным или свободным электричеством на изолирующее вещество, и что эти действия стремятся произвести в веществе противоположное состояние равной величины.

1677. Что индукция может произвести это только путем поляризации смежных с веществом частиц, которые выполняют то же по отношению к следующим, а эти, в свою очередь, по отношению к лежащим дальше их, и что таким образом действие распространяется от наэлектризованного тела к ближайшей проводящей массе и там выявляет противоположную силу, сообщая ее этим массам; что в проводящей массе такое сообщение накладывается на поляризацию частиц этого вещества (1675).

1678. Что таким образом индукция может иметь место только через изоляторы или сквозь них; что индукция представляет собой явление изоляции, которая является необходимым следствием состояния частиц и того, каким образом влияние электрических сил переносится или передается через такие изолирующие среды или сквозь них.

1679. Находящиеся под влиянием индукции частицы изолирующего диэлектрика можно сравнить с большим количеством небольших магнитных стрелок или, точнее, небольших изолированных проводников. Предположим, что пространство вокруг заряженного шара заполнено смесью изолирующего диэлектрика, каковы, например, скипидар или воздух, и маленьких шаровидных проводничков, как, например, дробины, и пусть последние находятся друг от друга на небольшом расстоянии, чтобы быть изолированными; тогда по своему состоянию и действию они

в точности напоминали бы то, что я считаю состоянием и действием частиц настоящего изолирующего диэлектрика (1337). Если шар зарядить, то все эти маленькие проводнички станут полярными; если разрядить шар, то все они вернутся в свое нормальное состояние, и снова поляризуются при заряде шара. Состояние, производимое индукцией через такие частицы в находящейся на некотором расстоянии проводящей массе, будет противоположного рода, а по величине в точности равно силе на индуцирующем шаре. Должно существовать рассеяние силы (1224, 1297) в стороны, потому что каждый поляризованный шарик находится в состоянии активного напряжения по отношению ко всем смежным с ним шарикам, точно так же, как один магнит может оказывать действие на две или более магнитные стрелки вблизи себя, а последние, в свою очередь, на еще большее число расположенных дальше. Результатом этого должно быть искривление линий индуктивной силы, если подвергаемое индукции тело в таком смешанном диэлектрике представляет собой неизолированный металлический шар (1219 и т. д.) или массу другой подходящей формы. Такие кривые линии являются следствием принятого мною расположения двух электрических сил, и то, что индуктивная сила может быть направлена по таким кривым линиям, является наиболее веским доказательством существования обеих сил и полярного состояния частиц диэлектрика.

1680. Мне кажется очевидным, что в приведенном примере действие на расстояние может иметь место только в результате действия смежных проводящих частиц. Нет никакого основания для того, чтобы индуцирующее тело поляризовало удаленные проводники или действовало на них и не влияло на те, которые находятся поблизости от него, т. е. на частицы диэлектрика; все факты и опыты с проводящими массами или частицами заметных размеров противоречат такому предположению.

1681. Поразительным свойством электрической силы является ее ограниченность и специфичность, а также то, что обе силы присутствуют всегда в совершенно равных количествах. Эти силы между собой связаны одним из двух путей: либо как при естествен-

ном нормальном состоянии незаряженного изолированного проводника, либо как при заряженном состоянии; последнее представляет собой случай индукции.

1682. Легко устроить опыт с индукцией таким образом, что обе силы, будучи ограничены в своем направлении, не дадут никаких явлений или указаний о себе вне применяемых приборов. Так, если зарядить лейденскую банку, у которой наружная обкладка немного выше внутренней, а затем удалить зарядный шарик и стержень, то такая банка не обнаруживает никаких электрических действий, пока ее внешняя обкладка заземлена. Две силы, которые, как предполагается, сосредоточены в обкладках или смежных с ними частицах диэлектрика, полностью связаны друг с другом индукцией через стекло, и шарик-переносчик (1181), приложенный к банке внутри или снаружи, не покажет никаких следов электричества. Но если банку изолировать, а зарядный шарик и стержень, которые пусть будут в незаряженном состоянии и висят на изолирующем шнуре из белого шелка, возвратит на прежнее место, то часть, выступающая поверх банки, будет давать указания на электричество и заряжать шарик-переносчик; в то же время *внешняя* обкладка банки обнаружит противоположное состояние и будет индуцировать по направлению к внешним окружающим предметам.

1683. Эти явления представляют собой простые следствия теории. Пока заряд внутренней обкладки мог производить индукцию только через стекло по направлению к внешней обкладке, а последняя содержала противоположной силы как раз столько, сколько было эквивалентно этому заряду, вне банки нельзя было обнаружить никакой индукции; когда же внутренняя обкладка была дополнена стержнем и шариком так, что она могла оказывать индуцирующее действие через воздух на внешние предметы, тогда напряжение поляризованных молекул стекла, в силу их стремления вернуться в нормальное состояние, немного падало, и часть заряда, проходящего к поверхности этой новой добавочной части внутреннего проводника, производила индуктивное действие через воздух по направлению к находящимся на не-

котором расстоянии предметам; одновременно часть силы на внешней обкладке, ранее направленная внутрь, теперь оказывалась свободной и, конечно, была вынуждена индуцировать наружу через воздух, производя на этой внешней обкладке то, что иногда называется, хотя, по-моему, весьма неудачно, свободным зарядом. Если небольшую лейденскую банку переделать в прибор, известный под названием электрического фонтана, она прекрасно может иллюстрировать это действие.

1684. Поэтому термины *свободный заряд* и *скрытое электричество* приводят к ошибочным представлениям, если ими желают обозначать какое-либо различие в отношении характера или рода действия. Заряд на изолированном проводнике в середине комнаты находится в таком же отношении к стенам этой комнаты, как заряд на внутренней обкладке лейденской банки и внешней обкладке той же банки. Один является не более *свободным* или *скрытым*, чем другой: и если иногда мы обнаруживаем электричество там, где ранее его присутствие не было очевидным, как, например, на внешней обкладке лейденской банки, когда мы, изолировав ее, касаемся внутренней ее обкладки, то это происходит только потому, что мы более или менее отклоняем индуктивную силу от одного направления к другому, ибо при таких условиях в характер или действие силы не вносится ни малейшего изменения.

1685. Изложив эту общую теоретическую точку зрения, я теперь отмечу отдельные положения, имеющие отношение к природе принимаемой нами электрической полярности частиц изолирующего диэлектрика.

1686. При обыкновенной индукции полярное состояние можно рассматривать как вынужденное, из которого частицы стремятся возвратиться в свое нормальное состояние. Сближением индуцирующего и индуцируемого тел или с помощью других операций это состояние, вероятно, может быть усилено до весьма высокой степени; и явления электролиза, повидимому (861, 1652, 1706).

доказывают, что количество силы, которое может быть таким образом накоплено на отдельной частице, огромно. В дальнейшем мы, может быть, будем в состоянии сравнивать друг с другом корпускулярные силы, как силы тяготения, сцепления, электричество и химическое сродство, и тем или иным путем определять по их действиям их относительные эквиваленты; в настоящее время это невозможно, но, повидимому, нет оснований сомневаться в том, что электрические силы их, которые в то же время являются и химическими (891, 918), окажутся наиболее энергичными.

1687. Я не думаю, что развиваемые поляризацией силы сосредоточены на поверхности каждой частицы в двух отдельных точках или участках, являющихся как бы полюсами некоторой оси; я полагаю, что они распределены на больших участках этой поверхности, как это имеет место на поверхности проводника ощутимых размеров, когда он приведен в полярное состояние. Тем не менее, весьма вероятно, что в этом отношении частицы различных тел могут представлять специфические различия, и что силы, хотя и равны по величине, распределены неодинаково; другие обстоятельства, как форма и свойства, также могут сообщать каждой частице особые полярные соотношения. Может быть, именно существованию различий такого рода следует приписать специфические особенности различных диэлектриков в отношении разряда (1394, 1508). Так, из таблицы в п. 1518 тринадцатой серии можно усмотреть, что кислород и азот представляют странные контрасты, когда в них производится искровой и кистевой разряды; в самом деле, в азоте, когда индуцирующим были маленький отрицательный шарик или большой положительный шар, явления соответствовали тем, которые в кислороде производились, когда индуцирующим был маленький положительный шарик или большой отрицательный шар.

1688. В таких твердых телах, как стекло, шеллак, сера и т. п., частицы, видимо, способны поляризоваться по всем направлениям, ибо опыты, произведенные над массой вещества с целью установить ее индуктивную способность в трех или более направлениях

(1690), не дают указаний на различие в этом отношении. Поскольку же частицы в массе неподвижны, и поскольку направление индукции через них должно меняться с изменением ее относительно этой массы, постоянство действия указывает на то, что частицы могут электрически поляризоваться в любом направлении. Сказанное согласуется с принятым ранее представлением о каждой частице в целом как о проводнике (1669); будучи опытным фактом, явление это способствует подтверждению такого взгляда.

1689. Но хотя частицы могут таким образом поляризоваться в *любом* направлении под влиянием сил, обладающих, вероятно, чрезвычайной энергией (1686), отсюда не следует, чтобы каждая частица не стремилась поляризоваться в одном направлении до более высокой степени или с большей легкостью, чем в другом, или чтобы частицы различного рода не обладали в этом отношении такими же специфическими различиями, какие они обнаруживают в отношении проводимости и других свойств (1296, 1326, 1395). Я усердно искал соотношений такого рода и остановился на кристаллических телах, так как в них все частицы расположены симметрично и лучше всего могут выявить какое-нибудь следствие, зависящее от изменения направления сил по отношению к направлению тех частиц, в которых эти силы развиваются; я производил над ними весьма тщательные опыты. К такому исследованию меня еще более побуждали прекрасные электрические свойства кристаллических тел: турмалина и борацита; я надеялся определить также связь между электрической полярностью и полярностью кристаллизации или даже самого сцепления (1316). Мои опыты не привели ни к какой связи искомого характера. Но так как, по моему мнению, одинаково важно показать, существует или не существует такая связь, я вкратце опишу эти результаты.

1690. Опыт производился следующим образом: латунный шарик диаметром в 0,73 дюйма был приделан на конце горизонтального латунного стержня, а тот, в свою очередь, был укреплен на конце латунного цилиндра; при посредстве последнего

шарик был соединен с большой лейденской батареей (291); для соединения служили одни металлические провода; задача заключалась в том, чтобы поддерживать данный шарик путем его соединения с заряженной батареей в наэлектризованном состоянии, весьма близком к однородному, непрерывно в течение получаса. Этот шарик действовал как индуцирующее тело. Индуцируемым телом был шарик-переносчик крутильного электрометра (1229, 1314), а диэлектриком между ними являлся куб, вырезанный из кристалла таким образом, что две его грани были нормальны



Рис. 149.

к оптической оси, а остальные четыре — параллельны ей. На индуцирующем шарике, в месте, противоположном месту соединения с латунным стержнем, был приклеен небольшой выступающий кусочек шеллака, чтобы предупредить непосредственный контакт между шариком и кристаллическим кубом. Слой шеллака наносился также на ту сторону шарика-переносчика, которая была обращена к кубу и являлась наиболее удаленной от отталкиваемого шарика в электрометре, когда шарик-переносчик туда вводился. Куб был покрыт тонким слоем раствора шеллака в спирту, чтобы предупредить осаждение влаги из воздуха на его поверхности. Он лежал на небольшой плитке из шеллака, укрепленной на верхушке стержня из того же вещества; стержень был достаточно крепок для того, чтобы удержать куб, и, тем не менее, благодаря своей длине достаточно гибок, чтобы пружинить и прижимать куб в надлежащем положении к шеллаку индуцирующего шарика.

1691. Таким образом можно было легко устанавливать индуцируемый шарик всегда на одно и то же расстояние от индуцируемого, заземлять и снова изолировать его на том же месте, а затем, после измерения электрометром силы (1181), возвращать на прежнее место против индуцирующего шарика для вторичного наблюдения. Можно было также, вращая поддерживающую куб стойку, поворачивать к индуцирующему шарiku одну за другой каждую из четырех его граней и таким образом наблюдать силу как в том случае, когда линии индуктивного действия (1304) совпадают с направлением оптической оси кристалла, так и в том, когда они ему перпендикулярны. Обычно для четырех вертикальных граней куба производилось от двадцати до двадцати восьми последовательных наблюдений, а затем вычислялось среднее значение индуктивной силы; последнее сравнивалось с подобными же средними значениями, полученными в другие разы; при этом принимались все предосторожности, чтобы обеспечить точные результаты.

1692. Первым был исследован куб из горного хрусталя; ребро куба было равно 0,7 дюйма. Он давал замечательную и постоянную разницу; среднее не менее чем 197 наблюдений дало для удельной индуктивной способности в направлении, совпадающем с оптической осью куба, величину 100, тогда как для двух перпендикулярных ей направлений получались значения 93,59 и 93,31.

1693. Однако для второго куба из горного хрусталя соответствующие результаты не получались. Ребро его было равно 0,77 дюйма. Среднее из многочисленных опытов дало для удельной индуктивной способности в направлении, совпадающем с оптической осью, величину 100, а для двух других направлений — 98,6 и 99,92.

1694. Лорд Эшли (Ashley), всегда, как я убедился, готовый содействовать науке, помог мне получить для настоящего исследования во временное пользование три шара из горного хрусталя, принадлежащие ее светлости герцогине Сутерлендской. Два из них из-за трещины были непригодны для опытов (1193,

1698). Третий, исключительно совершенный, не дал мне никаких указаний на какое бы то ни было различие индуктивной силы в разных направлениях.

1695. Затем я брал кубы из исландского шпата. Один, диаметром в 0,5 дюйма, дал для направления, совпадающего с осью, число 100, а для двух поперечных направлений — 98,66 и 95,74. Другой, со стороны, равной 0,8 дюйма, давал 100 по оси; для поперечных же направлений получались числа 101,73 и 101,86.

1696. Кроме этих различий, наблюдались и другие, которые я не считаю нужным излагать, так как главное положение не нашло подтверждения. В самом деле, хотя опыты с первым кубом подавали большие надежды, но последующие опыты не позволили придать им общего значения. Результаты с этим кубом не вызывают у меня никакого сомнения, но пока что их нельзя отнести за счет кристаллизации. В кубе имеется несколько слабо окрашенных слоев, параллельных оптической оси, и окрашивающее их вещество могло иметь некоторое влияние; однако в то же время слои почти параллельны поперечному направлению, и если они действительно оказывают какое-либо влияние, то должны также оказывать некоторое действие в этом направлении, чего, однако, не было.

1697. В некоторых из опытов половина или вообще некоторая часть куба обнаруживала превосходство над другой частью; мне не удалось проследить, чтобы оно вызывалось тем или иным зарядом, полученным различными частями. Было установлено, что покрытие кубов лаком устраняет всякое сообщение им заряда, за исключением (в нескольких опытах) невысокой степени отрицательного состояния, которое являлось противоположным состоянию индуцирующего шарика (1564, 1565).

1698. Насколько мне удалось обнаружить, я считаю себя вправе сказать, что изолирующие свойства испытывавшихся кубов были совершенны или, по крайней мере, настолько близки к совершенству, что могли выдерживать сравнение с шеллаком, стеклом и т. п. (1255). Что касается причины этих различий, кроме правильной кристаллической структуры, то их может быть не-

сколько. Так, мельчайшие незаметные для глаза трещины в кристалле могут быть расположены таким образом, что создают заметное электрическое различие (1193). Или же кристаллизация может быть неправильна, или вещество может быть не достаточно чисто, а если мы вспомним, какого незначительного количества вещества достаточно, чтобы сильно повлиять на проводимость воды, то будет вполне правдоподобно, что небольшое количество постороннего вещества, рассеянного по всему кубу или по части его, может произвести явления, достаточные для объяснения всех наблюдавшихся неправильностей действия.

1699. В отношении электрической полярности частиц изолирующего диэлектрика важно установить, что именно играет роль изолированных, проводящих поляризованных участков (1669): самые молекулы данного подвергаемого действию вещества или же их составляющие, т. е. элементарные частицы.

1700. Я пришел к заключению, что поляризуются именно молекулы вещества как целое (1347), и что, как бы ни был сложен состав вещества, все те частицы или атомы, которые химическим средством удерживаются в связи и образуют молекулу результирующего вещества, — все они действуют как одна проводящая масса или частица, когда в веществе, частью которого они являются, производятся индуктивные явления и поляризация.

1701. Такое заключение основано на целом ряде соображений. Так, если мы изучаем изолирующую способность и проводимость элементов, испытываемых в качестве диэлектрика, то мы наталкиваемся на такие, как сера, фосфор, хлор, иод и т. п., частицы которых изолируют, а, следовательно, и поляризуются в высокой степени, тогда как другие, как, например, металлы, почти не проявляют этой способности в заметной степени; их частицы свободно проводят одна к другой. Тем не менее, когда они вступают в соединение, вещества, которые они образуют, не имеют, по видимому, в этом смысле сходства с составляющими их элементами. В самом деле вода, серная кислота и подобные им слож-

ные тела, составленные из изолирующих элементов, проводят сравнительно хорошо, тогда как окись свинца, флинт-стекло, борат свинца и другие металлические соединения, содержащие значительное количество проводящего вещества, чрезвычайно хорошо изолируют. Возьмем для примера окись свинца; я полагаю, что под действием индукции поляризуются вовсе не частицы кислорода и свинца отдельно; явление это обнаруживают молекулы окиси свинца, и при этом все элементы одной частицы результирующего вещества связаны как части одного проводящего индивидуального тела химическим сродством; последнее же представляет собой лишь иное выражение для электрической силы (918).

1702. Вещества, которые являются электролитами, дают еще больше оснований предполагать такое положение вещей. Так, когда между электродами гальванической батареи находятся вода, хлорид олова, иодид свинца и т. п. в твердом состоянии, то их частицы поляризуются, как частицы всякого другого изолирующего диэлектрика (1164); когда же эти вещества переводятся в жидкое состояние, то поляризованные частицы распадаются на две половины; каждая из них, сильно заряженная, перемещается вперед до тех пор, пока не натолкнется на другую частицу в противоположном и равном заряженном состоянии; с этой частицей она соединяется и при этом нейтрализует ее химические, т. е. электрические силы; затем вновь образуются сложные частицы, которые снова могут поляризоваться как целое; они снова распадаются, повторяя тот же самый цикл действий (1347).

1703. Однако, хотя частицы электролита и поляризуются как целое, тем не менее, как это вполне очевидно, совсем не безразлично, как именно частицы поляризуются (1689), потому что при свободном перемещении частиц (380 и т. д.) полярности в конечном итоге распределяются по элементам; эквивалентные этим полярностям и весьма определенные по характеру и величине количества сил как бы отделяются друг от друга и перемещаются вперед вместе с элементарными частицами. И хотя и

не претендую на знание того, что собой представляет атом, и каким образом он связан с электрической силой или наделяен ею, как располагается эта сила при соединении и разложении, тем не менее, я глубоко верю в то, что частицы, находящиеся под индуктивным действием, полярны; я основываю этот взгляд на общих действиях индукции — все равно, обыкновенной или электролитической; эта вера послужит мне, я надеюсь, извинением за несколько гипотетических рассуждений.

1704. При электролизе поляризованные частицы, повидимому, в силу постепенного изменения, происшедшего в химических, т. е. электрических силах их элементов (918), охотнее распадаются, чем разряжают друг друга без распада (1348), ибо если предотвратить их разделение, т. е. их разложение и воссоединение, переводением их в твердое состояние, то электричество, которое они будут изолировать, может быть в сто крат интенсивнее, чем то, которое необходимо для их электролиза (419 и т. д.). Отсюда напряжение, необходимое для непосредственной проводимости в таких телах, повидимому, значительно выше того, которое необходимо для разложения (419, 1164, 1344).

1705. Замечательное прекращение электролитической проводимости при переходе тела в твердое состояние (380, 1358) вполне согласуется с этими представлениями о зависимости этого процесса от полярности, которая присуща всем изолирующим веществам, когда они находятся под действием индукции, хотя в электролитах она и сопровождается такими своеобразными электрохимическими явлениями. Поэтому можно ожидать, что первоначальное действие индукции заключается в том, что она поляризует и располагает частицы воды таким образом, что положительный, или водородный полюс каждой направляется от положительного к отрицательному электроду, а отрицательный, или кислородный полюс каждой частицы располагается в противоположном направлении; и когда кислород и водород в частице воды разделяются, переходя к другим частицам кислорода и водорода и соединяясь с ними, то образовавшиеся новые частицы воды могут принять то положение, которое необходимо для

их успешной электролитической поляризации, не иначе как путем вращения. Переход в твердое состояние, закрепив частицы воды и не позволяя им принять это существенное предварительно положение, предотвращает также их электролиз (413), а таким образом предотвращается и описанный перенос сил (1347, 1703), и вещество ведет себя, как обыкновенный изолирующий диэлектрик (ибо на основании предыдущих опытов (419, 1704) ясно, что напряжение изоляции выше напряжения электролиза); проходящая через него индукция возрастает до более высокой степени, а полярное состояние молекул в целом, хотя и повышается в сильной мере, но все же прочно удерживается.

1706. Когда в жидком электролите происходит разложение, то вряд ли все молекулы в одной и той же плоскости сечения (1634) выделяют и передают наэлектризованные частицы или элементы одновременно. Вероятно, *разрядная сила* этой плоскости накапливается на одной или нескольких частицах, которые, разлагаясь, перемещаясь и воссоединяясь, восстанавливают равновесие сил приблизительно так, как это происходит при искровом разрывном разряде (1406); в самом деле, поскольку те молекулы, которые образовались из частиц, только что передававших силу, должны благодаря своему положению (1705) находиться в менее благоприятных условиях, чем другие, то должны иметься некоторые другие молекулы, находящиеся в особо благоприятных условиях, и они, подаваясь раньше других, на время понижают напряжение и производят разряд.

1707. В прежних исследованиях действия электричества (821 и т. д.) на многих удовлетворительных примерах было показано, что количество переносимой вперед электрической силы определено и пропорционально данному количеству вещества, продвигающемуся в виде аниона или катиона по линии электролитического действия; и имелись все основания полагать, что каждая из частиц взятого вещества связана с определенным количеством электрической силы, составляющим силу ее химического родства; при этом химический и электрохимический

эквиваленты представляют собой одно и то же (836). Было также показано, что за немногими исключениями, а теперь уже, пожалуй, можно сказать: без всяких исключений (1341), только сложные тела, содержащие элементы в отношениях один на один, могут (697) обнаруживать характерные черты и явления электролитов; окиси, хлориды и другие вещества, содержащие более одного эквивалента электроотрицательного элемента, отказываются разлагаться под влиянием электрического тока.

1708. Вероятные причины этих условий и ограничений выясняются из молекулярной теории индукции. Так, когда жидкий диэлектрик, как, например, хлорид олова, состоит из молекул, из которых каждая содержит по одной частице каждого элемента, то, поскольку эти частицы при своем разделении могут передавать в противоположных направлениях эквивалентные противоположные силы, в результате могут произойти как разложение, так и перенос; когда же молекулы, как в бихлориде олова, состоят из одной частицы или атома одного элемента и двух атомов другого, то предполагаемая простота расположения и действия этих частиц нарушается. Конечно, можно представить себе, что когда молекулы бихлорида олова поляризованы как целое действующей через них индукцией, то положительная полярная сила сосредоточивается на одной частице олова, а отрицательная оказывается на двух частицах связанного с ним хлора; можно вообразить, что частицы перемещаются соответственно направо и налево, чтобы соединиться с другими двумя частицами хлора и одной олова, подобно тому, как это происходит в соединениях, в которых один атом одного элемента приходится на один атом другого; но это совсем не так уже очевидно или вероятно. В самом деле, когда частица олова соединяется с двумя частицами хлора, то трудно представить себе, чтобы в получившейся молекуле не существовало некоторой связи между всеми тремя в виде определенного расположения, причем единственная частица металла, по всей вероятности, располагается симметрично относительно двух частиц хлора; легко видеть, что частицы такого рода не могут принять положение, обуславливаемое как их по-

лярностью, так и связью их элементов, которое, видимо, является первой ступенью в процессе электролиза (1345, 1705).

РАЗДЕЛ 21

Связь между электрической и магнитной силами

1709. Я высказывал ранее несколько соображений относительно возможной связи между магнетизмом как поперечной силой тока и расходящейся, или поперечной силой линий индуктивного действия, присущими статическому электричеству (1658 и т. д.).

1710. При дальнейшем рассмотрении этого вопроса мне представлялось чрезвычайно важным, по возможности, установить, как распространяется на расстояние это боковое действие, которое мы называем магнетизмом или, иногда, индукцией электрических токов (26, 1048 и т. д.): посредством действия *промежуточных частиц*, аналогично индукции статического электричества, т. е. посредством разнообразных, обусловленных этой индукцией действий, как проводимость, разряд и т. п., или, наоборот, его влияние на некотором расстоянии совершенно не зависит от таких промежуточных частиц (1662).

1711. Я располагал две магнито-электрические спирали с железными сердечниками одну за другой, но оставлял между ними промежуток в один и три четверти дюйма; в этот промежуток я помещал конец, или полюс, полосового магнита. Очевидно, что при перемещении этого магнитного полюса от одного сердечника к другому в обеих спиралях стремится возникнуть ток: в одной — вследствие ослабления, а в другой — вследствие усиления магнетизма, индуцируемого в соответственном сердечнике мягкого железа. Спирали были соединены друг с другом, а также с гальванометром таким образом, чтобы оба тока совпадали по направлению и отклоняли стрелку прибора соединенными усилиями. Вся установка была весьма эффективна и чувствительна, и достаточно было перемещать магнитный полюс примерно на одну восьмую дюйма

взад и вперед два-три раза с периодом, соответствующим колебаниям стрелки гальванометра, чтобы вызвать значительные отклонения последней; таким образом легко было показать результат усиления влияния магнита на один сердечник и спираль и ослабления его на другой.

1712. Затем, не изменяя расстояния между магнитом и сердечниками, я вводил между ними пластинки различных веществ. Обозначим сердечники через A и B ; между магнитным полюсом и A вводилась пластинка из шеллака — вводилась на промежуток времени, соответствующий качанию стрелки в одну сторону; затем на время, соответствующее обратному качанию, я вынимал пластинку, снова вводил на другой такой же промежуток времени, вынимал еще на один период и так далее, до восьми — девяти раз; однако не наблюдалось ни малейшего действия на стрелку. В другом ряде опытов положение пластинки поочередно менялось, т. е. на один период времени я вводил ее между магнитом и A , вынимал и вводил между магнитом и B на второй промежуток времени, вынимал и возвращал на первоначальное место на третий период, и так далее; но никакого действия на стрелку не было.

1713. В этих опытах я испытывал *шеллак* в пластинках толщиной в 0,9 дюйма, *серу* в виде пластинки толщиной в 0,9 дюйма и *медь* в виде пластинки толщиной в 0,7 дюйма, но без всякого заметного действия, и я прихожу к заключению, что тела, представляющие крайние противоположности в смысле проводимости и изолирующей способности и настолько сильно отличные друг от друга, как металлы, воздух и сера, будучи помещены на линиях их действия, не обнаруживают различия по отношению к магнитным силам, по крайней мере при вышеописанных условиях.

1714. Пластинка из железа или просто небольшой кусок этого металла, вроде шляпки гвоздя, производила совершенно иное действие, ибо в этом случае сейчас же обнаруживалось, насколько чувствителен гальванометр, и насколько совершенна вся установка.

1715. Я расположил приборы так, чтобы прилегающая к краю часть медной пластинки, толщиной в 0,2 дюйма и в десять дюймов диаметром, приходилась между магнитом и сердечником; в этом положении я ее поочередно то быстро вращал, то держал неподвижно в течение периодов времени, соответствующих колебаниям стрелки; однако ни малейшего действия на гальванометр не получалось.

1716. Таким же образом я располагал пластинку из шеллака, толщиной в 0,6 дюйма; она не производила никакого действия — все равно, вращалась она или нет.

1717. Иногда плоскость вращения располагалась нормально к магнитной кривой, в других случаях я ставил ее насколько возможно наклонно; направление вращения в отдельных опытах также менялось, но ни малейшего действия это не производило.

1718. После этого спирали и их железные сердечники заменялись двумя намотанными на картон плоскими спиралями; каждая содержала по сорок два фута медного покрытого шелковой оплеткой провода, без железных сердечников. В остальном установка была та же, что раньше; она была чрезвычайно чувствительна; от весьма слабого перемещения магнита между спиралями получалось значительное колебание стрелки гальванометра.

1719. Введение в промежутки между магнитом и спиралями (1713) пластин из шеллака, серы или меди не производило ни малейшего действия — безразлично, стояли они неподвижно или совершали быстрое вращение (1715). Таким образом здесь не удавалось обнаружить никакого влияния промежуточных частиц (1710).

1720. Затем магнит был вынут и заменен плоской спиралью, сходной с двумя первыми; все три ставились параллельно друг другу. Средняя спираль была установлена таким образом, что через нее можно было по желанию пропускать гальванический ток. Прежний гальванометр был устранен, а на его место был поставлен гальванометр с двумя катушками, причем одна из боковых спиралей была присоединена к одной катушке, а другая — к другой, так что при пропускании гальванического тока через

среднюю спираль индуктивное действие (26) ее на боковые спирали вызывало в них токи, направленные в катушках гальванометра один против другого. Слегка меняя расстояния, эти индуцированные токи можно было в точности уравнивать, и стрелка гальванометра оставалась неподвижной, несмотря на то, что через прибор неоднократно пропускались токи. Я буду обозначать среднюю спираль через *C*, а крайние — через *A* и *B*.

1721. Расстояние между спиралями *C* и *B* оставлялось неизменным; между ними помещалась медная пластина толщиной в 0,7 дюйма и площадью в шесть квадратных дюймов, а затем через спираль *C* пропускался гальванический ток от двадцати пар четырехдюймовых пластин; ток прерывался с таким периодом, чтобы произвести отклонение гальванометра (1712), как только в действии *C* на *A* и *B* появится какая-либо разница. Однако, несмотря на то, что в одном промежутке находился воздух, а в другом медь, индуктивное действие на обе спирали было в точности одинаково, и при том такое, как если бы оба промежутка были заняты воздухом. Таким образом, несмотря на то, что в толстой медной пластине легко мог бы образоваться любой индуцированный ток, центральная спираль *C* на расположенную за пластинкой спираль влияла точно так же, как если бы между ними никакого проводника, вроде меди, не было (65).

1722. Затем медная пластинка была заменена пластинкой из серы, толщиной в 0,9 дюйма; результаты попрежнему получились точно такие же, т. е. действия на гальванометр не было.

1723. Значит, когда гальванический ток в одном проводе проявляет свое индуктивное действие, создавая противоположный или такой же одинаково направленный ток в соседнем проводе, соответственно тому, возникает или прекращается первичный ток, тогда, повидимому, не обнаруживается ни малейшей разницы от того, что промежуточное пространство заполнено такими изолирующими веществами, как воздух, сера и шеллак, или такими проводящими телами, как медь и другие немагнитные металлы.

1724. Соответствующее действие получалось при помощи таких же сил, проявляющихся в магните, следующим образом. Одна плоская спираль (1718) была соединена с гальванометром, а вблизи нее был помещен магнитный полюс; если затем перемещать магнит по направлению к спирали или от нее или перемещать спираль к магниту и от магнита, то получают токи, обнаруживаемые гальванометром.

1725. После этого между магнитом и спиралью была проложена толстая медная пластина (1721); тем не менее, при движении их туда и обратно получались точно такие же действия как по величине, так и по направлению, как если бы меди не было. Введением в этот промежуток пластины из серы также не удавалось получить ни малейшего влияния на токи, производившиеся перемещением магнита или спиралей.

1726. Эти результаты, а равно целый ряд других, которых я не считаю нужным описывать, могли бы привести к заключению, что (если судить по *величине* действия, производимого на расстоянии силами, поперечными по отношению к электрическому току, т. е. магнитными) промежуточное вещество, а значит и промежуточные частицы не имеют ничего общего с этим явлением; или, другими словами, что в то время как индуктивная сила статического электричества передается на расстояние посредством промежуточных частиц (1164, 1666), поперечная индуктивная сила токов, которая также может действовать на расстояние, передается не таким путем, т. е. не с помощью промежуточных частиц.

1727. Однако вполне очевидно, что подобное заключение нельзя считать доказанным. Так, нам известно, что когда между полюсом и спиралью (1715, 1719, 1725) или между двумя спиральями (1721) находится медная пластинка, то ее частицы испытывают некоторое воздействие и могут посредством соответствующего устройства проявить особое состояние, в котором они находятся, производя или электрические или магнитные действия. Повидимому, невозможно думать, что это действие на частицы промежуточного вещества не связано с действием, производимым

индуцирующей спиралью или магнитом C на подвергаемую индукции катушку или сердечник A (1715, 1721); в самом деле, так как индуцируемое тело поддается влиянию индуцирующего тела одинаково, независимо от того, присутствуют или нет эти промежуточные и испытывающие воздействие частицы меди (1723, 1725), то указанное предположение означало бы, что возбужденные таким образом частицы не оказывают обратного действия на вызывающие их индуцирующие силы. Мне поэтому кажется более разумным заключение, что этим возбужденным частицам обязано распространение действия от индуцирующего к индуцируемому телу, и что именно этой передачей обусловлено *отсутствие потерь* индуцируемой силы у последнего.

1728. Но в таком случае возникает вопрос, каково взаимоотношение частиц изолирующих веществ, как воздух, сера или шеллак, когда они находятся на линии магнитного действия. Ответ в настоящий момент может быть только гадательным. Я долго полагал, что у таких тел должно существовать особое состояние, соответствующее тому, которое обуславливает токи в металлах и других проводниках (26, 53, 191, 201, 213); и если принять во внимание, что эти тела являются изоляторами, то следовало бы ожидать, что это состояние есть состояние напряжения. Вращая непроводящие тела вблизи магнитных полюсов, или полюсы вблизи них, или внезапно создавая и прекращая сильные электрические токи в различных направлениях вокруг и около изоляторов, я пытался обнаружить нечто в роде такого состояния, но это мне не удалось. Тем не менее, поскольку вследствие слабого напряжения применяющихся для его возбуждения токов всякое такое состояние должно обладать чрезвычайно низкой интенсивностью, весьма возможно, что оно все же существует и может быть открыто более искусным экспериментатором, но мне лично обнаружить такое состояние не удалось.

1729. Мне поэтому представляется возможным, и даже вероятным, что магнитное действие может передаваться на расстояние при посредстве промежуточных частиц, наподобие того, как передаются на расстояние индуктивные силы статического

электричества (1677), причем промежуточные частицы на время в большей или меньшей степени воспринимают особое состояние, которое (хотя я имел о нем очень неопределенное представление) я неоднократно называл термином *электротоническое состояние* (60, 242, 1114, 1661). Надеюсь, никто не поймет меня так, будто я твердо убежден, что дело обстоит именно таким образом. На самом деле я скорее хотел бы доказать обратное, а именно, что магнитные силы совершенно независимы от промежуточного вещества между индуцирующим и индуцируемым телами; но я не могу преодолеть затруднения, которое представляют такие вещества, как медь, серебро, свинец, золото, уголь и даже водные растворы (201, 213), которые, хотя и приходят, как известно, в особое состояние, когда находятся между действующими и подвергающимися действию телами (1727), но влияют на окончательный результат не больше, чем те тела, в которых до сих пор не было открыто никаких особенностей их состояния.

1730. Здесь надо сделать существенное для всего этого исследования замечание. Хотя я полагаю, что описанный мною гальванометр, которым я пользовался (1711, 1720), является вполне достаточным, чтобы доказать, что окончательная величина действия на каждую из двух спиралей или сердечников *A* и *B* (1713, 1719) одинакова, но все же имеется одно явление, которое *может* получиться при различии в действии двух промежуточных веществ, и которого гальванометр не был бы в состоянии обнаружить. Поскольку в этих действиях ¹ играет роль время (125), весьма возможно, что хотя индуцируемые действия на спирали или сердечники *A* и *B* и достигают одинаковой степени, когда в качестве промежуточных веществ друг другу противопоставляются воздух и медь или воздух и шеллак, это совершается в неодинаковые промежутки времени; однако вследствие длительности времени, занимаемого колебанием стрелки, это различие может оставаться незаметным, так как оба действия, может быть, достигают своих наибольших значений за столь ко-

¹ См. *Annales de Chimie*, 1833, LI, стр. 422, 438.

роткие периоды времени, что последние составляют совершенно незаметную долю того времени, которое требуется для колебаний стрелки, и потому влияние, которое они на них оказывают, незаметно.

1731. Если бы удалось доказать, что боковая или поперечная сила электрических токов, или — что, повидимому, то же самое — магнитная сила проявляет свое влияние на расстоянии, независимо от промежуточных смежных частиц, то этим, как мне кажется, между природой этих двух сил (1654, 1664) было бы установлено чрезвычайно важное реальное различие. Я не подразумеваю под этим, что эти силы независимы друг от друга и могут действовать раздельно; наоборот, они, вероятно, существенно связаны (1654), но отсюда никоим образом не следует, что они обладают одинаковой природой. В обыкновенной статической индукции, в проводимости и в электролизе силы у противоположных концов частиц, совпадающие с линиями действия и обычно обозначаемые термином электрические, являются полярными, и в случае смежных частиц действуют только на неощутимо малых расстояниях; в то же время силы, которые перпендикулярны к направлению этих линий и называются магнитными, являются круговыми, действуют на расстоянии и, если это осуществляется не через посредство промежуточных частиц, то отношение магнитных сил к обычному веществу совершенно не похоже на отношение к нему электрических сил, с которыми они связаны.

1732. Было бы чрезвычайно важно решить вопрос о том, тождественны ли или различны силы этих двух видов, и установить их истинное взаимоотношение. Этот вопрос, повидимому, вполне доступен опыту и сулит богатую награду тому, кто попытается его разрешить.

1733. Я уже выражал надежду найти такие явления или такое состояние, которые будут для статического электричества тем же, чем является магнитная сила для текущего электричества (1658). Если бы мне удалось убедительно для самого себя доказать,

что магнитные силы распространяют свое влияние на расстоянии путем совокупного действия промежуточных частиц, наподобие того, как это производят электрические силы, то я бы мог думать, что таким состоянием, соответствующим статическому электричеству, является боковое напряжение линий индуктивного действия (1659) или то состояние, о котором неоднократно упоминалось, как об электротоническом (1661, 1662).

1734. Можно бы сказать, что состояние, когда *отсутствует боковое действие*, является для статической или индуктивной силы эквивалентом того, что *магнетизм* представляет для текущей силы; но утверждать это возможно только в том случае, если считать электрические и магнитные действия существенно различными по природе (1664). Если они представляют собой одну и ту же силу, а все разнообразие результатов является следствием различия в *направлении*, тогда нормальное или *неразвившееся* состояние электрической силы будет соответствовать *отсутствию бокового действия* в магнитном состоянии силы, а электрический ток будет соответствовать боковым явлениям, обычно называемым магнетизмом; но состояние статической индукции, лежащее между нормальным состоянием и током, все еще будет требовать соответствующего бокового действия в магнитном ряду, которое будет представлять присущие ему особые явления; в самом деле, едва ли можно предположить, чтобы как нормальное электрическое, так и индуктивное или поляризованное состояние могли обладать одними и теми же боковыми свойствами. Если же магнетизм представляет собой отдельное и более высокое проявление развившихся сил, то довод, говорящий в пользу этого третьего состояния данной силы, может оказаться не таким веским.

1735. Прежде чем закончить эти общие замечания относительно связи электрических и магнитных сил, я должен выразить свое удивление по поводу результатов, полученных с медной пластинкой (1721, 1725). опыты с плоскими спиралями представляют собой один из простейших случаев индукции электрических токов (1720); это действие, как общеизвестно, состоит в появле-

нии кратковременного тока в проводе в тот момент, когда сквозь соседний параллельный провод начинает проходить ток противоположного направления, и в возникновении столь же краткого тока в противоположном направлении в момент прекращения определяющего тока (26). При таких условиях представляется весьма необыкновенным, что индуцированный ток, который возникает в спирали *A*, когда между *A* и *C* имеется только воздух (1720), столь же силен, когда этот воздух заменяется огромной массой такого прекрасно проводящего металла, какова медь (1721). Можно было бы ожидать, что эта масса может допустить в себе образование и разряд практически какого угодно количества токов, которые способна индуцировать спираль *C*, и таким образом несколько ослабит, а может быть и совсем предотвратить действие в *A*; вместо этого ни малейшего ослабления или изменения действия в *A* не замечается (65), хотя едва ли можно сомневаться в том, что в медной пластине образуется бесконечное число мгновенных токов. Мне кажется, почти единственный способ примирить это явление с общепринятыми представлениями заключается в предположении, что магнитное действие передается при посредстве промежуточных частиц (1729, 1733).

1736. Такое весьма замечательное положение вещей полностью согласуется с действиями, наблюдающимися в сплошных спиралях, в которых провода намотаны одни на другие в количестве пяти, шести или более последовательных слоев; при этом внутренние слои не вызывают никакого ослабления действия во внешних.

РАЗДЕЛ 22

Замечание об электрическом возбуждении

1737. Едва ли можно сомневаться в том, что различные способы, которыми производится электрическое возбуждение, рано или поздно будут сведены к одному общему закону, хотя в настоящее время мы и вынуждены делать между ними различия. Когда мы не то, что устраним эти различия, а хотя бы ясно поймем их, то уже и это будет большим достижением.

1738. Вследствие тесной связи между электрической и химической силами химический способ возбуждения оказывается наиболее поучительным из всех, а случай двух изолированных соединяющихся частиц является, вероятно, простейшим из тех, которые имеются в нашем распоряжении. Здесь, однако, действие является местным, и нам все еще не хватает такого электрического способа его проверки, который был бы применим к нему, а равно к случаю тока электричества и к случаю статической индукции. Когда некоторые из действующих частиц первоначально находятся в состоянии соединения (923), мы каждый раз получаем возможность, как, например, в гальваническом элементе, распространить местное действие или превратить его в ток, и тогда химическое действие можно проследить в его изменениях вплоть до образования *всех* явлений напряжения и статического состояния, причем последние во всех отношениях оказываются такими же, как если бы производящие их электрические силы были получены с помощью трения.

1739. Кажется, Берцелиус первый говорил о способности некоторых частиц приходить в присутствии друг друга (959) в противоположные состояния. Можно предположить, что интенсивность этих состояний усиливается при большом приближении или вследствие нагревания и т. п., и, наконец, в некоторый момент возникает соединение, сопровождаемое таким взаимным распределением сил обеих частиц, которое эквивалентно разряду, и создает в то же время частицу, во всей своей массе являющуюся проводником (1700).

1740. Эта способность приходить в возбужденное электрическое состояние (которое в частицах, образующих непроводящее вещество, является, вероятно, полярным) представляется мне первичным фактом, сходным по своей природе с индукцией (1162); ибо эти частицы, повидимому, не способны сохранять свое особое состояние независимо друг от друга (1177) или от вещества, находящегося в противоположном состоянии. Вполне определенным по отношению к частицам вещества представляется лишь то, что они приходят в *особое* состояние, как, например, положи-

тельное или отрицательное, в зависимости друг от друга, а не безразлично в то или другое; а также то, что силы растут лишь до определенной величины.

1741. Легко понять, что та самая сила, которая вызывает местное действие между двумя свободными частицами, будет проявляться в виде текущей силы, когда одна из частиц находилась предварительно в соединении, составляя часть электролита (923, 1738). Так, в присутствии друг друга частица цинка и частица кислорода проявляют свои индуктивные силы (1740), которые, в конце концов, достигают той точки, когда образуется соединение. Если кислород предварительно был в соединении с водородом, то он удерживается в таком соединении аналогичным проявлением и расположением сил; поскольку же силы кислорода и водорода во время соединения находятся в взаимной связи и сродстве друг с другом, то когда вступает в силу более высокое сродство этих сил между кислородом и цинком, индукция первого, или кислорода, на металл не может быть вызвана или усилена без соответствующего ослабления его индукции по отношению к водороду, с которым он находится в соединении (ибо величина силы в частице считается определенной); поэтому сила последнего направляется на кислород соседней частицы воды; можно думать, что таким образом действие распространяется на заметные расстояния и превращается в состояние статической индукции, которое, если его разряжать, а затем устранять действием других частиц, производит токи.

1742. В обыкновенной гальванической батарее ток вызывается стремлением цинка отнять кислород от водорода воды, причем эффективное действие происходит в том месте, где кислород покидает существовавший ранее электролит. Шенбейн (Schoenbein) соорудил батарею, в которой эффективное действие происходит на другом конце этой существенной части системы, а именно там, где кислород подходит к электролиту.¹ Первое можно

¹ Philosophical Magazine, 1838, XII, стр. 225, 315. См. также результаты, полученные де ля Ривом для перекиси марганца. Annales de Chimie, LXI, стр. 40. Дек. 1838 г.

рассматривать как случай, когда движение тока образуется в результате отнятия кислорода от водорода, а последнее — когда он образуется вследствие отнятия водорода от кислорода. Направление электрического тока в обоих случаях одно и то же, если относить его к тому направлению, в котором движутся элементарные частицы электролита (923, 962), и оба случая одинаково согласуются с только что изложенным гипотетическим представлением об индуктивном действии частиц (1740).

1743. При таком взгляде на гальваническое возбуждение действие частиц можно разделить на две части: то, которое возникает, когда сила в частице кислорода возрастает в направлении действующей на нее частицы цинка и уменьшается в направлении связанной с ней частицы водорода (что представляет собой период развития индуктивного действия), и то, которое возникает, когда имеет место обмен связями и частица кислорода покидает водород, чтобы соединиться с цинком. Создает ток, повидимому, первое действие; в отсутствии же тока он образует напряжение на зажимах батареи; последнее, останавливая на время влияние бывших активными частиц, позволяет вступить в действие другим частицам; таким образом явление тока продолжается далее.

1744. Представляется весьма вероятным, что возбуждение трением очень часто может носить такой же характер. Волластон пытался отнести такое возбуждение за счет химического действия,¹ но если под химическим действием понимать окончательное соединение действующих частиц, то имеется множество случаев, противоречащих такому взгляду. Дэви упоминает о некоторых таких примерах, а я с своей стороны без затруднений допускаю другие способы электрического возбуждения, помимо химического действия, особенно если под химическим действием подразумевать окончательное соединение частиц.

1745. Дэви путем опытов доказал, что две частицы, обладающие противоположными химическими свойствами, могут приходить в противоположные состояния, если подвести их очень близко

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

друг к другу, но не позволять им соединяться.¹ Я думаю, что в этом заключается первая часть описанного выше действия (1743), но, с моей точки зрения, оно может вызвать непрерывный ток только в том случае, если будет происходить соединение так, чтобы и другие частицы последовательно могли действовать таким же образом, и то только при условии, что некоторый ряд частиц будет присутствовать в качестве элемента электролита (923, 963), другими словами: один только контакт без химического действия в таких случаях *тока* не создает.

1746. Тем не менее, представляется весьма возможным, что такое расположение может создать высокий заряд и таким образом дать начало электризации путем трения. При трении двух тел друг о друга, с целью получить обычным путем электричество, по крайней мере одно из тел должно быть изолятором. В процессе трения частицы противоположного рода должны подходить более или менее близко друг к другу, причем немногие из них, которые находятся в наиболее благоприятных условиях, приходят в такой тесный контакт, который почти не отличается от контакта, получающегося при химическом соединении. В такие моменты частицы, вследствие взаимной индукции (1740) и частичного взаимного разряда, могут приходиться в весьма напряженные противоположные состояния; и когда непосредственно после этого они благодаря продолжающемуся трению удаляются друг от друга, то они удерживаются в этом состоянии, если оба тела являются изоляторами, и обнаруживают его после полного их разделения.

1747. Мне кажется, что все сопровождающие трение обстоятельства говорят в пользу такого представления. Вследствие неправильностей формы и неравномерности давления частицы двух трущихся поверхностей оказываются на весьма различных расстояниях, и только немногие из них находятся одновременно в той тесной связи, которая, вероятно, необходима для развития сил; далее, те, которые в определенный момент находятся ближе

¹ Philosophical Transactions, 1807, стр. 34.

всего друг к другу, в следующий за этим момент оказываются наиболее удаленными друг от друга, а другие окажутся сближенными; таким образом при продолжении трения могут одна за другой оказаться возбужденными многие частицы. Наконец, боковое направление разделения (поверхностей) при трении представляется мне особенно приспособленным к тому, чтобы большое количество парных частиц сначала привести в ту тесную близость, которая необходима для приведения их во взаимно противоположные состояния, а затем удалить от влияния друг на друга, причем это состояние сохраняется.

1748. На основе такого же представления легко было бы гипотетически объяснить, каким образом в том случае, когда одно из трущихся тел является проводником (как, например, амальгама электрической машины), состояние другого (в массе) повышается при трении; однако было бы неразумно заходить слишком далеко в таких рассуждениях, прежде чем выдвинутые ранее положения будут подтверждены или исправлены на основании соответствующих опытных данных. Я не хочу создать впечатления, что всякое возбуждение трением считаю возбуждением такого рода; наоборот, некоторые опыты заставляют меня думать, что во многих, — а может быть и во всех, — случаях к окончательному результату приводят действия термо-электрического характера; по всей вероятности одновременно действуют и другие оставшиеся до сих пор невыясненными причины электрического возмущения.

Королевский институт,

Июнь 1838 г.

П Р И Л О Ж Е Н И Е



М. ФАРАДЕЙ И ЕГО „ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСТВУ“



Этой гениальной книге более ста лет. Если даже ничего не знать о науке того времени, то она, эта книга, сама даст о ней яркое и полное представление; она сама покажет, какой огромный шаг вперед знаменуют труды ее автора, и особенно выпукло представит тот почти необъятный для человеческого ума сдвиг, который наука и техника проделали за этот короткий в истории человечества срок.

В самом деле, что представляет собой ученье об электричестве сто лет тому назад?

Оно состоит из нескольких изолированных друг от друга глав, и еще идет спор о том, действительно ли эти отдельные главы говорят об одном и том же предмете. Есть, во-первых, статическое электричество; это пока самое знакомое, «обыкновенное», по терминологии Фарадея, электричество. Во-вторых, электричество «гальваническое», или «вольтаическое». Оно открыто уже пятьдесят лет, и его исследование — одна из самых насущных задач того времени. Потом термоэлектричество, недавно (в 1822 г.) открытое Зеебеком; животное электричество, которому уделяется еще немало внимания; многие знаменитые современники Фарадея посвящают ему свои труды (сэр Гемфри Дэви, его брат д-р Дэви, А. фон Гумбольдт и др.). И, наконец, М. Фарадей прибавляет сюда свое индукционное, или «магнито-электричество».

Мы со школьных времен воспитываемся в убеждении, что имеем здесь различные проявления одного и того же агента; нам и в голову не приходит сомневаться в его тождественности. Но во времена Фарадея только еще идет объединительная работа, и ему самому приходится посвящать целую серию своих «Исследований» доказательству этой тождественности и выяснению количественных различий в разных случаях; свои труды в этом направлении он расценивал наравне с обессмертившими его имя трудами по электролизу, диэлектрическим свойствам тел, электромагнитной индукции.

Основная терминология учения об электричестве еще не установлена. Вместо «заряда» сплошь и рядом говорится о «силе», вместо «силы тока» — о «количестве». Еще хуже обстоит дело с потенциалом. Фарадей пишет (построчное примечание к п. 360): «термин *количество* является для электричества, пожалуй, достаточно определенным; термин *напряжение* поддается точному определению гораздо труднее; я пользуюсь этими терминами в их обычном и общепринятом смысле». И больше во всей книге ни одного слова для определения потенциала и разности потенциалов, электродвижущей силы.¹ Для источника электродвижущей силы в одной из серий упорно применяется термин «электромотор», звучащий для нас в этом значении прямо дико. Северный полюс здесь «полюс с меткой», заземление — «разряжающий провод» и т. д.

Но дело не только в терминологии: не существует еще закона Ома,² нет ясного представления о связи между силой тока, электродвижущей силой и сопротивлением. Единственный способ характеризовать явления в цепи — подробно описать батарею, количество элементов, их размер, состав и состояние жидкости в них; длину, диаметр и материал проводов. Такими длинными

¹ Впрочем, в п. 1299 Фарадей пытается дать другое (и притом совершенно неправильное) определение «напряжения».

² Вернее, он уже написан (в 1826 г), но еще не освоен как один из важнейших электротехнических законов.

и утомительными описаниями переполнено изложение самих изумительных опытов Фарадея.

Нет и никаких электротехнических единиц; во всей книге нет ни одного количественного указания, не названо ни одной силы тока, ни одного сопротивления, ни одной электродвижущей силы. Пока еще не существует — даже ни в чьей мысли — никаких практических приложений электричества. А потому никому не приходит в голову снабжать ученых, занимающихся опытами по электричеству в своих лабораториях, электротехническими материалами. Такие материалы нигде и никем не производятся. Нет клемм, изоляторов, размыкателей, нет изолированных проводов. Фарадей описывает, как он сам готовит для себя такой провод, обертывая проволоку бумагой и шелком, как, изготавливая катушку, он отделяет последовательные слои обмотки друг от друга коленкором и т. п. (см., например, пп. 6, 1053 и многие другие).

Не побуждаемое техническими запросами, находится в первобытном состоянии производство электроизмерительных приборов. Фарадей сам готовит свои электрометры (по Кулону) и гальванометры. Гальванометр Ритчи со стеклянной нитью он считает верхом достижимого совершенства (368, примечание). Становится как-то стыдно за те бесконечные требования, которые мы не устаем предъявлять к нашим современным инструментам. Чувствительность гальванометра количественно не характеризуется — он просто «грубый» или «чувствительный». Но что гальванометр! Повидимому, в те годы он является еще слишком новым прибором; прибегая к нему, все же не бросают и старых способов обнаружения электрического тока: нагреванием тонкой проволоки, химическим разложением, искоркой, миниатюрной дугой на древесном угле, пробой на вкус (!) и классическим опытом содрогания лягушечьих лапок (см., например, п. 56, всю третью серию и многократно в других местах).

Конечно, существует еще менее побудительных причин, чтобы подумать о стандартизации материалов. Каких только размеров не встречается у Фарадея! Провода имеют диаметр

в $\frac{1}{600}$, $\frac{1}{202}$, $\frac{1}{18}$ дюйма и т. д. до бесконечности. Десятичные дроби «не в моде». О метрической системе никакого помину; мили, ярды, футы, дюймы, линии; квадратные и кубические футы, дюймы; фунты, унции, граны; пинты, — страшно подумать, сколько времени гениальный естествоиспытатель должен был тратить на совершенно ненужные умножения и деления!

Закона Джоуля еще не существует. Фарадей ощупью бродит вокруг вопроса о нагревательном действии тока; он думает, основываясь на опытах Гарриса, что определенный заряд, независимо от напряжения, несет с собой и определенное количество тепла (368).

И, наконец, еще не найден человечеством, не сформулирован тремя его гениальными провозвестниками — Майером, Джоулем и Гельмгольцем — закон сохранения энергии, ставший таким могучим орудием мысли и исследования. Напомним, с какой элементарной простотой Гельмгольц выводит — точно и количественно — закон электромагнитной индукции. Фарадей дождался до этого открытия, но оно ничем не помогло ему в его трудах и исследованиях; круг мыслей, порождаемых этим великим законом, остался ему до конца чуждым.¹

Вот обстановка научной работы Фарадея. Ее описание было бы неполным, если бы мы не добавили несколько слов о современниках, с которыми он общался и труды которых на него оказали то или иное влияние. Чтобы судить об этом, обратимся к первоисточнику — к самой книге Фарадея; посмотрим, какие имена в ней чаще всего упоминаются.

На первом месте тут стоит сэр Гемфри Дэви. Это вполне понятно; в первые годы своей научной работы Фарадей был его сотрудником, можно сказать, учеником, и хотя этот случай

¹ Было бы неправильно объяснять такое отношение особенностями мышления или образования Фарадея; кто хочет убедиться в противоположном, пусть прочтет письма У. Томсона (лорда Кельвина), которые заполнены мучительными усилиями согласовать открытие Джоуля... с законом сохранения вещества и «теплорода».



Михаил Фарадей
Репродукция с портрета Т. Филипса

принадлежит к числу тех, когда ученик далеко превзошел своего учителя, все же естественно, что круг мыслей учителя и собранные им факты особенно запечатлеваются в голове ученика и служат материалом для его дальнейших построений. К тому же Фарадей продолжает работать в области электрохимии, в которой помогал сэру Гемфри. Как можно было работать в той же области, не ссылаясь на его труды? — На втором месте стоит Гаррис. Кто такой Гаррис? История сохранила для потомства только немногие его труды. Из упоминаний Фарадея видно, что он занимался повторением опыта Араго с вращающимся диском; исследовал тепловое действие электростатического разряда и открыл при этом некоторое сомнительное правило, которым современники должны были пользоваться за неимением лучшего (368); устроил удобный «электрометр», основанный на упомянутом тепловом действии. Его труды печатались в *Philosophical Transactions*, чего удостоиваются далеко не все ученые; Фарадей называет его «неутомимым ученым» и «имеет полное убеждение в точности» его результатов (1305); он считает непревзойденными его исследования по диэлектрической прочности газов (1363); короче, труды Гарриса не составляли эпохи, но были нужны современникам как полезный и доброкачественный материал. Этим и объясняется интерес Фарадея к их автору.

Только отдаленное потомство расценивает по достоинству труды своих предшественников; история, как на дне промывательной машины, сохраняет немногие крупинки золота — достижения первостепенной важности и вечного значения. Все остальное ее бурный поток уносит — и факты, и имена, и даты. Да будет среднему ученому утешением, что он, подобно Гаррису, помогает своими малыми делами трудам какого-нибудь другого Фарадея!

Рядом с Гаррисом стоит по числу ссылок на него де ля Рив (Огюст). Про него можно сказать почти то же, что и про Гарриса; плодовитый ученый, добросовестный исследователь, собиратель небезинтересных фактов, но слабый как создатель теории.

Фарадей охотно пользуется его фактическими указаниями (исключительно в области электролиза), а теории беспощадно критикует.¹

Дальше рядом стоят Араго и Ампер. Это, конечно, представители вершины науки того времени. Первый — блестящий оратор, непрменный секретарь Парижской Академии, в одинаковой мере астроном и физик. Он вел огромную корреспонденцию и был в курсе всех научных работ своего времени. Но Фарадея он интересуется только как автор одного электродинамического опыта — увлечение магнитом, при его вращении, расположенного рядом диска.

Ампер — один из величайших электриков, создатель электродинамики. Фарадей, несомненно, хорошо знал его труды, и они оказали на него очень сильное влияние. Терминология Фарадея иногда очень приближается к амперовской. Можно сказать, что и по духу эти два ученых близки друг к другу; только Ампер не чуждается математического анализа. Фарадей часто ссылается еще на Волластона.² Это тоже очень крупная фигура; глубокие следы Волластон оставил в области химии, где ему принадлежит точная формулировка принципа кратных отношений. Фарадея интересуют только те опыты этого ученого, которые касаются электрохимических разложений; ими Волластон доказывал тождественность «обыкновенного» и «гальванического» электричества, к чему Фарадей охотно присоединяется.

Указанные шесть лиц дают Фарадею материал более чем для трети его цитат и ссылок; остальные две трети (без малого) приходится почти на сто, точнее на девяносто шесть других имен. Кто эти лица?

¹ Де ля Ривы — целая «династия» женевских ученых. Один из них, физик, получил некоторую известность на ранних стадиях развития электромагнитной теории Максвелла — Герца: вместе Саразеном он открыл явление так называемого «множественного резонанса» при быстро затухающих первичных колебаниях.

² О роли Волластона в личной жизни Фарадея см., например, его биографию, составленную М. Радовским.

Конечно, мы встретим здесь много имен, которые и ныне мелькают на страницах наших курсов и учебников. Знаменитейшие среди них: Берцелиус — создатель электрической теории сродства, химик огромной величины и значения; даже там, где Фарадей не называет его, он часто цитирует его мнение и держится его; Дальтон — химик не меньшей величины, знаменитый атомист (Фарадей — противник атомизма; может быть, потому он так мало его цитирует); Гей-Люссак, Грэм, А. фон Гумбольдт, Эрстед, Френель (не всем известно, что Френель занимался электрическими вопросами); Пуассон — Фарадей цитирует только физические его высказывания, Ом — Фарадей ошибочно называет его Омсом (!) и сознается, что не читал его в подлиннике (1635, примечание). Менее знамениты, но все же известны: Барлоу («колесо Барлоу»); Био — предшественник Френеля по исследованию поляризации, он же соавтор известного закона Био и Савара; «старый» Беккерель — дед нашего современника, открывшего радиоактивность; Каньяр де ла Тур (кто не знает его сирены, его исследований в области критического состояния?); Даниэль (элемент Даниэля, гигрометр Даниэля — камень преткновения на студенческих экзаменах); Доберейнер (огниво Доберейнера); Дюлонг; Гротгус — русский помещик, на досуге занимавшийся физикой и додумавшийся до почти гениальных представлений об электролизе; Генри, Лесли (куб Лесли), Моссотти, Нобили, Пельтье, Шенбейн, Зеебек, Уитстон; опыты последнего над скоростью распространения электричества цитирует еще Дж. Дж. Томсон (1893 г.).

Наряду с этим — много, много имен, которые вспоминаются с трудом или вовсе не приходят на память.

Все они нужны Фарадею постольку, поскольку дают материал для его рассуждений и заключений по вопросам электричества. Он был наравне с лучшими из них — Ампером, Араго, Берцелиусом, Волластоном, Гей-Люссаком, Гротгусом, Грэмом, Дальтоном, Дэви, Уитстоном, Эрстедом и бесконечно выше всех других. С первыми он мог на равных правах обмениваться опытом и мнениями; остальные — только сырой материал для возведен-

ного им величественного здания, цемент, скреплявший его кирпичи.

Интересно также отметить, кого *не* цитирует Фарадей. Так как он не знает немецкого языка, то не читал Ома (см. выше), не знаком с Гауссом. Из французов он ни при каких случаях не говорит ни о Лапласе, ни о Лагранже, ни о Даламбере, ни о Коши. Это уже не условия окружения, а личная особенность Фарадея: великие классики математики и математической физики не оказали на него никакого влияния; математический метод мышления был и остался ему совершенно чуждым. Теоремы Гаусса и Грина, уравнения Лапласа и Пуассона — ныне любимейшее и элементарнейшее орудие в руках всякого работника электродинамики; Фарадей никогда не брал его в руки. К этому обстоятельству мы еще вернемся ниже.

Так как значительная часть исследований Фарадея носит химический характер, то несколько подробнее следует поговорить об его химических воззрениях и, в частности, об его отношении к атомистической теории. Несомненно, что эпоха Фарадея в сильной степени благоприятствовала развитию атомизма. Отметим важнейшие даты: в 1808 г. Волластон обосновывает своими опытами закон кратных отношений; в том же 1808 г. опубликовано и классическое произведение Дальтона, излагающее его атомную теорию. Наконец, 1811 год отмечается как год появления работы Авогадро. Фарадей — выдающийся химик и не мог не знать этих работ, не мог не замечать общего строя мыслей современников, *звавших* к атомизму. Мы и поныне считаем химические данные о постоянстве состава, понятие о химических эквивалентах едва ли не главными аргументами в пользу атомистических воззрений. Наконец, собственные исследования Фарадея в области электролиза, постоянство отношения между величиной перенесенного заряда и количеством продвинувшегося к электроду вещества легче и проще всего может быть объяснено тем, что каждый атом соединен с определенным зарядом. Конечно, то, что картина является простейшей, еще не служит доказательством ее истинности. Очевидно, что многие выдающиеся

умы, которые работали тогда в этой области, считали свои длинные недостаточными для такого далеко идущего заключения. В их числе был и Фарадей. Вот что мы читаем в п. 869 (седьмая серия):

«... 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». ¹

Такая осторожность представляется нам теперь, при пышном расцвете атомизма, чрезмерной, и как-то особенно странно звучат эти слова в устах человека, который так много сделал для теории ионов — частей отрицаемого им атома. И еще более странно, что в наши дни этот парадокс повторился в лице Вильгельма Оствальда. Этот яростный враг атомизма всю жизнь энергично боролся за ионную теорию — в частности за аррениусовскую теорию электролитической диссоциации... Может быть, если когда-нибудь атомистическая теория встретит на своем пути особо непреодолимые трудности и если будет наблюдаться перекочевывание физиков на противоположные позиции, осторожность и проницательность Фарадея будут возбуждать особое удивление и уважение. Но нам, пока что, трудно представить себе такой переворот. ²

¹ В одном из следующих томов «Исследований» Фарадей возражает против атомной теории гораздо более резко, и даже придумывает рассуждение, которое ее, по его мнению, окончательно опровергает.

² Говоря о газах, Фарадей, как и все антиатомисты, легко сбивается на молекулярные представления. В частности, он представляет себе, что давление газов создается взаимным отталкиванием их частиц — кинетическая теория газов еще не разъяснила к тому времени этого явления. Это приводит его к большим затруднениям при физическом истолковании закона Дальтона, поверхностных явлений и проч. (626 и сл.).

Химия Фарадея — это химия 20-х и 30-х годов прошлого века, со всеми ее особенностями. О ней могут дать полное представление такие книги, как «Elements of Chemical Philosophy» сэра Гемфри Дэви (она, конечно, особенно важна для понимания взглядов Фарадея), или ранние издания Lehrbuch или Handbuch Гмелина. Химических формул здесь вообще нет — без них можно обойтись; но если бы их написать, применяясь к представлениям того времени, они имели бы необычный для нашего взгляда вид. Поскольку существование атомов считается недоказанным, для химика существуют только эквиваленты. Если принять за эквивалент водорода единицу, то эквивалент кислорода будет 8; формула воды будет HO . Однако понятие эквивалента, лишенное опоры в атомных представлениях, не вполне устойчиво. В самом деле, как быть, например, с кислородными соединениями азота, в которых на одинаковое количество азота может приходиться различное (в простых кратных отношениях) количество кислорода? Приходится говорить, что здесь в разных случаях один эквивалент азота соединяется не с одним, а с несколькими эквивалентами кислорода или наоборот. Но который же случай считать нормальным, т. е. таким, где один эквивалент азота приходится на один эквивалент кислорода? Иначе, если эквивалент кислорода равен 8, то чему равен эквивалент азота? Об этом во времена Фарадея шли споры, и Берцелиус составил новую таблицу химических эквивалентов. Фарадей выбирал, по его собственным словам, те данные, которые ему казались заслуживающими доверия. В п. 847 имеется составленная им таблица ионов. Из нее можно усмотреть, что эквиваленты одновалентных ионов (Cl , Br , J , H , K , Na и др.) имеют значения, близкие к принятым и ныне; эквиваленты O , Ca , Ba и т. д. вдвое менее их атомного веса, и это-то значение эквивалента и принято за нормальное. Отсюда формулы: HO , KO , CaCl , BaJ и т. д. Подчеркнем, что для Фарадея, как мы увидим, не все равно, что именно принять за эквивалент; он приписывает особые свойства веществам, где в соединении один эквивалент одного элемента приходится на один же эквивалент другого.

Кислотой называется то, что ныне носит название ангидрида: углекислота CO_2 , с эквивалентным весом 22; серная кислота $\text{S}(\text{O})_3$ (эквивалент 40); хлорноватая кислота ClO_5 (эквивалент 75,5); азотная кислота NO_5 (эквивалент 54). Основания (безводные) носят часто особые названия: окись натрия — натр NaO (эквивалент 31,3); окись калия — кали KO (эквивалент 47,2); таковы же барит, стронция, известь, магнезия (MgO , эквивалент 20,7), «алюмина». Солям приписывается строение «основание + кислота». Например, серноокислый натр = натр + серная кислота = NaSO_4 ; соединения галоидов не суть соли; они представляют прямое соединение металла (а не основания) с галоидом (а не кислотой).

Соединение с наименьшим количеством кислорода называется первичным окислом, или протоксидом; также существуют протохлориды, протоиодиды и т. д.¹

Мы позволяем себе этим закончить беглый очерк того исторического момента, в который жил и творил Фарадей. Обратимся теперь к характеристике самого труда Фарадея и рассмотрим его главные черты и основное содержание.

Сделалось общим местом, что Фарадей в своих «Исследованиях» не пользуется математикой. Но все же только при самом чтении его книги получаешь полное представление о том, как далеко идет эта черта: во всей книге ни одной формулы — ни алгебраической, ни, тем более, тригонометрической, ни одного геометрического чертежа или доказательства. Самое сложное математическое действие — решение простых пропорций, или, как их называли в старину, задач на простое тройное правило — и то это решение никогда не облачается в буквенную форму (см., например, п. 866).

¹ Поскольку Фарадей делает некоторые заключения на основании своей терминологии, нам пришлось сохранить ее и в переводе. Прибавленная нами (в конце) таблица дает сводку важнейших соединений, называемых Фарадеем, с указанием соответствующего нынешнего русского названия, а также формулы: с одной стороны — отвечающие представлениям Фарадея, с другой — современные.

Правда, лучший знаток Фарадея — Максвелл — предупреждает, что это отсутствие у Фарадея математического аппарата не должно вводить нас в заблуждение: «По мере того как я подвигался вперед в изучении Фарадея, — пишет он, — я убедился, что его способ понимания явлений также имеет математический характер, хотя он и не предстает нам облеченным в одежду общепринятых математических символов. Я увидел, что эти идеи можно выразить обычными математическими формулами и таким образом сравнить их с идеями профессиональных математиков». И далее: «Я увидел также, что многие из наиболее плодотворных методов исследования, открытых математиками, получали, при посредстве идей, проистекающих из идей Фарадея, форму, которая превосходила первоначальную». ¹

Но все же эта особенность Фарадея тяжело отражается на его произведении. Фарадей — не сверхчеловек, и как ни велика логика его мышления, она без помощи того аппарата, который ей, по Максвеллу, подобает, затруднена в своих выводах, а иногда приводит к ошибкам и к тому, что, при всем уважении к гению, приходится квалифицировать как наивность. Такое впечатление остается, например, от тех глав, где Фарадей стремится доказать тождественность *индукции* (мы бы сказали: поляризации) и проводимости. Мы теперь в школе обучаем, что ток проводимости пропорционален напряженности, а ток смещения — производной от этой напряженности по времени; попытки доказать, что мы имеем здесь одно и то же, кажутся тем более тягостными, чем они упорней и продолжительней... Или, например, после того как Фарадей гениально усматривает сущность электростатического действия в продольных и поперечных напряжениях силовых линий; после того как он, а в особенности Максвелл, показывает, что это воззрение приводит к полнейшему совпадению все следствия, выводимые для электростатики, с одной стороны, из этих предпосылок, а другой — из кулоновского закона дальности

¹ «Трактат», предисловие, где мы находим много и других ценных мыслей о труде Фарадея.

действия, — как после этого тягостно читать о ряде опытов, якобы доказывающих, что некоторые электростатические явления по-старому, по-кулоновски, объяснить нельзя, а по-новому можно!

Но если затруднен сам Фарадей, то во сколько же раз сильнее затруднены его читатели! Предоставим слово Гельмгольцу: «Я не хочу упрекать современников Фарадея [за это непонимание]; я отлично знаю, как часто я сам сидел, безнадежно застрявши на котором-нибудь из его описаний силовых линий, их числа и напряжения, или доискиваясь смысла утверждения, что ток является силовой осью, и т. п.»¹

Правда, часть обвинения в непонятности следует снять с Фарадея и переложить на все его время: терминология не установилась, одни и те же слова употреблялись то в одном, то в другом смысле — и часто совсем не в том, в каком употребляют их теперь. Тот же отрывок, цитируемый Гельмгольцем (он взят из пятой серии, п. 517), звучал бы значительно более вразумительно, если бы написать его, применяясь к нынешней терминологии, так: «Ток есть некоторое направление силы; в нем присутствуют заряды противоположных знаков, в количествах, которые в точности равны; они движутся в противоположных направлениях».

Но трудность понимания произведений Фарадея все же велика. Она усугубляется еще тем, что он на протяжении всей книги пишет нестерпимыми для нашего внимания, чрезмерно длинными, поистине карамзинскими периодами; при чтении конца такого периода мы уже забываем начало, вернувшись к последнему, принуждены вновь искать конца и т. д. Еще больше с этим хлопот переводчику.

Но пора уже перейти к содержанию «Исследований» Фарадея по существу. Мы будем здесь говорить только о первом их томе. Грубо говоря, можно разделить его на следующие *главные* отделы:

¹ Речь по случаю пятидесятилетия открытия электромагнитной индукции (1881 г.).

- а) электромагнитная индукция,
- б) законы электрохимического разложения,
- в) природа электростатических действий и
- г) общие соображения,

и *второстепенные*:

- д) тождественность электричеств разного происхождения,
- е) сущность проводимости,
- ж) контактное действие поляризованной платины и
- з) о гальванических батареях.

А. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

(первая серия, пп. 1—139; вторая серия, пп. 140—264; третья серия — примечание после п. 379 и девятая серия — пп. 1048—1118)

После того как Эрстедом было открыто, а Ампером исследовано возбуждение током магнетизма, десятки физиков устремились на поиски обратного явления — возбуждения тока магнетизмом (см. примечание Фарадея к п. 79). Первый успех был сужден Фарадею, и он излагает свои опыты в трех вышеуказанных сериях. Опыты эти, по его собственному неоднократному признанию (5,83), расположены им не в том порядке, в каком они произведены, а так, чтобы возможно кратко и убедительно привести к окончательному результату. Сначала описаны явления индукции при замыкании и размыкании токов; устанавливается действие индуцированных токов на гальванометр, их намагничивающее действие. Затем те же явления констатируются при приближении и удалении токов. С огорчением сообщается, что пробы на язык, на искру, на нагревание тонкой проволоки не дали положительных результатов. Все эти явления названы *вольта-электрической индукцией*. Далее излагается ряд опытов с индукцией токов магнитами и электромагнитами — последние устанавливают связь новых явлений с прежними явлениями вольта-электрической индукции. Явления воспроизводятся в разных масштабах — с самыми большими магнитами, которые тогда были доступны Фарадею, и с самыми небольшими обычными стержневыми магнитами; производятся разнообразные контроль-

ные опыты (опять неудача с пробой на язык и на содрогание конечностей лягушки). Устанавливается полная доказанность явлений; им дается название магнито-электрической индукции.

Далее следует неудачный раздел об особом «электротоническом состоянии», в которое якобы приходит вещество, когда через него проходит ток (60—80); этим состоянием Фарадей пробует объяснить все наблюдавшиеся им явления. Мы не будем останавливаться на этой гипотезе, так как Фарадей сам решительно отказывается от нее уже во второй серии своих исследований (231).¹ Это единственный раздел в учении об электромагнитной индукции, который не стал классическим, не вошел во все учебники.

Очень трудно, казалось бы, ощущать энтузиазм, когда говоришь о вещах, давно ставших предметом школьной премудрости. И все же мы принуждены воспользоваться этим термином. Ведь мы читаем страницы, которые менее чем за столетие, вызвали небывалую по размеру перестройку всемирного силового хозяйства. Электричество, сто лет назад не игравшее в нем никакой роли, ныне играет первенствующую. Оно решило задачу о передаче силы на расстояние, об ее трансформации для этой цели, ее экономичнейшем использовании на месте потребления; оно открыло для промышленной эксплуатации невиданные запасы мировой энергии. И подумать только, что вся добываемая во всем мире электрическая энергия добывается именно так, как Фарадей научил мир в ноябре 1831 г., в докладе Королевскому обществу! Принципиально нового с тех пор ничего не предложено — Фарадей за один доклад, сто лет тому назад, исчерпал всю тему! Вряд ли в то время самое пылкое воображение могло бы предвидеть необъятные размеры надвигающейся технической революции.

Не видел ее и Фарадей и, нужно сказать, мало интересовался техническими приложениями своего открытия, в первую голову

¹ Эта гипотеза очень пленила Фарадея, и растает она с ней только скрепя сердце (242). Она вновь овладевает им позже (1661, 1729, 1733; может быть, также 1114).

увеличением его масштабов. Он отказывается от этой задачи, предпочитая открывать новые факты и новые соотношения, зависящие от магнито-электрической индукции; он уверен, что «повышение силы полученных ранее явлений найдет впоследствии свое полное развитие» (159).

Правомерно ли такое направление? Сделаем для Фарадея исключение и признаем, что его теоретическая работа принесла человечеству больше, чем он мог бы дать во всю свою жизнь, если бы посвятил себя инженерно-конструкторскому оформлению своих достижений. Мы убедимся в этом, если пойдем дальше в ознакомлении с первой и второй сериями. Фарадей переходит к объяснению явления Араго в уверенности, что в нем мы имеем результат взаимодействия магнита с индуцированными этим же магнитом токами (81—139). Ряд опытов, который для этого ставится, тот путь, которым добываются заключения и самый характер этих заключений, — это шедевр, не превзойденный во всей истории физики; разве только знаменитая статья Герца о действии ультрафиолетовых лучей на искру может быть поставлена в параллель этому месту «Исследований». Немыслимо представить себе, чтобы автор мог направить свою мысль по такому необычному руслу, если бы у него не было какого-то нам не известного, целомудренно им скрываемого, особого представления об явлении, которое помогало ему найти выход из необозримого лабиринта представлявшихся фактов. Но нить Ариадны, которая его вела, обнаруживается им как бы произвольно: это представление о *магнитных силовых линиях* (114).

Конечно, для Фарадея силовые линии — это не воображаемые линии, с единственным свойством иметь касательными направления напряженности (примечание к п. 140). Они у него обладают рядом физических свойств, которыми он их наделяет, чтобы потом получать из созданной картины одно за другим изумительнейшие следствия.

Современники Фарадея, которые не усвоили сущности его воззрений, должны были взирать на Фарадея, как на какого-то волшебника, сумевшего извлечь из природы, непонятным для

них образом, целый новый мир разнообразных и неожиданных явлений: вращается пластинка около магнита — через пластинку течет постоянный ток; но можно пластинку прикрепить к магниту и вращать вместе с ним; можно выбросить всякую пластинку и вращать один магнит; можно двигать проволоку в магнитном поле земли — каждый раз ожидание Фарадея, знающего, как проволока будет перерезать магнитные силовые линии, целиком оправдывается.

Это — новое физическое мировоззрение: вместо привычных ньютоновских дальнедействий первенствующим становится что-то, характеризующее данную точку поля, и внимание физика устремляется на это неизведанное нечто, неясное, но многообещающее. Впрочем, не все соглашаются идти по этому новому пути; приведем отрывок из статьи Эйри, дающей ясное представление о таком отношении: «Я никак не могу себе представить, чтобы кто-нибудь, имеющий понятие о совпадении, которое существует между опытом и результатами вычисления, основанного на допущении закона дальнедействия, мог бы хотя один момент колебаться, чему отдать предпочтение: этому ясному и понятному действию [на расстоянии], или чему-то столь неясному и туманному, как силовые линии».

С тех пор несколько поколений физиков и электротехников воспитывается на представлении о фарадеевских силовых линиях. Физика в последние дни находит новые пути и временно как бы охладевает к этой классической картине электромагнитных явлений. Но техника еще долго будет ее культивировать и совершенствовать будет, ею пользоваться.

Позволим себе остановиться и на одном слабом месте первой и второй серий. Фарадей не знает, что собственно индуцируется в проводе — он говорит неопределенно об индуцированном действии (power), но более подробно его не определяет. Он пронесет мимо полюса магнита две скрученные разнородные проволоки (194, 195, 197 и др.) и убеждается, что при этом тока не наблюдается. Он заключает, что индуцированное действие таково, что возбуждает токи, прямо пропорциональные сопро-

тивлению; это приводит его в некоторое изумление. Мы знаем теперь, что в каждой точке индуцируется некоторая напряженность, а в проводе конечной длины — некоторая разность потенциалов. В двух смежных проводах возбуждаются две противоположные разности потенциалов, которые и компенсируются в общей цепи. Фарадею это осталось неясным — закон Ома еще не был для него привычным орудием мысли.

В девятой серии говорится о самоиндукции. Мы не остановимся на ней подробней, отсылая читателей к нашим примечаниям, помещенным после текста.

Б. ЗАКОНЫ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ

(пятая серия, пп. 450—563; седьмая серия, пп. 661—874; восьмая серия, пп. 966—988)

Это—второе важнейшее исследование Фарадея; но надо заранее знать, что при этой работе химические представления оказали на автора значительное влияние, и потому оно содержит весьма большое количество предпосылок и утверждений, которые в наше время уже невозможны. Назовем наши основные расхождения:

1. Со времен Аррениуса мы постепенно объединялись вокруг представления об электролитической диссоциации. Мы думаем, что электролиты уже без всякого содействия тока, вследствие самого факта растворения, распадаются внутри раствора на фарадеевские ионы. Фарадей чужд этому представлению; он, повидимому, пугается самой мысли о том, что прочнейшие соли в воде распадаются на свои составные части (506), а потому измышляет особый механизм обмена этими частями между расположенными в цепочку молекулами (пп. 518—525 и дальше). Уже в его время О. де ля Рив высказывал воззрения, близкие к аррениусовским, но Фарадей их резко критикует.

2. Фарадей считает, что при электролизе разлагается вода и движутся ее ионы; мы считаем выделение кислорода при электролизе подкисленной воды результатом вторичной реакции,

а роль воды в процессе *переноса* тока ничтожной, ввиду ничтожной диссоциации частиц самой воды (порядка 10^{-7});

3. Самые ионы мы представляем себе иначе; Фарадей отождествляет их с теми составными частями молекулы, которые определяют, по Берцелиусу, ее строение (см. п. 553 и выше в нашей статье).

4. Мы несколько точнее представляем себе картину движения ионов; конечно, оно происходит под действием электрического поля в данной точке — такое воззрение вполне отвечает и позднейшим фарадеевским (четырнадцатая серия). Каково это поле (точнее, его напряженность), — это математическая задача; но она решается однозначно, и решение таково же, как если бы мы предположили полюсы (или электроды) покрытыми электрическими зарядами, притягивающими и отталкивающими находящиеся в растворе ионы по закону Кулона. Если электроды не имеют вида точечных, если их размеры более или менее протяжены, то, конечно, в целом их действие не будет обратно пропорционально квадрату расстояния от них данного иона; при двух близких друг к другу плоских электродах поле между ними будет однородным. Все это очень просто, но во время Фарадея было еще не ясно ни ему, ни другим цитируемым им авторам; горячность, с которой он полемизирует против гипотезы о притяжении полюсов (в пятой серии) нам ныне представляется излишней: если напряженность внутри жидкости около поверхности полюса направлена нормально к последней, то не все ли равно как сказать: что эта напряженность выталкивает ион из жидкости или что ион притягивается к полюсу? Фарадей ставит ряд опытов, при которых устраняет металлические поверхности, заменяя их воздухом (460 и сл.) или водой (499 и сл.). Мы можем сказать, что на границе раствора все же будут появляться *свободные* заряды, которые будут действовать так же, как *истинные* заряды на поверхности металла.

Фарадей довольно подробно излагает взгляды всех своих предшественников (477—492), вследствие чего мы получаем отчетливое представление о состоянии вопроса к 1833 г. Наш

соотечественник Гротгус грешит неудачным применением закона Кулона, но, конечно, является первым, кто говорит о механизме электролитического тока. Поверить в существование свободных ионов он, естественно, не решился бы; но на *короткое* время, в течение которого молекулы ими обмениваются, он это допускает. Его взгляды повторяет почти дословно сэр Гемфри Дэви. Риффо и Шомпре думали, что молекулы, распавшиеся *под действием полюсов*, более уже не рекомбинируют; они допускают различие в величине положительного и противоположного отрицательного токов, т. е. различную скорость движения ионов разного знака. Только почему-то у них сила тока изменяется в зависимости от расстояния данного сечения от полюсов. Био высказывает взгляды, похожие на современные, если думать, что под «электрическим состоянием» данного сечения разуметь его потенциал. О де ля Рив уже говорит о сродстве между вещественной частью иона и его зарядом, но все же полагает, что разложение вещества происходит под действием тока, и притом вблизи полюсов.

Что нового вносит в эти и подобные представления Фарадей?— Прежде всего он полагает, на основании своих опытов, что о притяжении полюсов говорить не приходится; скорее выделяющиеся вещества выбрасываются действием тока из жидкости (493, также 498). Он доказывает, что разложение происходит одинаково во всех сечениях проводника (501); что оно происходит одинаково под действием гальванического и статического электричества; этим он вновь доказывает их тождественность (471).

Механизм электролиза, предлагаемый Фарадеем, близок к некоторым представлениям, ныне предлагаемым, например, для объяснения электропроводности нагретых кристаллов. Он таков: ток изменяет действие «сил сродства»; под его влиянием частица, связанная с другой в молекулу, начинает испытывать действие и других противоположно заряженных частиц и вступает с ними в соединение. Путем таких перескоков и обменов частица движется вперед. Она, по мнению Фарадея, может двигаться только до тех пор, пока впереди есть частицы, с которыми



Михаил Фарадей
Репродукция с портрета А. Блекли

она может соединяться. Когда их больше нет, она выталкивается (полам?) наружу, где и выделяется (518—524). Но мы теперь знаем, что никаких сил для разложения частиц не надо — они сами собой диссоциируют в электролитическом растворе. Фарадей ставит и опыты, которые, якобы, должны убедить, что сродство с находящимися впереди частицами помогает току и увеличивает количество выделяющегося вещества (525—530). Впоследствии, однако (675, примечание), Фарадей отказывается от такого толкования полученных им результатов. Он все же остается при убеждении, что вещество может переноситься только путем рекомбинации, и возражает против утверждения де ля Рива, что ион передвигается в виде соединения вещества с электричеством (543).

Но все это является только подготовительной работой к основной задаче Фарадея — установить при электролизе количественные отношения; он сообщает уже здесь (505) о своих работах в этом направлении и об их результате: «Для одного и того же количества электричества сумма электрохимических действий есть также величина постоянная, т. е. она всегда эквивалентна стандартному химическому действию, основанному на обычном химическом сродстве». Мы найдем полное развитие этого закона в седьмой серии (661—874).

Седьмая серия начинается с четырех страничек, в которых устанавливается новая терминология электрохимического разложения (661—668). Это тот язык, на котором мы говорим и поныне: электролит, электролиз, ион, анион, катион, электрод, анод, катод; с тех пор как эти слова произнесены впервые, они не сходят со страниц как самых элементарных учебников, так и глубочайших научных произведений. Фарадей справедливо полагает, что терминология далеко не безразлична для научного мышления; будучи создана для фиксации определенного научного представления, она немало способствует при своем распространении популяризации этого представления. Признаем же, что труды Аррениуса, Оствальда, Джонса, Дебая были бы затруднены, а может быть и невозможны, не будь этих четырех

страничек, представленных Королевскому обществу 9 января 1834 г.!

Далее идет раздел, где делается попытка установить особый закон, который бы позволил заранее предсказать, какое вещество является электролитом и какое этим свойством не обладает. При чтении этого раздела начинается ряд трудностей; для ясного понимания утверждений Фарадея не следует упускать из виду различий терминологии и представлений, на чем мы несколько и остановимся.

Вода для Фарадея — весьма прочное соединение *одного* эквивалента водорода с *одним же* эквивалентом кислорода; формула для нее будет HO . Она — электролит. Мы теперь знаем, что на самом деле она весьма слабо ионизована; концентрация водородных ионов едва достигает 10^{-7} от общего числа частиц.

Столь же прочны окислы, хлориды, иодиды и соли; они *часто* в расплавленном состоянии являются электролитами. Фарадею кажется, что для бинарных соединений можно установить такой закон: электролитами бывают только те соединения, в которых один эквивалент одного элемента соединен с одним же эквивалентом другого. Такой правильности, как это знает современная химия, обогащенная громадным фактическим материалом, на самом деле не существует. Если бы она существовала, то была бы, может быть, нелегкой задачей для атомной теории и для теории валентностей. Возьмем хлориды ртути. Мы утверждаем, что в каломели HgCl мы имеем одновалентный ион ртути Hg^+ , а в сулеме HgCl_2 — двувалентный Hg^{++} . По Фарадею, выходило бы, что нужно либо принять эквивалент ртути в 200 (при $\text{Cl} = 35,5$) и ожидать проводимости для HgCl и отсутствия ее для HgCl_2 ; либо принять эквивалент ртути за 100, и тогда проводить должна HgCl_2 , а HgCl должно быть лишено электропроводящих свойств. Между тем, и та и другая соли проводят в водном растворе.

Фарадей считает настоящим электролитом такой, который проводит без воды, в расплавленном состоянии. Здесь, однако, встречается затруднение в том, что некоторые вещества не выдер-

живают плавления без разложения. Большую трудность может создать для понимания рассуждений Фарадея то немаловажное обстоятельство, что у него кислотой называется ангидрид. Отсюда поражающее с первого раза утверждение (680), что серная, фосфорная, азотная, мышьяковая и другие кислоты не проводят тока и не суть электролиты, или еще, что при электролизе серной кислоты на одном электроде надо ожидать появления кислорода, а на другом — серы. Когда же говорится о гидратах этих ангидридов, то новой трудностью является то, что Фарадей безоговорочно держится берцелиусовского представления о строении их: для него такая «гидратированная серная кислота» имеет состав: вода + серная кислота, или $\text{HO} \cdot \text{SO}_3$, и подобно этому едкое кали имеет состав: вода + кали, или $\text{HO} \cdot \text{KO}$. У Фарадея не возникает никакого сомнения, что именно на такие части и будут распадаться эти соединения, вследствие чего, по его мнению, при электролизе разбавленной серной кислоты вода будет выделяться на катоде, а при электролизе разбавленного едкого кали — на аноде (553). Что касается физической стороны картины, то нам очень трудно мириться с утверждением, что следует различать электропроводность и разложение; что можно будто бы *сообщить воде электропроводность* прибавлением разных веществ, и тогда она начнет разлагаться.

Фарадей не был сверхчеловеком, и нельзя от него требовать чтобы он один проделал тот путь, который с большим трудом расчистили в течение ста лет его преемники. Напомним, что и у нас еще не все благополучно: в начале XX в. химики только что поверили в электролитическую диссоциацию Аррениуса. Затем явилась теория сольватов Джонса — примирение между Аррениусом и его противниками. И вот уже Дебай доказывает, что в сильных электролитах *все* молекулы в растворе ионизованы нацело.

После этих попыток следует блестящий раздел (704—741), имеющий целью создать прибор для измерения количества электричества, проходящего в цепи. Это — газовый вольтаметр. Рядом решительных и быстро ведущих к цели опытов установ-

ливаются, что при надлежащих предосторожностях (в том числе приведенных в серии шестой — о контактном действии платины) количество выделенного гремучего газа (или одного водорода) не зависит ни от размеров электродов, ни от процентного состава электролизуемой жидкости ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$), ни от напряжения, а определяется исключительно количеством прошедшего электричества (знаменитый «1-й закон Фарадея»). На основании этого закона делается предложение: назвать единицей (или одним градусом электричества) то количество электричества, которое выделяет в вольтметре одну сотую кубического дюйма (или $0,164 \text{ см}^3$) газа. ¹

Теперь на пути к установлению закона об электрохимических эквивалентах стоит только одна трудность: различие тех случаев, когда имеет место прямое электрохимическое разложение, и когда выделяющиеся у электродов вещества являются продуктом вторичной реакции. Фарадей предлагает воспользоваться для этой цели только что изученным вольтметром и выставляет как принцип, что первичный характер — и он один — соединен с подчинением его «1-му закону». Мы можем согласиться, что при отступлении от последнего наличие вторичных реакций несомненно. Но обратное несправедливо: и при вторичных разложениях возможно точное соблюдение «1-го закона». ²

- Классический пример — подкисленная серной кислотой вода: мы теперь знаем, что разлагается при электролизе серная кислота, давая H_2 на катоде и SO_4 на аноде; О вторично соединяется с водой, увеличивая кислотность на аноде и выделяя там в строго эквивалентном количестве кислород. Фарадей же на основании соблюдения стехиометрических соотношений приходит к *неправильному* выводу, что разлагается сама вода.

Столь же сомнительны и дальнейшие рассуждения этого раздела (742—782). История тяготеет здесь тяжелым грузом на представлениях Фарадея, и он выступает в этих рассуждениях

¹ Это количество равно приблизительно 0,7 кулона.

² Фарадей это знает — см. п. 842; но есть и противоположное заявление — см. п. 926.

в непривычной для него роли — не революционера, а консерватора. Новые взгляды уже формировались (см., например, примечание автора к п. 746, а также п. 757, с некоторым легким выпадом против сэра Гемфри Дэви), но Фарадей предпочел здесь идти *новыми* путями для доказательства *старых* представлений.

Фарадей переходит к одному из самых центральных пунктов своих работ по электролизу — к установлению электрохимических эквивалентов. Он считает, что предыдущими опытами закон пропорциональности между количеством выделяющегося (первично!) вещества и количеством прошедшего через цепь электричества (783) достаточно установлен для случая воды (732), а также соляной и иодисто-водородной кислот; менее точно — для плавиковой, синильной, железисто-синеродистой и роданистой кислот, по их аналогии с первыми. Он переходит к количественному изучению безводных веществ. Двухлористое олово (по его представлениям содержащее один эквивалент Sn на один эквивалент Cl) приводит к величине эквивалента $\text{Sn} = 57,9\text{--}58,53$ вместо принимавшегося в то время 58. Хлористый свинец дает для свинца величину эквивалента 100,85; теоретическое ожидание — 103,5. Дальше идет ряд окисей: свинца, висмута, сурьмы, иодистых соединений свинца, олова, калия. Все дают в вольтаметрических опытах количества, пропорциональные химическим эквивалентам.

Дальше выдвигается гипотеза, что количество перенесенного током вещества может зависеть от сродства последнего к веществу электродов. Последние выбираются платиновые, медные и цинковые. Но оказывается, что наличие вторичных реакций не влияет на количественный результат первичной. «Химическое действие, — пишет Фарадей, — было вполне определенным» (809).¹ Вещества и опыты видоизменяются в самых разнообразных направлениях, но результаты оказываются неизменными. И Фара-

¹ Нам представляется, что этот не вполне обычный в физике термин заимствован Фарадеем из химии, отличающей смеси и растворы от «определенных» соединений (см., например, п. 821).

дей. устанавливает, что они «справедливы не только для одного вещества», «но для всякого электролита»; далее, что результаты, полученные для одного какого-нибудь вещества, согласуются не только друг с другом, но также и с результатами, полученными для других веществ; «все вместе представляют собой один ряд определенных электрохимических действий» (821).

В пп. 826—836 Фарадей формулирует вновь все положения, составляющие основу его теории электролиза. Их он дает одиннадцать. Забудем о первых девяти и будем помнить лишь два последних. Они достаточны, чтобы навеки закрепить за Фарадеем звание отца всей современной электрохимии.

Ввиду особой важности понятия об электрохимическом эквиваленте, Фарадей в ряде последующих параграфов дает указания о различных способах их определения и вычисления, а в п. 847 сводит в таблицу наиболее заслуживающие, по его мнению, доверия данные. Отсутствие правильного представления о кислотах ведет к тому, что кислоты галоидные и кислоты, содержащие кислород, считаются ионизирующимися по-разному: первые дают в виде катиона водород (это и мы думаем), а на аноде — F, Cl, Br, J, CN и т. д.; вторые будто бы распадаются на воду (катион) и ангидрид (в таблице эти ангидриды фигурируют под названием кислот: серной SO_3 , селеновой SeO_3 , азотной NO_5 и т. д.). Равно и соли галоидоводородных кислот в виде катиона выделяют металлы; соли кислородсодержащих кислот — основания: натр NaO , кали KO , известь CaO , магнизию MgO и т. д.

Последний раздел этой серии носит название: «Об абсолютном количестве электричества, соединенном с частицами или атомами материи». Трагическое положение: Фарадей не может назвать или определить это количество из-за того, что электростатическая единица заряда не установлена. Он ясно представляет себе, что оно очень велико; в атомах, содержащихся в 1 грамме (66,4 мг) воды, его столько, сколько нужно, чтобы 800 000 раз зарядить лейденскую батарею (15 банок, высотой 20 см, 58 см в окружности) тридцатью оборотами большой машины

в полном действии (861); это количество равносильно «несильно мощной вспышке молнии» (853). Более точные указания невозможны.

Здесь Фарадей делает еще один важный шаг; он исследует химические реакции в гальваническом элементе и доказывает, что производимый последним ток в нем самом соответствует эквивалентному количеству растворившегося цинка. Отсюда он заключает, что «электричество, которое разлагает определенное количество вещества, равно тому, которое выделяется при разложении того же количества» (868). Тут же он дает наиболее решительное и ясное толкование всех своих количественных результатов: «Эквивалентные веса тел, — пишет он, — представляют собой такие количества их, которые содержат равные количества электричества» (869).

В этом разделе мы встречаем особенно много высказываний Фарадея об атомах, на чем, к сожалению, мы не имеем возможности остановиться подробнее. Отметим одно: Фарадей — антиатомист, а потому не мог задаться вопросом, что это за таинственное количество электричества, которое постоянно соединено с одним атомом одновалентного вещества. Выражение атом электричества впервые употребил Максвелл — употребил для того, чтобы сейчас же от него отказаться.¹ Серьезное значение вложил в эти слова впервые Гельмгольц в выше цитированной речи (1881 г.) и, наконец, создал атомистику зарядов — электронную теорию — Лорентц в 90-х годах минувшего века. Почти шестьдесят лет понадобилось, чтобы вывести все возможные следствия из тех количественных соотношений, которые найдены Фарадеем. И он, антиатомист, явился первым виновником распространения атомистических представлений на новую субстанцию, виновником невиданного по пышности нового расцвета атомизма.

Вопросам электролиза посвящено еще две главы в восьмой серии; одна (966—988) говорит о напряжении, необходимом для

¹ «Трактат», § 260.

разложения; мы знаем, что диссоциация происходит сама собой; необходимость работы создается образующимися поляризационными электродвижущими силами. Про них знает и автор (969, 1040); но здесь его интересует не эта часть вопроса. Он ищет, нет ли такого предельно низкого напряжения, при котором ток еще проходит, а разложения нет. Это соответствовало бы тому, что у электролита имелась бы некоторая доля электронной электропроводности. Фарадей ее и находил в ряде случаев. Еще при жизни его это утверждение было опровергнуто.

Вторая глава описывает ряд опытов для изучения того препятствия, которое представляет собой разлагающийся электролит. Для этого исследуются явления, возникающие при включении в электролитическую цепь промежуточных пластинок.

Ни тот, ни другой разделы не приближаются по своему значению к двум великим законам, которые Фарадей дал в седьмой серии.¹

В. ПРИРОДА ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ ДЕЙСТВИЙ

(одиннадцатая серия, пп. 1161—1317)

Всякое электростатическое действие Фарадей связывает с индукцией. Когда он употребляет этот термин, он, как это видно из всего содержания настоящей серии, имеет перед глазами картину проводника, находящегося в электростатическом поле и по индукции заряжающегося двумя зарядами: в месте входа силовых линий — отрицательно, в месте их выхода — положительно. Общий заряд проводника, если он до внесения в поле был не заряжен, конечно, остается равным нулю. По мнению Фарадея, эта картина является универсальной, что он и доказывает опытами в различных направлениях. Прежде всего он останавливается на вопросе, можно ли какими бы то ни было способами создать, как он выражается, «абсолютный» заряд, т. е. заряд

¹ Об электролизе идет речь еще в двенадцатой серии (1343—1358), но с специальной точки зрения, вследствие чего мы рассмотрим эти параграфы в разделе «Сущность проводимости».

одного знака, без одновременного создания равного ему и противоположного в другом месте поля (1169—1178). Он напоминает, что в случае проводников дело упрощается тем, что в них заряды всегда сосредоточены на поверхности; сложнее для исследования, в этом смысле, случай диэлектриков, где возможны труднее уловимые внутренние заряды. Чтобы доказать невозможность появления и здесь избыточного заряда одного знака, Фарадей построил свою знаменитую «клетку» — кубическую камеру с сетчатыми стенами, с длиной куба свыше 3,5 метра. Опыты убедили его, что ни в одном случае избыточного («абсолютного») заряда создать не удастся. Собственно говоря, нельзя считать невозможность такого заряда доказанной этими опытами; можно только утверждать, что такая возможность *еще* не доказана. Впрочем, это не мешает нам вместе с Фарадеем (1174) верить в правильность его основного положения.

Но раз общий заряд, получаемый при электростатических опытах, равен нулю, то дело сводится к получению двух противоположных зарядов на двух концах некоторого тела или среды. А это и есть *индукция*. Фарадей высказывает убеждение, что в электрическом поле всякий диэлектрик приходит в такое поляризованное состояние. Но если так, то среда должна оказывать влияние на электрические явления, в ней происходящие. Емкость конденсатора должна измениться, если в него вносится способное к индукции вещество. Специфическую величину, характеризующую эту индивидуальную особенность каждого вещества, Фарадей называет удельной индуктивной способностью. Мы называем ее ныне диэлектрической постоянной; но в тексте перевода мы сочли полезным оставить термин Фарадея, чтобы сохранить связь термина с его физическим происхождением.

Эти соображения приводят Фарадея к его знаменитым опытам по изменению емкости воздушного конденсатора при помещении между его обкладками другого диэлектрика. Опыты произведены с гениальной простотой, поражающей целеустремленностью и с столь же поражающим своей примитивностью инструментарием. Фарадей сам строит свои индуктивные приборы (1187—

1203); свои электрометры, по Кулону (1180—1186); сам отли-
вает полусферические диэлектрические слои (из стекла, серы,
спермацета, шеллака). До сих пор поучительно, как он исклю-
чает «рассеяние» (утечку) электричества и электропроводность
слоя. Он вполне учитывает влияние проводящих частиц, вкрап-
ленных в диэлектрик и тем самым уменьшающих эффективную
толщину диэлектрического слоя.

Несомненно доказав существование «удельной индуктивной
способности» исследованных тел, отличной от единицы, Фара-
дей особенно ревностно изучает газы — изучает всесторонне;
он не упускает ни влияния повышенного давления и разрежения,
ни роли температуры, ни химических особенностей газа — чист-
того или в смеси с другим. Конечно, при тех экспериментальных
средствах, которыми располагал Фарадей, нельзя было заметить
малых величин, на которые диэлектрические постоянные газов
отличаются от единицы; напомним, что, например, у воздуха
диэлектрическая постоянная только при 20 атмосферах отли-
чается от единицы на один процент. Фарадей думал даже,
что «открытая им «одинаковость» диэлектрических постоянных
для всех газов является новым примером тех многочисленных
простых законностей, которые характерны для всех газов (1292).
Впрочем, он сознает (1293), что такие простые результаты могут
объясняться недостаточной точностью опытов.

Доказав существование в телах индукции или поляризации,
Фарадей усматривает в ней первостепенное физическое значе-
ние. По его мнению, всякое электростатическое действие пере-
дается от точки к точке исключительно взаимной индукцией
смежных частиц (1925). «Смежных» — это, по Фарадею, значит
«ближайших». С некоторым разочарованием мы убеждаемся, что
Фарадей пока не отрицает действия на расстоянии, но ограни-
чивает его *малыми* расстояниями между ближайшими части-
цами. Что делается в пространстве, свободном от вещества,
Фарадей не берется здесь истолковывать. Но у него в этой серии
впервые появляется настойчивое указание, что линии индукции
должны друг от друга отталкиваться (см. например, п. 1297),

т. е. они, будучи растянуты в продольном направлении, сжаты в поперечном. Только Максвеллу удалось дать этой гениальной картине напряжений точное количественное выражение.¹

В этой части одиннадцатая серия «Исследований» прочно вошла в науку. Но есть в этой серии и более слабые места. Дело в том, что Фарадей решил этими по существу электростатическими исследованиями опровергнуть теорию дальнего действия и укрепить свою новую точку зрения. Как мы уже упоминали выше, эта попытка осуждена на неудачу: различие между теорией дальнего действия и фарадеевско-максвелловской теорией поля начинается только в переменных — и притом быстро переменных — полях, когда выступает на передний план ток смещения; во всех прочих случаях простыми соотношениями между основными величинами той и другой теорий эти теории приводятся к тождественности результатов в отношении наблюдаемых в электрическом поле взаимодействий. И исторически представление Фарадея о строении и функциях диэлектрика гораздо ранее теории Максвелла привело к теории диэлектриков Клаузиуса — Моссотти, изложенной в терминах теории дальнего действия; понадобилась только небольшая поправка — один коэффициент — в законе Кулона, и вся теория дальнего действия в электростатике делается неуязвимой.

В частности, Фарадей старается доказать, что индукция распространяется от точки к точке по кривым линиям (мы бы сказали: линии индукции суть некоторые кривые). По его мнению, этот факт находится в противоречии с положениями теории дальнего действия, где все силы действуют по прямой. Конечно, здесь имеется недоразумение: ведь вектор индукции в изотропных телах (а Фарадей занимается только ими) имеет одинаковое направление с вектором электрической напряженности. Если искривлены линии индукции, то искривлены и линии напряженности; кривизна этих линий зависит от присутствия в поле нескольких — иногда бесконечно многих — зарядов и из теории

¹ «Трактат», §. 105 и сл.

дальнействия прямым образом вытекает, а вовсе ей не противоречит. Правда, нам теперь легко поучать Фарадея с точки зрения нашей, ставшей для нас уже элементарной, школьной премудрости; не так дело обстояло во время Фарадея. Но хотя он имел право так ошибаться, рассуждения его (1215—1230) все же остаются ошибочными.

По мнению Фарадея, индукция есть первичное явление, предшествующее, например, и току (1164). Повидимому, здесь перед Фарадеем стоит такая картина: данная частица поляризуется — это индукция; на определенной стадии поляризованная частица разрывается — теперь начинается ток. Мы в наши дни усвоили понятие свободных зарядов — не связанных электронов — и не считаем поэтому индукцию необходимой первой стадией явления проводимости. Но Фарадей эту точку зрения настойчиво проводит через все серии «Исследований», и нам с ней придется встретиться многократно.

Г. ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ

(тринадцатая серия, пп. 1617—1666; четырнадцатая серия, пп. 1667—1748)

Эта часть, составляющая содержание разделов 19—22, по своему характеру отличается от прочих частей «Исследований», и прежде всего тем, что они в значительной степени беднее экспериментальным материалом. Здесь Фарадей как бы подводит итог всему своему колоссальному труду, старается извлечь из него все возможное в смысле теоретических выводов. Самые названия разделов в этом отношении характерны:

Раздел 19. Природа электрического тока.

- » 20. Природа электрических сил (т. е. зарядов).
- » 21. Связь между электрической и магнитной силами (т. е. между электричеством и магнетизмом).
- » 22. Замечание об электрическом возбуждении.

Последуем за Фарадеем в изложении его основных взглядов на исследованные им явления.

1. *Природа тока.* Фарадей предостерегает от слишком большой определенности этого термина (1617), однако тут же готов

признать, что сущность явления заключается в поступательном движении зарядов. В токе неотделимы: 1) возбуждение (т. е., по-современному, электродвижущая сила) и 2) разряд (1618); вопрос о возбуждении откладывается (см. ниже, раздел 2.2); разбираются действия разряда. На первом месте называется электролиз (1621), с его «определенностью», т. е. с постоянным отношением между количеством прошедшего электричества и количеством выделившегося вещества. Далее сближается с электролизом конвективный ток (1622) — разница между ними только количественная, а механизмы их одинаковы. Здесь Фарадей открывает путь одновременно к опытам Роулэнда и к нашим современным представлениям, усматривающим тот же механизм и в токе проводимости (конвекция свободных электронов), и в поляризационных токах (конвекция связанных в молекуле электронов); только для «токов смещения в свободном эфире» мы еще не постулируем того же механического переноса зарядов. Наряду с химическими действиями Фарадей говорит о тепловых действиях тока. Здесь, однако, ничего существенного не выясняется, так как закон Джоуля еще не известен, а Фарадей ищет простого соответствия, пропорциональности между количеством тепла, выделенного током, и количеством прошедшего электричества (1625).

Фарадей и здесь (так же, как в главе об электролизе) особо подчеркивает невозможность существования тока одного только рода электричества: в каждом поперечном сечении через проводник должно существовать одинаковое количество зарядов противоположного знака (1627, 1632); через каждое сечение проходит ток одинаковой силы; в отношении постоянного тока вряд ли нужно было бы доказывать эти истины так горячо. Впрочем, как мы говорили выше, Фарадею неизвестен закон Ома. Фарадей отрицает униполярные явления, или, вернее, отказывается видеть униполярность там, где ее усматривали многие другие (1636—1640); он не верит в шаровую молнию (1641). Следует знаменитое определение тока (1642): «...ток есть вещь неделимая — силовая ось, в которой заряды обоих зна-

ков присутствуют в одинаковом количестве». Остроумными соображениями насчет «индукции смежных частиц» Фарадей старается показать, что даже в том случае, когда ток производится переносом, при движении шарика, несущего этот заряд, это правило не нарушается (1643—1645). Признаемся, что самая цель, к которой стремится в своих рассуждениях Фарадей, здесь нам не вполне понятна: нет ли тут неясно выраженной мысли о замкнутости линий тока, которая впоследствии привела Максвелла к представлению о токах смещения.

Фарадей думает и о скорости движения электрических зарядов. Ему ясна разница между скоростью этого движения и скоростью передачи электрических действий (1649). Он пробует вычислять эту скорость для частиц электролита (1651), но делает при этом произвольное (и неправильное) предположение, что в электролизе принимают участие *все* частицы электролита (он думает, как мы знаем, что электролитом является сама вода).

Дальше Фарадей пишет о «действиях тока в сторону» — о магнитных его действиях. Отметим в п. 1654 фразу о том, что, возможно, даже при конвекции будет наблюдаться тот же магнитный эффект (см. также п. 1657). Все мысли Фарадея по этому поводу — это только смелые гадания, так как в его время данные о магнитном действии токов различного вида были весьма сбивчивы и скудны (1655). Так, магнитное действие конвективного тока, найденное гораздо позже (1876 г.) Роулэндом, уже в наши дни дало повод к разным экспериментальным (да и теоретическим) недоразумениям, разрешенным окончательно только в классических исследованиях А. А. Эйхенвальда. Магнитное действие катодных лучей только в опытах А. Ф. Иоффе можно считать впервые (в 1911 г.) установленным и измеренным. Фарадей обращает внимание, что линии электростатической индукции стремятся взаимно отталкиваться, расширяться, и пробует такое — также «боковое» — действие связать и с магнетизмом и с электромагнитной индукцией (1659). И тут вновь выплывает давно забытое самим автором «электротоническое состояние» (1661), которое он сначала изобрел для объяснения

индукции, а потом оставил. Собственные мысли так легко повращаются у каждого автора вновь и вновь... Самое направление исканий Фарадея в кругу этих вопросов отклоняется от того пути, по которому пошла физика в дальнейшем. Так, например, в п. 1658 он сообщает: «Я долго искал — и все еще ищу — такого явления или состояния, которое бы представляло собой для статического электричества то же, что магнитная сила представляет для тока электричества». Мы соединяем ныне с магнитными линиями представление о вихревых линиях, пронизывающих другой вихрь — замкнутые линии тока. Родства с незамкнутыми электростатическими линиями мы в них ныне не усматриваем. Дальнейшие рассуждения этого раздела о природе магнитных сил мы найдем ниже.

2. Раздел 20 (1667—1708) ставит вопрос о природе самих зарядов. Здесь в начале (1669—1678) излагаются основные «верования» Фарадея: частицы всех тел — проводнички; в присутствии электрических сил они мгновенно поляризуются; при прекращении этих сил их поляризация так же мгновенно исчезает. Они могут нести на себе и заряд одного знака. Действие от одной частицы к другой происходит по линиям индукции, причем может передаваться и заряд. Если такая передача происходит легко (при меньшей электрической напряженности), мы имеем проводник; в противном случае — диэлектрик; разница между проводниками и диэлектриками не качественная, а только количественная. Индукция происходит только через диэлектрик, через посредство «смежных» частиц; при проводимости последняя накладывается на поляризацию.

Мы ныне не берем проводника за одну скобку с изоляторами, не считаем частиц диэлектрика проводниками (в том смысле, как это делает Фарадей); поляризацию приписываем и пустому пространству («свободному эфиру»). И все же мы в своих представлениях более сходимся с Фарадеем, чем расходимся с ним: мы усвоили его основной взгляд на электростатическое поле.

Подробно разъяснив свою точку зрения двумя примерами — системы магнитиков и заряженной лейденской банки (1679,

1682—1684), Фарадей переходит к ее дальнейшему уточнению. По его мнению, сближением индуцирующего тела с индуцируемым можно сильно увеличить заряды на концах последнего (1686); и заряд частицы можно, думает он, сделать чрезвычайно большим. Странно, при этом он забывает, что каждая частица несет на себе определенное количество электричества. Мы лучше его помним это им же установленное правило и полагаем, что изменение дипольного момента молекулы происходит не за счет увеличения ее заряда, а раздвиганием этих зарядов постоянной величины на разное расстояние. Не можем мы согласиться и с другими взглядами Фарадея о распределении противоположных зарядов по поверхности проводника-молекулы (1687), о зависимости явлений разряда от вида такого распределения. Наши представления об атоме и молекуле испытали со времени примитивных взглядов Фарадея слишком большую эволюцию.

По мнению Фарадея (1689), молекулы в изотропных телах поляризуются во всех направлениях «с одинаковой легкостью». Мы знаем, что это так. Он правильно ставит задачу о наблюдении соответственных явлений в кристаллах. Сам Фарадей не мог найти различия диэлектрической постоянной по различным направлениям в кристаллах (1690—1698). Ныне в отдельных случаях они известны с большой точностью.

Молекулы обладают свойством поляризации как нечто целое: металлы и металлоиды, в них входящие, не поляризуются отдельно. Иначе как представить себе, что в них проводник — металл — в соединении теряет свои проводящие свойства (1700, 1701)? Электролиты тоже дают Фарадею некоторое уточнение развиваемой им картины; но нам последняя чужда: постулируемое им минимальное напряжение, необходимое для электролиза; якобы существующий закон об отсутствии проводимости твердых электролитов; другой такой же не существующий на деле закон об обязательном составе электролита из эквивалентов («один на один»), — все это объясняется достаточно остроумно, но остроумие тратится на доказательство недоказуемого.

3. *Связь электрической и магнитной силы или сил.* Имеются в виду прежде всего заряды, но иногда и силы в нашем нынешнем понимании. Здесь Фарадей опять становится на прочную базу опыта и ищет, оказывает ли при явлениях электромагнитной индукции промежуточное вещество какое-нибудь влияние на характер или интенсивность этих явлений. Конечно, он стремится обнаружить такое влияние; если бы оно было найдено, то это означало бы, что и магнитные действия распространяются «индукцией между смежными частицами». Но на данной стадии ни один опыт Фарадея в этом направлении не дал ему положительного результата, и такое магнитное действие смежных частиц остается недоказанным. Несмотря на это, Фарадей не отказывается от него окончательно, хотя и указывает на принципиальное различие электричества и магнетизма: линии магнитной силы относительно направления тока суть «боковое» явление, лежащее от тока куда-то в сторону. Может быть, потому оно и распространяется по другому закону? Опять мелькает упоминание об электротоническом состоянии.

К вопросу о магнитных силах Фарадей вернется позже, в следующих сериях своих «Исследований». Там он получит более решительные опытные данные в пользу воззрения, что и магнитное действие есть «действие смежных частиц».

4. Фарадей кончает свои исследования «*Замечаниями об электрическом возбуждении*» (1737—1748). Он в значительной степени повторяет здесь свои прежние рассуждения: возбуждение (электродвижущая сила) не может зависеть от одного контакта между двумя веществами — необходима химическая реакция; иначе ток получить невозможно (1745). Основное представление Фарадея о появлении электродвижущей силы тесно связано с его представлениями о сущности электрохимических процессов: требуется особое расположение частиц (1742) и обменная химическая реакция между ними — так же, как это, по мнению Фарадея, происходит при электролизе; только там все частицы тождественны, а здесь мы имеем обмен между частицами электролита и частицами вещества электрода (518—

524). Хотя Фарадей отрицает тождественность процессов при возбуждении химическим путем и трением (1744), однако и для последнего он предлагает модель, очень близкую к той, которую он создал себе для процесса электролиза (1746, 1747).

Д. ТОЖДЕСТВЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСТВ РАЗНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

(третья серия, пп. 265—379)

Мы позволили себе отнести всю эту серию к числу второстепенных, поскольку современное всеобщее убеждение в тождественности электричеств различного происхождения базируется не на этих исследованиях Фарадея, а скорее связано с теоретическим уяснением явлений на основе закона Ома. Когда оказалось, что последний является универсальным, что все наблюдаемые при разнообразных источниках различия сводятся к различиям электродвижущих сил, внутренних и внешних сопротивлений и соответственных падений потенциала, то для полного успокоения осталась одна задача — измерить и изучить токи от различных источников одними и теми же методами исследования. Напомним, что первый шаг в этом направлении сделал сам Вольта, который уже обнаруживал разности потенциалов на борнах изобретенного им столба электростатическими методами (с помощью им же изобретенного электроскопа с конденсатором). Фарадей стремится к тому же и даже производит первые сравнительные измерения (361—379). Обратим внимание, что в первом столбце его сводной таблицы стоит еще констатация *физиологических* действий (пробы на язык и на содрогание конечностей лягушки); магнитное отклонение занимает уже *второе* место; на четвертом стоит *искра*, смешиваемая при этом с *дугой*.

Е. СУЩНОСТЬ ПРОВОДИМОСТИ

(четвертая серия, пп. 380—449; двенадцатая серия, пп. 1318—1479 и часть тринадцатой серии, пп. 1480—1616)

В первой части этих исследований (в четвертой серии) Фарадей обнаруживает совершенно новый, по его мнению, закон электролитической проводимости, а именно: полную потерю тако-

вой при затвердевании. Ныне мы знаем, что это не так, и прослеживаем постепенное возрастание проводимости уже твердого кристалла (правда, очень быстрое вблизи точки плавления). Но и Фарадей заметил, что при высоком напряжении кристаллы проводят уже и при низких температурах.

Двенадцатую серию Фарадей посвящает, как он пишет сам, вопросам индукции. На самом деле и в этой, и в следующих сериях речь идет о проводимости. Именно здесь Фарадей, как мы упоминали выше, старается доказать, что индукция и проводимость — одно и то же. Для этого Фарадей рассматривает один за другим различные виды «разряда» (т. е. тока) и сопоставляет в этих различных случаях диэлектрические и кондуктивные свойства вещества. Он знает следующие виды разряда:

- ток проводимости (металлической);
- то же, электролитической;
- искру;
- кистевые разряды;
- светящийся разряд;
- темный разряд;
- конвекционный ток.

Начнем вместе с Фарадеем с токов проводимости (1320—1342). Ход мыслей здесь таков: если взять даже хороший изолятор, то он через некоторый — правда, очень большой — промежуток времени позволяет противоположным зарядам соединиться; настоящий проводник позволяет тому же действию произойти необыкновенно быстро. Различие, стало быть, во времени — различие не качественное, а количественное. Отсюда делается вывод, что и вообще процессы в проводниках и диэлектриках происходят по существу одинаковые; по мнению Фарадея, это — индукция, или поляризация смежных частиц. Так как при поляризации две частицы, расположенные на одной линии индукции, повернуты друг к другу противоположными зарядами, то они могут эти заряды друг другу передавать. Это будет уже ток; ток обязательно предшествует индукция.

Мы не делаем таких заключений; мы полагаем ныне, что в веществе могут существовать рядом свойства диэлектрические (связанные электроны) и свойства проводимости (свободные электроны, ионы). Но если эти свойства существуют рядом, то это еще не значит, что они представляют собой одно и то же. Следует признать, что все относящиеся сюда рассуждения и выводы Фарадея представляют собой некоторое преувеличение идеи индукции — преувеличение, которое, наверное, компрометировало самую идею в глазах теоретиков. Отметим один параграф, где Фарадей выражает мысли, похожие на современные (1338); он пишет здесь: «... можно сказать, что изоляторами являются те вещества, частицы которых могут удерживаться в поляризованном состоянии, а проводниками — те, частицы которых не могут оставаться устойчиво поляризованными». Но дальше он опять сбивается на тождество этих явлений.

Понятие о времени разряда сохранилось у нас и уточнилось в понятии о релаксационном времени.

Фарадей с сочувствием описывает опыт Уитстона, сделавшего попытку определить скорость распространения электрических явлений. Как известно, он при этом впервые применил метод вращающегося зеркала — прототип позднейших опытов Физо и Фуко. Конечно, мы имеем при распространении возмущений по проволокам явление более сложное, чем просто скорость движения зарядов. Но теория этого явления дана гораздо позже: с точки зрения теории дальнодействий — Кирхгоффом, Стефаном; с точки зрения максвелловой теории — только Герцем.

Далее следует краткое напоминание взглядов Фарадея на сущность электролитической проводимости (1343—1358). И здесь говорится о первоначальной индукции, которая, достигнув определенного напряжения, позволяет двум зарядам разъединиться, чтобы соединиться затем с встречными противоположными зарядами. Мы не знаем этого минимального напряжения, с которого начинается разряд; у растворов, конечно, существуют диэлектрические свойства, но они проявляются независимо от

проводимости, рядом с ней, а не совпадая с ней. И здесь упоминается о родстве электролиза с конвекцией (1347).

Фарадей несколько затруднен обстоятельством, почему различные добавки (солей, кислот, щелочей) делают воду более проводящей: ведь электролитом является, по его представлению, она сама (1355 и сл.). Вопрос этот, конечно, разрешения у Фарадея найти не мог. Отметим опыт с кусочками шелка, располагающимися вследствие поляризации вдоль линии силы (1350).

Далее Фарадей переходит к явлениям разрывного разряда, предпосылая изучению отдельных его видов несколько общих соображений (1359—1405). Его представление и здесь остается прежним: частицы газа (он говорит главным образом о газах) поляризуются; когда поляризация или индукция достигает некоторой величины, молекула разрывается, образуя ионы, вследствие чего и появляется электропроводность. Эти взгляды Фарадея старается привести в согласие с существовавшими к тому времени опытными данными Гарриса (1363—1367) о зависимости искрового промежутка от давления и температуры газа. Ему кажется, что теория и опыт хорошо друг с другом совпадают.

В этом отделе мы находим и новые опыты Фарадея над тем, что мы теперь называем диэлектрической прочностью. Здесь Фарадей опять в своей истинной сфере и опять показывает нам, с какими ничтожными средствами он умеет добиваться нужных результатов. Цель его — показать, что вещество газа принимает активное участие в явлении пробоя, что здесь опять имеет место «действие смежных частиц» и индукция. Он обнаруживает, что газы, столь *одинаковые* в отношении диэлектрических свойств, в отношении пробоя обладают резко индивидуальными чертами.

Теперь Фарадей переходит к отдельным видам разряда. На первом месте у него стоит искра (1406—1424). И для искры Фарадей указывает приблизительно прежний механизм: растет индукция каждой отдельной частицы, и этим подготавливается путь для разрыва всех частиц по одной линии, на которой случайно для этого возникнут наилучшие условия. Путь, по которому проскакивает искра, представляет собой почти проводник.

Когда искра проскакивает, падает напряжение, слабеют силовые линии, прекращается их поперечное взаимное отталкивание (1411). Исходя из этих соображений, Фарадей ожидает, что две параллельные искры будут друг к другу притягиваться. Однако опыты, которые он поставил для проверки этого предположения, не удались (1412 и сл.). Но зато Фарадей заметил важное явление, что искра в одном искровом промежутке облегчает проскакивание искры в соседнем искровом промежутке (1417). Объяснить это явление Фарадей не сумел. Это открытие было заново сделано ровно через пятьдесят лет, в 1887 г., Герцем, который выяснил, что оно производится действием ультрафиолетовых лучей, испускаемых первой искрой. Отсюда родился фотоэффект. Фарадей сблизил свое открытие с другим фактом, им замеченным (1418), что «разряд способствует сам себе», т. е. искра, например, проскакивает преимущественно по прежнему пути, повторяя его зигзаги. Мы теперь легко объясняем это явление *ионизацией*, произведенной искрой на первом своем пути. С другой стороны, мы думаем, что разрыв частиц происходит не под прямым влиянием электрических сил, а под действием удара ионов. Но это явление, изученное Тоунсендом (1903 г.) и отчасти Штарком, конечно, еще не могло быть привлечено Фарадеем к объяснению явлений так называемого самостоятельного разряда. Фарадей изучает так же цвет искры в разных газах. Это, пожалуй, примитивный опыт спектрального анализа, впрочем, еще без спектроскопа.

От искры Фарадей переходит к кистевым разрядам (1425—1464). И здесь он преследует цель — установить индивидуальные свойства газов в отношении кистевых разрядов, чтобы тем подкрепить свою постоянную точку зрения индукции смежных частиц. Разветвления кисти приблизительно следуют своими изгибами направлению линий индукции. Механизм кисти — тот же, что и искры; одна незаметно переходит в другую при изменении давления; особенно часто упоминается о «частицах воздуха, заряженного электричеством», — заблуждение, повторявшееся вплоть до Экснера и Крукса.

Значительное место (1465—1525) Фарадей отводит вопросу о том различии, которое наблюдается при кистевом разряде близ двух противоположно заряженных электродов. И здесь Фарадей поворачивает дело так: он доказывает, что наблюдаемое различие полюсов различно в различных газах и, следовательно, зависит не от проводников, а именно от газов — от индукции смежных частиц. Самому же различию полюсов Фарадей объяснения дать не может; он только высказывает предположение, что поляризация, предшествующая разряду, различна у двух противоположных полюсов. Это, конечно, весьма слабое место, и Фарадей, чувствуя это, пишет (1523): «Результаты, связанные с условиями, различными для положительного и отрицательного разрядов, окажут на теорию учения об электричестве значительно большее влияние, чем мы можем себе представить в настоящее время». В этом Фарадей оказался прав: изучение этого различия дало современной физике электронную теорию.

Мы позволим себе совсем не останавливаться на разделах о светящемся («тлеющем») разряде (1526—1543) и скажем только несколько слов о разряде темном (1544—1561). Это знаменитое «фарадеево темное пространство». Его природа смущала не одного Фарадея, а всех занимавшихся газовыми разрядами физиков — вплоть до того момента, когда понятие об ударе ионов и о длине их свободного пути сразу разъяснило вопрос.

Наше общее впечатление о главах, посвященных Фарадеем разрывному разряду: Фарадей стоял на неверном пути, и это не могло быть иначе: огромная работа, продолжавшаяся более чем полвека, и теоретическая и экспериментальная, должна была расчистить дорогу новым плодотворным воззрениям корпускулярной теории электричества. Фарадей жил в период первоначального накопления знаний в этой области — в период, когда приходилось доказывать, что газы не мешают проводимости, а создают своим присутствием эту проводимость. И все же достаточно сравнить эти главы его книги, эту пытлившую, целеустремленную работу, с такой книгой, как, например, «Электрические световые явления» Лемана, чтобы увидеть, что и через

шестьдесят лет после Фарадея нужно было быть Фарадеем, чтобы распутаться в этом лабиринте громадного, сваленного в беспорядочную кучу материала.

Нам остается разобрать два раздела: о конвективных токах и об отношении к токам пустоты. Впрочем, и эти отделы представляют относительно малый интерес по сравнению, например, с тем, что мы видели по этим же вопросам в нашем отделе «Общих соображений». По вопросу о *конвективном* токе (1562—1612) Фарадей не высказывает никаких принципиальных взглядов; его цель — проследить возможно подробнее явление электрического ветра, возникающего около острия и вообще при больших напряженностях около поверхности. По его мнению, здесь дело заключается в зарядении частиц воздуха (или другого газообразного или жидкого диэлектрика) и последующем отталкивании заряженной частицы от поверхности проводника. Конечно, мы и в *этом* случае отрицаем теперь зарядение частиц (т. е. молекул) воздуха. Кстати, и механизм зарядения Фарадей предполагает (1564 и сл.) излишне сложный, так как, по-видимому, не может себе представить, чтобы поляризованная частица — значит, заряженная двумя одинаковыми, но противоположными зарядами, — могла притягиваться к индуцирующему проводнику; между тем, в неравномерном поле такое притяжение, несомненно, будет иметь место. Фарадей правильно полагал, что частиц, несущих заряды, в струе электрического ветра, сравнительно немного, но они увлекают за собой прочие частицы просто трением (1592).

По вопросу о роли *пустоты* (1613—1616) Фарадей определенно не высказывается — в его время «хорошей» пустоты получить еще не умели. Поэтому основной вопрос о том, проводит ли совершенная пустота, остается без ответа. Мы имеем здесь еще раз категорическое заявление Фарадея, что он не отрицает действия на расстоянии, а утверждает только, что всякая промежуточная среда, заполняющая пространство между двумя взаимодействующими зарядами, принимает участие в явлении и в значительной части берет на себя роль передаточного механизма (1616)

Ж. КОНТАКТНОЕ ДЕЙСТВИЕ АНОДНО-ПОЛЯРИЗОВАННОЙ ПЛАТИНЫ

(шестая серия, пп. 564—660)

Эта серия, по собственному признанию Фарадея, не имеет совсем прямого отношения к основному предмету «Исследований» (564), но она важна как предостерегающая от возможных погрешностей при вольтаметрических измерениях. Фарадей открыл, что выделяющийся в вольтметре гремучий газ может, при надлежащих условиях, вновь образовать воду и исчезнуть для измерений. Он обнаруживает, что явление происходит под действием платины, служащей полюсами (567). Из двух полюсов особенно энергично действует анод; действие, однако, наблюдается и у катодно-поляризованной пластинки (588), хотя и в более слабой степени. В конце концов выясняется, что поляризация не при чем, и можно достигнуть того же эффекта тщательной очисткой платиновой пластинки — химическими операциями или даже простым прокаливанием (590). Явление прослеживается количественно, в смысле сохранности его; находятся вещества, мешающие соединению водорода с кислородом (окись углерода, этилен и др.); это мешающее действие в разных случаях имеет различную природу (638—655).

Серия особенно интересна в связи с тем, что дает Фарадею повод высказать свое воззрение — воззрение того времени — на молекулярные явления. Как мы уже упоминали выше, он, хотя и антиатомист, говоря о газе, рассуждает об его частицах; давление газа объясняется отталкивательными силами, действующими между его частицами (626). Со стороны твердого тела частицы, по мнению Фарадея, такого отталкивания не испытывают, так как Дальтон своим законом показал, что частицы одного газа ведут себя в другом, как в пустоте; тем менее должно, по мнению Фарадея, проявляться взаимное отталкивание между частицами газа и совершенно чуждым ему твердым телом. Он высказывает предположение, что оно, во всяком случае, раза в два меньше, чем внутри газа. А при уменьшении отталкивательных сил должно легче происходить сгущение и свя-

занное с ним *действие массы*. К этому и сводится весь эффект катализа.

Конечно, ныне все эти теории уже не имеют права на существование. Но самое открытие каталитического действия анодно-поляризованной платины остается. Направленность и убедительность эксперимента стоят во всей главе на обычной фарадеевской высоте.

3. О ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ БАТАРЕЯХ

(восьмая серия, пп. 875—965 и 989—1047; десятая серия, пп. 1119—1160)

Главное исследование Фарадея о природе и происхождении электродвижущей силы произведено значительно позже и помещено в III томе «Исследований». То, что мы находим здесь, — в некотором роде предварительные соображения. Фарадей уже здесь решительным образом становится на сторону ученых, видящих источник электродвижущей силы в химическом действии между металлом одного из полюсов и жидкостью элемента. Чтобы доказать, что соприкосновение металлов здесь не при чем, он ставит ряд изумительных опытов, которые для нас, не участвующих в горячих спорах начала прошлого столетия, не оставляют никаких сомнений (880 и сл.). Он доказывает это и на безводных парах, с расплавленным электролитом в качестве жидкости. Он развивает много глубоких мыслей о тождественности и эквивалентности процессов, происходящих, с одной стороны, в элементе, с другой — в вольтаметре. По его мнению, единственное различие здесь заключается в том, что в первом случае силы сродства (они же — электрические притяжения) определяют направление процесса и тока, а в другом протекающий ток, преодолевая силы сродства, действует в противоположном им направлении.

Фарадей полагает, что перед прохождением тока электролит находится в состоянии особого напряжения. Он его ищет, пользуясь поляризованными лучами, но все его попытки остаются тщетными. Тогда, невольно играя словами, он обращается к

электрическим методам обнаружения напряжения, уже электрического, разумеется. Он находит, что сближение проводов производит искру — лучшее доказательство напряжения. Мы видим, что амперовский термин «электричество напряжения» волею Фарадея в некоторый логический скачок. Искру уже его современники при описываемых им условиях считали невозможной; разность же потенциалов на полюсах батарей обнаруживал гораздо ранее Вольта.

Если бы Фарадей был прав в своем допущении напряжения в электролите, то при замыкании мы имели бы только кратковременный ток смещения; разряжаться в виде постоянного тока оно, конечно, не могло бы.

Все же споры о происхождении электродвижущей силы легко разрешаются энергетическими соображениями: для того, чтобы произвести ток, со всеми его тепловыми, химическими, механическими и прочими действиями, явно необходима постоянная затрата энергии; такой затраты не производится при простом соприкосновении двух металлов.

Далее развивается ряд соображений относительно действия уже не отдельных элементов, а целой батареи. В настоящее время все они представляются чрезвычайно элементарными (989—1006). Затем дается ряд практических указаний (1034—1047), также не слишком большого значения.

В десятой серии описывается новая батарея, построенная Фарадеем.

Нет надобности подробно разбирать эту главу, но можно смело рекомендовать познакомиться с ней всякому, кто хочет составить себе ясное представление об эпохе Фарадея, о ничтожных масштабах технического оснащения лабораторий того времени и о том громадном балластном труде, который ложился на плечи ученого для выхода из этого положения. Вряд ли Фарадей потратил на существо своих гениальных открытий больше времени, чем на изоляцию проводов, наматывание катушек, постройку, исследование и усовершенствование батарей и на уход за ними.

До сих пор мы ничего не говорили о Фарадее как о человеке. Но и в этом отношении его книга дает нам материал первостепенного значения.

Фарадей предстает нам здесь как живой — этот гениальный самоучка, прошедший путь от места ученика переплетного заведения до положения увенчанного всеми академиями мирового ученого; преодолевший гигантским, неутомимым трудом недостаток своей подготовки и опрокинувший мировоззрение, выработанное лучшими представителями тогдашней цеховой науки; подготовивший нынешним государствам и народам возможность электрификации промышленности, — совершивший все это и сохранивший до конца весь юношеский энтузиазм и неугасаемую веру в дело науки, своей науки, а вместе с тем всю ту скромность, с которой он впервые постучался в двери лаборатории Королевского института. И расставаясь с ним в конце нашего очерка, мы убеждены, что и себя лучше всего описал великий ученый, когда написал в предисловии к «Исследованиям» скромные строки: «Другие части настоящих исследований также удостоились чести критического внимания различных ученых; всем им я весьма обязан; некоторые из их поправок я указал в подстрочных примечаниях. В других случаях я не почувствовал силы этих замечаний: время и прогресс науки наилучшим образом решают вопрос. Я не могу, положа руку на сердце, сказать: я желал бы, чтобы обнаружилось, что я ошибался. Но я горячо верю, что развитие науки в руках ее многочисленных и ревностных современных исследователей даст такие новые открытия и такие общеприложимые законы, что оно и меня заставит думать, что все то, что написано и пояснено в настоящих «Экспериментальных исследованиях», принадлежит к уже пройденным этапам науки».

Т. П. Кравец

ПРИМЕЧАНИЯ РЕДАКТОРА ¹



Первая серия

1. Электричество напряжения — статическое. Термин этот заимствован Фарадеем у Ампера.

2. Ампер (Андре Мари, 1775—1836), — член Парижской Академии Наук, один из величайших электродинамистов. Его сочинения по электродинамике (на русском языке) готовятся к печати. Биографию его см. в «Воспоминаниях» Араго. — Араго (Доминик Франсуа Жан, 1786—1853) — непреходящий секретарь Парижской Академии Наук, физик и астроном; работал преимущественно в области оптики; друг Френеля; ранее открытия электромагнитной индукции Фарадеем нашел, что диск, поставленный около вращающегося магнита, увлекается последним во вращение (см. ниже, пп. 81—139). — Электричество напряжения — см. примечание к п. 1.

6. Пример того, как Фарадей сам изготовляет изолированный провод и катушки.

7. Двойные медные пластинки (часто встречаются и в дальнейшем), как видно из последующего, представляют собой такое расположение, при котором отрицательный цинковый полюс для увеличения активной поверхности и уменьшения сопротивления помещен между двумя медными пластинками, соединенными параллельно и служащими положительным полюсом.

10. Двойные медные пластинки — см. п. 7. Обращает на себя внимание способ количественной характеристики тока.

22. Проба на язык, на искру, на нагревание проволоочки или древесного угля считается для убедительности обязательной. См. ниже третью серию, пп. 265—360.

¹ Цифра, стоящая перед каждым примечанием, указывает параграф, к которому оно сделано. Ссылки в примечаниях, как и в тексте Фарадея, также указывают параграфы.

24, 25. Обыкновенное электричество — статическое.

26. Электричество напряжения — см. п. 1.

38. 41. Полюс с меткой — северный полюс магнита. См. примечание автора к п. 44.

44. Найт (д-р Говин Н., умер в 1772 г.) — врач, интересовавшийся магнетизмом; изготовил большой магнит, впоследствии оказавшийся во владении Королевского общества. — Кристи (по всей вероятности, Сэмюэль Гентер Кристи, 1784—1865) — врач и магнитолог.

56. К упомянутым в п. 22 пробам здесь прибавляется проба на содрогание лягушечьих лапок. — Даниэль (Джон Фредерик, 1790—1845) — член и секретарь Королевского общества; оставил многочисленные работы в области инструментальной метеорологии (гигрометр Даниэля); в 1836 г. опубликовал описание элемента, носящего его имя. — Здесь Фарадей впервые отмечает значение продолжительности индущирующего действия.

57. Молль (Геррит, 1785—1838) — профессор в Утрехте. Занимался вопросами скорости звука, электромагнетизма и пр. — Генри (Джозеф, 1797—1878), знаменитый американский ученый, независимо от Фарадея также занимался индукцией. Его большой электромагнит описан в *Silliman's Journal* за 1831 г. — О Тен-Эйке не удалось получить указаний.

60, примечание. Гашетт (Жан Никола Пьерр, 1769—1834) — профессор *Ecole Normale*, член Парижской Академии. Постоянный корреспондент Фарадея (см. ниже пп. 139, 379); работал также и в области электрохимии.

68. Любопытное указание, что напряжение разомкнутой батареи выше, чем при установившемся токе.

69. Намагничиванию приписывается, как известно, заметная продолжительность.

71. Обращает на себя внимание указание зависимости сопротивления от размеров проводника.

72. Исходя из представления об электротоническом состоянии, Фарадей предугадывает необходимость явлений самоиндукции, но пока не умеет их обнаружить. См. ниже девятую серию, пп. 1048—1118.

73. Теперь бы мы сказали, что во всех телах под влиянием электромагнитной индукции появляется электрическая напряженность; в проводниках она сопровождается током проводимости. — Обратим еще внимание на утверждение Фарадея, что электростатическая индукция связана со всей массой вещества, а не с отдельными частицами; впоследствии, как мы увидим, он развивает противоположные воззрения.

76. Волластон (Уильям Гайд, 1766—1828; собственно, его имя произносится Ууллстен; мы оставили привычное русское написание) — крупнейший химик; открыл родий и палладий, изобрел ковкую платину, изобрел так называемые волластоновские нити, криофор и многое другое. Считается автором закона кратных отношений в химии.

77. Марианини (Стефано Джованни, 1790—1866) — профессор в Модене, автор многочисленных работ по электрохимии, теории гальванической батареи и аккумуляторов, магнетизму и др. — Риттер (Йоганн Вильгельм, 1776—1810) — член Баварской Академии, автор многочисленных трудов по электрохимии и теории гальванических элементов; в 1803 г. открыл заряжающиеся элементы (аккумуляторы). — Ван Бек (Альберт, 1787—1856) — член Амстердамской Академии; писал по вопросам магнетизма, электрической искры, влияния металлов друг на друга при соприкосновении и др. — Де ля Рив (Огюст Артур, 1801—1873) — профессор в Женеве, весьма плодовитый автор, был в дружбе и переписке с Фарадеем. Много работал и в области электрохимии.

78. Опыт Ампера понят Фарадеем неверно; описывая его не по первоисточникам, он впадает в ряд ошибочных утверждений. См. примечание после п. 379.

79, примечание. Френель (Огюстен Жан, 1788—1827) — гениальный оптик, создатель волновой оптики, учения о поляризации света и распространении света в кристаллах. Здесь Фарадей имеет в виду едва ли не единственную работу Френеля по электричеству: «Об опытах, имеющих целью разложение воды посредством магнита» (*Annales de Chimie et de Physique*, XV, 1820). — Берцелиус (Енс Якоб, 1779—1848) — профессор и член Академии в Стокгольме, один из крупнейших химиков своего времени. Ввел пользование химическими формулами. Создал электрическую теорию химического сродства. Написал свыше 200 работ.

80. Гершель (сэр Джон, 1792—1871) — член Королевского общества; наукой занимался как частное лицо, и притом в самых разнообразных направлениях (астрономия, математика, химия); здесь идет речь о работе 1825 г.: «Повторение опытов Араго с магнетизмом при вращении». — Бэббедж (Чарльз, 1792—1871) — одно время профессор математики в Кэмбридже; опубликовал много работ математического содержания; работа на вышеуказанную тему, совместная с Гершелем, является исключением. — Гаррис (впоследствии — сэр Уильям Сноу, 1792—1867); из большого ряда его работ назовем определение относительной электропроводности металлов, исследование о грозах и др.

81. Как было указано выше (примечание редактора к п. 2), опыт Араго был произведен им ранее открытия Фарадеем электромагнитной индукции, но правильно объяснен мог быть только после работ последнего.

82. Уголь в особом состоянии — кокс.

114, 116, 118. Целый ряд правил для определения направления индукционного тока. Ясно огромное упрощение, создаваемое современным векторным исчислением и его операциями векторного умножения и образования «ротации». — В п. 114 Фарадей в первый раз говорит о линиях магнитной

силы, которые сыграли такую исключительную роль в последующем развитии теории и техники.

121. Статьи Фарадея о магнитном вращении собраны в III томе «Исследований».

137. Барлоу (Питер, 1776—1862) — профессор Военной академии в Вульвиче. Написал ряд сочинений по математике, магнетизму (в частности, по магнитной защите), по постройке оптических приборов. Здесь имеется в виду работа: «Временное магнитное действие, индуцируемое в железных телах вращением».

139, примечание автора. Один из немногих случаев, когда Фарадей настойчиво боролся за свой приоритет. См. его статьи в *Philosophical Magazine* за 1832 г., а также его письмо к Гей-Люссаку (1 декабря 1832 г.), как издателю *Annales de Chimie*. Они собраны во II томе «Исследований». — Нобили (Леопольдо, 1784—1835) — профессор во Флоренции, автор многочисленных работ по электрохимии, магнетизму, термо-электричеству; изобрел астатическую стрелку. — Об Антинори мы не могли найти никаких биографических указаний.

Вторая серия

143, 145, 146. Полюс с меткой — см. примечание к п. 38.

147. Интересно предложение измерять возмущения земного магнетизма индуктивными токами, что в последующем было использовано самим Фарадеем.

152. Полюс без метки — см. п. 38.

163. «Силы» здесь вместо «заряды».

164, 166, 168, 172, 173, 175. Полюс с меткой, полюс без метки, полюс земли без метки — см. п. 38 и примечание автора к п. 44.

181. В рассуждениях этого и следующих параграфов упускается, что магнитное поле Земли при её вращении движется вместе с нею и всеми измерительными приборами, вследствие чего ни один из опытов и не должен удаваться.

187. Фокс (Роберт Уэйр, 1789—1877) — фальмутский (в Корнуэльсе) купец; написал несколько научных работ по магнетизму пород, земным токам в них и пр.

188. Легко рассчитать, если принять скорость воды в 5 км-час, что электродвижущая сила в этом опыте должна составлять около семи милливольт.

192. Как известно, ныне полярные сияния отождествляются со свечением под действием катодных лучей, проникающих в атмосферу в *вертикальном* направлении.

193. Результаты опытов, описываемых в следующих параграфах (до п. 200), легко объясняются тем, что во всех проводках, имеющих одинаковые

размеры и одинаковую ориентацию, при равных условиях возбуждаются одинаковые электродвижущие силы. Автору это неясно, так как он вообще не знает, что индуцируются именно электродвижущие силы, а не ток. Отсюда все его недоумения (см., например, 202).

206. Фарадей пользуется здесь схемой в последствии бывшего некоторою время в употреблении дифференциального гальванометра.

213. Во сколько раз проще стало бы рассуждение, если бы воспользоваться законом Ома!

220. В настоящее время мы не думаем, чтобы опыты с униполярной индукцией доказывали «независимость магнетизма» в стержне. См., например, *Handbuch der Elektrizität* Греча, V, стр. 20—28.

222, 226. Полюс без метки — см. п. 38.

231. Здесь автор решительно порывает с своей прежней гипотезой об особом электротоническом состоянии веществ вокруг тока.

238. Гениальное провидение конечной скорости распространения электромагнитных явлений. Только картина при прекращении тока не верна: здесь происходит не стягивание линий к проводу, а распространение от провода линий противоположного направления.

245, 248. Полюс с меткой — см. п. 38.

249. Стёрджен (Уильям, 1783—1850) — сапожник, солдат, артиллерист, преподаватель физики, заведующий музеем в Манчестере; написал ряд работ по электричеству; считается изобретателем электромагнитов, амальгамирования цинка и др.

252. Полюс с меткой — см. п. 38.

256. Фарадей говорит о «вызываемой в проводе силе», но не видит, что это — электродвижущая сила.

257. Это должно значить, что во всех проводах, независимо от их проводимости, при одинаковых размерах, положении и скорости движения, индуцируются одинаковые электродвижущие силы.

259. Здесь некоторою недоразумение, о котором см. п. 181.

Третья серия

265. Кэвендиш (Генри, 1731—1810). Занимался наукой частным образом. Знаменит как автор первого лабораторного определения коэффициента пропорциональности в формуле всемирного тяготения (1798). — Колладон (Жан Даниэль, 1802—1892) — профессор в Париже и Женеве; произвел ряд исследований в области акустики, в том числе определял скорость звука в воде. Одновременно с Фарадеем, но неудачно, пробовал обнаружить индукционные явления. — Дэви (сэр Гемфри, 1778—1829) — президент Королевского общества, знаменитый химик, учитель Фарадея. Главные его труды.

безопасная лампа для углекопов (1828), электрохимическое разложение щелочей и щелочных земель и др. Написал элементарное руководство по химии (1812). Десять томов его трудов издано его братом. — Ритчи (Уильям, умер в 1837 г.) — профессор физики в Лондонском университете и в Королевском институте. Известен его фотометр; ему принадлежит ряд трудов по акустике, электричеству и др.

267. Электричество напряжения — см. п. 1.

269. Обыкновенное (ordinary) электричество — статическое.

270. Двойные медные пластинки — см. п. 7.

270, 271, 274. Обыкновенное (common) электричество — статическое.

274. Фарадей полагает, что *искра*, получаемая от статического источника, так же как дуга объясняется нагреванием изолирующего газа.

280. Здесь опять дуга отождествляется с искрой.

282. Обыкновенное электричество — статическое.

283. Силы (forces) здесь — заряды (в обоих случаях).

284, 286, 288. Обыкновенное электричество — статическое.

289. Савари (Феликс, 1797—1841) — астроном, член Парижской Академии. Автор нескольких трудов по электродинамике.

291. Толщина стекла не сообщается.

292, 293, 301, 304, 305. Разряжающий провод — заземление. В дальнейшем этот термин встречается очень часто.

307, 309, 310. Обыкновенное электричество — статическое.

312, 321. Разряжающий провод — см. п. 292.

328. Пирсон (Джордж, 1751—1828) — врач в Лондоне; оставил ряд работ химического содержания. — Петс ван Трооствик (Адриан, 1752—1837) — амстердамский купец. Ему принадлежит много работ по электричеству, в особенности в сотрудничестве с ван Марумом и Дейманом. — Дейман (Иоганн Рудольф, 1743—1808) — врач в Амстердаме; написал ряд работ химического содержания.

329. Первое по времени упоминание «1-го закона Фарадея».

330, 331, 332, 333. Обыкновенное электричество — см. п. 269.

333. Здесь, повидимому, опять смещение дуги и искры.

335. Обыкновенное электричество — см. п. 269.

336. Бонижоль (Луи, 1796—1869) — механик в Женеве. — Обыкновенное электричество — см. п. 269.

338. Берри (Александр, умер в 1832 г.) — профессор химии. Опубликовал работу о химических действиях атмосферного электричества.

338, 339. Обыкновенное электричество — см. п. 269.

343, 344. О Пиксии и Дункане биографических данных не имеется; Пиксии — конструктор первой «магнито-электрической машины».

346. Ботто (Джузеппе Доменико, 1791—?) — профессор в Турине. Работал по электрохимии, броуновскому движению, фотометрии и др. —

Машинно-электрическое разложение — разложение статическим электричеством.

349. Зеебек (Томас Иоганн, 1770—1831) — член Берлинской Академии Наук. Открыл явление термоэлектричества (1822).

351. Уолш (Джон, умер в 1795 г.) — автор двух работ об электрических рыбах. — Ингенгусс (Ян, 1730—1799) — врач и ученый, по рождению голландец, жил в Англии; опубликовал целый ряд трудов, в том числе и об электрических рыбах. Известен «опыт Ингенгусса» (теплопроводность стержней разного состава). — Дэви (Джон, 1791—1868) — врач и химик, брат сэра Гемфри. — Обыкновенное электричество — см. п. 269.

358. Гумбольдт (Александр, 1769—1859) — знаменитый путешественник и естествоиспытатель, работавший почти во всех областях естествознания. Автор «Космоса». Работа об электрических рыбах относится к 1819 г. — Фальберг (Самуэль, 1755—1834) — врач в Стокгольме, потом инженер; написал несколько научных работ, в том числе об электрических рыбах. — Лесли (сэр Джон, 1766—1832) — профессор сначала математики, а потом физики в Эдинбурге. Известен исследованиями лучистой теплоты. — Брайли (1801—1870) — ученик Фарадея, играет некоторую роль в инцидентах между Дэви и Фарадеем. См. М. Р а д о в с к и й. Фарадей, стр. 53.

360. Об Уаткинсе данных найти не удалось. — Маттеуччи (Карло, 1811—1868) — профессор в Болонье и Равенне; автор большого числа работ по электрофизиологии, фосфоресценции, вращению плоскости поляризации и др. — Линари (или Санти-Линари, 1777—1858) — профессор в Сиене. Писал о животном электричестве.

364. Генли (Уильям, умер в 1779 г.) — лондонский мануфактурный торговец, автор ряда трудов по электричеству. Его электрометр состоит из легкого шарика, подвешенного на нити около заряженного тела. Отклонение шарика, отсчитываемое по расположенной рядом шкале, дает понятие о потенциале.

367. Здесь пропорциональность предполагается между отклонением и общим количеством прошедшего электричества. Это принцип баллистического гальванометра.

368. Правило Гарриса, конечно, неверно. Но Джоул в то время еще не написал своего закона.

371. $60^{\circ} \text{ F} = 15,6^{\circ} \text{ C}$. Настоящий параграф (и сл.) особенно типичен для времени, когда электрические единицы еще не были установлены.

377. Первая и не особенно точная и решительная формулировка так называемого «1-го закона Фарадея»; см. седьмую серию.

379, примечание. Демонферран (Жан Батист, 1795—1844) известен как автор «Руководства по динамическому электричеству», на которое и ссылается Фарадей. Данное примечание относится и к п. 78 и к подстрочному примечанию к п. 79.

Четвертая серия

381. Повидимому, Фарадею принадлежит открытие, что лед является непроводником.

384. Двойные медные пластинки — см. п. 7. — Электродвижущая сила могла быть порядка 30—40 вольт.

389. ЭДС от 225 до 300 вольт.

395, 397. Относительно химической терминологии — см. таблицу после текста.

401. Обычная теперь проба со стеклышком.

402. Современные названия веществ — см. таблицу после текста.

404. По современным представлениям, стеклообразные вещества являются переохлажденными жидкостями, вследствие чего при нагревании и размягчении первенствующую роль в увеличении проводимости играет уменьшение вязкости.

410. В настоящее время, в особенности после работ П. И. Вальдена, принимается, что диссоциирующее действие воды при растворении объясняется ее чрезвычайно высокой диэлектрической постоянной. Странным образом Фарадей в п. 1356 тоже говорит о диэлектрической постоянной, но, повидимому, не воды, а солей.

412. Нам теперь известно, что уже в твердом состоянии кристаллы получают при нагревании проводимость, растущую в отношении $e^{-\frac{w}{kT}}$; т. е. необычайно быстро.

413. Для проводимости кристалла требуется: а) произвести работу отрыва иона от его нормального положения; б) преодолевать силы внутреннего трения.

414. См. п. 1341.

416. Такого контрастирования электропроводимости и теплопроводности на самом деле не существует. Наоборот, по закону Видемана-Франца они изменяются во всяком случае симбатно.

423. Батарея могла дать дугу длиной 1 см.

434. См. п. 12. Это свойство является общим и не принадлежит одному сернистому серебру.

435. Это то свойство солей, из-за которого Нернст должен был включить в свою известную лампу накаливаемую токком проволоку, что спасало лампу от перекала, но губило ее экономичность.

441. Каньяр де ла Тур (Шарль, 1776—1859) — член Парижской Академии. Изобрел «сирену»; впервые исследовал критическое состояние (1822, 1823); оставил много работ по акустике и др. Здесь Фарадей ссылается именно на эту знаменитую работу Каньяра де ла Тура о критическом состоянии. Только с водой это состояние наблюдаться не могло.

442. Существует мнение, что при критическом состоянии жидким и газообразная фазы друг от друга отличаются (Голицын, Траубе, Тейхнер и др.).

444. Мы различаем теперь электронную и ионную электропроводности.

449. См. наше примечание к п. 444.

Пятая серия

453. Машинное электричество, — разумеется статическое (а не получаемое с помощью динамомашин). Рассуждение о количестве проходящего электричества вполне правильное; оно легко получается, если принять во внимание относительно очень большое внутреннее сопротивление электро-статических источников и очень малое — у гальванической батареи. Фарадей обходится без этой «математики», повидимому, с помощью гидродинамической аналогии.

455, 456, 457. Единственным количественным указанием для прошедшего количества электричества здесь является число оборотов машины, а для количества выделившегося вещества — интенсивность окраски лакмусовой бумажки и пр. (примитивная колориметрия).

461 и сл. Фарадей здесь доказывает (см. полемику ниже в главе III, пп. 477 и сл.), что при разложении вовсе не надо пондеромоторного действия полюсов.

471. Фарадей полагает, что разложение происходит под действием агента, распределенного *внутри* раствора. На современном языке можно было бы сказать: под действием имеющейся в данной точке *напряженности*. Но, с другой стороны, величина и направление напряженности задаются геометрией полюсов. Нечего и говорить, что, по современным представлениям, разложение происходит спонтанно, а напряженность только движет ионы к полюсам.

472. Нам уже пришлось упоминать (410) о роли воды. В настоящее время существует обширный цикл работ по электропроводности и неводных растворов (и расплавленных солей).

475. Вода, в смысле диссоциации растворенных солей, стоит выше всех других растворителей, конечно, вследствие ее высокой диэлектрической постоянной. Фарадей совершенно не представляет себе этой исключительной ее способности.

477. Беккерель (Антуан-Сезар, 1788—1878) — член Парижской Академии, автор нескольких курсов (электричества, электрохимии, физики, магнетизма, земного магнетизма и метеорологии) и многочисленных трудов по соответствующим отраслям науки. Фарадей интересуется главным образом его электрохимическими исследованиями.

481. Гротгус (Теодор, 1785—1822) — крупный землевладелец Виленской губернии; наукой занимался без связи с каким-либо учреждением. Знаменитая гипотеза Гротгуса опубликована им в 1806 г. Сверх того, написал несколько десятков других работ. Покончил жизнь самоубийством. Фарадею нравится представление Гротгуса, что полюсы являются центрами действующих сил.

483. Конечно, утверждение, что силы больше около полюсов и равны нулю в середине раствора, ошибочно. Вопрос решается изображением силового поля в растворе между полюсами.

485. Риффо де Гэтр (Жак Ренэ Дени, 1754—1826) — директор пороховых и селитряных заводов в Париже; написал несколько трудов по химии. — Шомпре (Николя Морис, 1750—1825) — консул в Малаге, член призового суда; затем удалился в частную жизнь; написал (отчасти в сотрудничестве с Риффо) несколько работ по электрохимии. Непонятно указание этих авторов, что сила тока может быть различна в разных сечениях.

486. Био (Жан Батист, 1774—1862) — член Парижской Академии. Необыкновенно плодовитый автор; участник градусного измерения для определения метра; работал преимущественно в области оптики. Соавтор известного закона Био и Савара. Фарадей ссылается почти исключительно на курс физики, им написанный.

499. Ошибочно утверждение, что при кулоновских силах не может быть равномерного поля; при близких и параллельных пластинках поле должно быть равномерным.

500. Ошибочно как предположение Дэви, так и утверждение Фарадея, что оно неминуемо следует из предложения о кулоновских силах.

511. Франклин (Бенджамин, 1706—1790) — переплетчик в Бостоне, типограф, издатель, начальник почты, защитник американской независимости, государственный деятель. Изобретатель громоотвода и многих электростатических опытов.

516. Ток в одном направлении может быть сильнее, чем в другом, если подвижности ионов различны; разлагающее действие одного не может быть больше, так как, по нашим представлениям, вещество вовсе не разлагается, а только выделяется током.

517. Знаменитое место, цитируемое Гельмгольцем. Об его значении — см. в нашей статье.

523. Бертолле (Клод Луи, 1748—1822) — знаменитый химик, член Парижской Академии; создатель так называемого учения Бертолле, или, иначе, учения о химическом равновесии. Не совсем понятно, почему закон действия масс должен был потерять применимость в газовой среде. Неверно также, что в газах прекращается и «действие электричества».

524. Фарадей пишет, что перенос вещества невозможен за те пределы, за которыми частица не находит другой частицы, могущей с ней соеди-

няться. Это справедливо в том смысле, что каждый элемент объема шугри электролита нейтрален, и частица, если она несет на себе положительный заряд, должна найти себе в этом элементе другую, несущую такой же отрицательный.

525—530. В примечании к п. 675 Фарадей указывает, что он впоследствии отказался от тех выводов, которые содержатся в этих параграфах.

546, 547. Фарадей, повидимому, не представлял себе, что «распущенное» в растворе золото имеет коллоидальное строение. Но в настоящее время подробно изучено явление *электрофореза* таких крупных частиц к тому или иному полюсу, смотря по знаку заряда частиц. То же относится и к другим коллоидам.

550. Все эти явления вполне понятны с точки зрения теории электролитической диссоциации.

552. Мы не знаем такого электролиза серной кислоты; см. также п. 681. В *гидридах* мы имеем, повидимому, случай, когда H служит анионом.

553. Фарадей находится здесь под влиянием теории Берцелиуса; по представлению последнего, $H_2SO_4 = H_2O^+ + SO_3^-$, и именно эти-то составные части и суть, по мнению Фарадея, ионы. Теперь мы думаем, что $H_2SO_4 = H_2^{++} + SO_4^{--}$. Совершенно так же, по Фарадею, $2KNO = K_2O^+ + H_2O^-$, вместо нынешнего $KNO = K^+ + NO^-$.

Шестая серия

569, 570. Пневматическая ванна — сосуд, в наполненном виде опрокинутый открытым концом под поверхностью жидкости.

570. Двойные медные пластинки см. п. 7.

596. Пневматическая ванна — см. п. 569.

609. Доберейнер (Иоганн Вольфганг, 1780—1849) — профессор в Иене, выдающийся химик. — Дюлонг (Пьер Луи, 1785—1838) — член Парижской Академии Наук, выдающийся химик («способ Дюлонга и Пти» для определения расширения ртути, «закон Дюлонга и Пти» относительно атомной теплоемкости и мн. др.). — Тенар (Луи Жак, 1777—1857) — член Парижской Академии Наук. Автор большого количества физических и химических трудов, сделанных отчасти в сотрудничестве с Гей-Люссаком, Био и Дюлонгом.

612. Удовлетворительная теория поверхностных явлений явилась значительно позднее, главным образом трудами Гиббса. См., например, Р а й д л. Химия поверхностных явлений.

613. Фузиньери (Амброджио, 1773—1853) — врач, профессор физики в Виченце. Опубликовал ряд трудов по электричеству и по явлениям на

поверхности металлов. Приводимые в этом параграфе мысли очень похожи на современные представления о мономолекулярных пленках на поверхности твердых и жидких тел.

622. Беллани (Анджело, 1776—1852) — миланский каноник и ученый; занимался самыми разнообразными физическими и химическими вопросами.

625. Фарадей сводит явление катализа к закону действия масс, предполагая, что на поверхности твердых тел газы сгущаются; см. также п. 630.

626. В основе газового состояния Фарадей предполагает взаимное отталкивание частиц. На границе с твердым телом оно будто бы пропадает. — Дальтон (Джон, 1766—1844) — знаменитый создатель атомной теории. Первый составлял таблицу атомных весов. Здесь Фарадей ссылается на его закон о давлении газовой смеси. Из кинетической теории газов этот закон выводится с легкостью; лишенный опоры в атомных представлениях, он вырождается в довольно мистические высказывания, что «один газ для другого является пустотой». С нынешней точки зрения, газ должен сгущаться на поверхности, если для выхода из поверхностного слоя частицы должны совершать положительную работу.

629. Голл (сэр Джемс, 1761—1832) — президент Эдинбургского королевского общества. Знаменитым является его исследование о диссоциации углекислоты (1805).

657. Зародыш в растворе должен быть изоморфен с кристаллизующимся веществом. Интересна для 1833 г. мысль о сходстве веществ в растворе с газообразными.

657. О называемом в примечании д-ре Генри никаких сведений собрать не удалось.

659. Грем (Томас, 1805—1869) — профессор в Глазго. Знаменит своими работами по диффузии и осмосу; автор разделения веществ на кристаллоидные и коллоидные. — Митчелл (повидимому, Уильям, 1793—1863) — учитель в Нантэккете (Америка), квакер; написал несколько работ, преимущественно астрономического и метеорологического характера.

660. Ван Марум (Мартин, 1750—1837) — голландский ученый. Писал об электричестве и его физиологических действиях, об электростатических машинах и др. — Иелин (Юлиус Конрад, 1771—1826) — член Мюнхенской Академии Наук; опубликовал ряд трудов по электричеству, магнетизму, по тепловым измерениям и пр.

Седьмая серия

662. По словам Тиндаля, одним из упомянутых здесь друзей был д-р Хьюэлл (Whewell); см. Faraday as a Discoverer, стр. 54.

664. О всех упоминаемых здесь веществах подробнее говорится ниже; см. п. 680 и сл.

672. Любопытно, как здесь хлориды, иодиды и окиси противопологаются солям.

675. Борная кислота — см. п. 664. — В примечании высказывается уверенность Фарадея, что растворение не способствует переносу ионов.

676. Проводимость каким-то образом противопологается ионизации; особенно интересно замечание относительно воды. См. также п. 677.

679. О затруднениях с этим правилом — см. в нашей статье.

680. Кислотами здесь называются соответственные ангидриды.

681. Данные относительно серы, появляющейся на катоде, сомнительны или указывают на вторичную реакцию, что далее Фарадей и признает.

686. Важно для понимания уровня развития ионной теории проводимости сто лет назад.

690—696. Рассматривается ряд исключений из устанавливаемой закономерности и ищется возможное объяснение.

706. Здесь опять говорится о разложении воды.

736. Первая попытка установить единицу количества электричества: это то количество, которое выделяет 0,01 куб. дюйма (0,164 куб. см) водорода при нормальных условиях.

739. Название вольта-электрометр не удержалось, так как электрометрами принято называть приборы для измерения потенциала; впрочем, в 1838 г. сам Фарадей предложил более короткое название — вольтметр (см. примечание автора к п. 565).

741. Гей-Люссак (Луи Жозеф, 1778—1850) — член Парижской Академии. Знаменитый химик; написал свыше ста работ в разных областях химии. «Закон Гей-Люссака» относится к 1808 г.

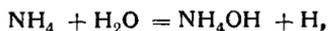
743. Вода, по современным представлениям, не разлагается, но ее элементы как результат вторичной реакции выделяются в стехиометрических количествах, откуда видно, что этот признак не всегда позволяет решить вопрос о характере реакции.

744. Указание о появлении на аноде азота (при электролизе едкого аммония) сомнительно. Относительно выделения металлов из солей Фарадей резко становится здесь на точку зрения берцелиусовской теории. См., однако, п. 746 и примечание к нему автора.

746. Гизингер (Вильгельм, 1766—1832) — богатый горнопромышленник и ученый, член Академии Наук в Стокгольме.

747. См. наше примечание к п. 743.

748. По современным представлениям, электролизуется $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, с выделением на катоде NH_4 , на аноде SO_4 ; вторичные реакции должны давать на катоде



а на аноде:



в количествах, отвечающих эквивалентному количеству воды.

749—776. Те же возражения возникают относительно почти всех примеров, приводимых в этих параграфах. Только в случае соляной кислоты, хлоридов, иодидов, иодисто-водородной кислоты, синильной кислоты, цианидов, железно-синеродной кислоты и ее солей, роданистой кислоты и ее солей, короче, для не содержащих кислорода кислот и их солей взгляды Фарадея приближаются к современным.

789—793. То, что Фарадей называет протохлоридом олова, приписывая ему формулу SnCl , по нашим представлениям, есть SnCl_2 ; атомный вес олова — около 118; бихлорид — наше четыреххлористое олово SnCl_4 . Обращает на себя в п. 791 внимание курьезная точность вычисления.

794—804. Относительно формул упоминаемых здесь соединений — см. таблицу в конце текста.

824. Ныне точные значения эквивалентов принимаются: для H — 1,008; для O — 8,000; для Cl — 35,46; для J — 126,92; для Sn — 59,4; для Pb — 103,60.

826. С этим предположением никак нельзя согласиться: если бы ион находился в связи с другим, то, может быть, соседство третьего, подобного второму, было бы при некоторых условиях необходимо; но для свободного иона $F = eE$, и поскольку v пропорционально F , движение *должно* происходить.

827, 828. Не обязательно движение обоих ионов; скорости их, во всяком случае, могут быть весьма различны.

830. Мы видели, что это правило не соблюдается.

831. О воде см. выше, п. 743.

834. Ангидриды упоминаемых здесь кислот не суть ионы, так как, например, серная кислота H_2SO_4 распадается не на H_2O и SO_3 (как думал Фарадей), а на H_2 и SO_4 .

846. В таблице везде вместо кислот стоят их ангидриды: SO_3 , SeO_3 , NO_3 , ClO_3 и т. д.; катионами являются то водород и металлы, то безводные основания: аммоний, кали KO , натр NaO , известь CaO , магнезия MgO и пр.

853. Электричество напряжения — статическое. — Уитстон (сэр Чарльз, 1802—1875) — фабрикант музыкальных инструментов, затем профессор физики в Лондоне. Изобретатель электромагнитного телеграфа. Его опыт измерения скорости электричества (1834) повел к работам Физо и Фуко. Он же автор «мостика Уитстона» (1843) и изобретатель стереоскопа.

856. Вольта (Алессандро, 1745—1827). Его знаменитейшие работы: электрофор — 1775 г.; электроскоп с конденсатором — 1782 г.; эвдиометр — 1790 г.; «вольтов столб» — 1800 г.; «вольтов ряд» — 1801 г.

857. Здесь намек на бушевавший в начале XIX в. спор о происхождении электродвижущей силы в месте контакта двух металлов или в жидкости элемента.

860. Обыкновенное электричество — статическое.

863. Здесь Фарадей впервые пользуется для источника электродвижущей силы термином электромотор. Ввиду непривычности этого термина в таком значении, мы позволили себе заменить его, как указано выше. В дальнейшем Фарадей пользуется им неоднократно, особенно в девятой серии. Во времена Фарадея термин электромотор в этом значении применялся довольно часто; укажем для примера, что Марианини пользуется им почти во всех своих сочинениях.

864. Пневматическая ванна — см. наше примечание к пп. 569, 570.

866. Опять чрезмерная точность арифметического вычисления.

870. В настоящее время эти представления кажутся наивными.

871. «Силы» здесь означают «заряды».

Восьмая серия

875. См. наше примечание к п. 857.

895. Сопrotивление разложению — мы говорим о затрате работы на разложение.

897. Гейр (Роберт, 1781—1858) — врач в Пенсильвании, много работал в области физики и химии; описал новую батарею, калориметр и др.

905. Мы теперь думаем, что происходит электролиз не воды, а растворенного цинкового купороса, и электродвижущая сила создается за счет соединения Zn и иона SO_4 .

906. Здесь имеет место повышение электродвижущей силы пары вследствие уничтожения поляризации положительного полюса водородом (последний поглощается азотной кислотой); см. ниже, п. 913.

911. Здесь «сопротивление» опять — обратная э. д. с.

913. Мы различаем теперь «разложение» (т. е. вид ионизации) от выделения ионов у электродов; первое не требует никакой работы — оно происходит спонтанно; второе, действительно, требует преодоления некоторой э. д. с., т. е. совершения некоторой работы; в начальные моменты, когда эта поляризационная э. д. с. еще не установилась, работа равна нулю.

915. Мы имеем здесь один из немногих случаев, когда Фарадей еще при жизни встретил резкие возражения; получение искры от одного элемента, действительно, невозможно.

919. См. наше примечание к п. 905. Фарадей все время находился под впечатлением, что соль = окись + ангидрид, почему и разделяет две стадии: 1) образование окиси и 2) последующее, как он пишет, образование соли.

921. Существенно, чтобы присутствовали не атомы, а ионы кислорода.

922. Соединение Pt с Zn — не ионное, вследствие чего никаких передвижений зарядов здесь не происходит. См. ниже, п. 924.

925—926. Мы уже неоднократно говорили о неправильности представления Фарадея о серной кислоте. См. также нашу статью.

944—945. См. наше примечание к п. 905.

956—957, 958. Искра при данных условиях получаться не могла. Электрическое напряжение может быть обнаружено чувствительным электрометром, что и было сделано Вольтой, построившим для этой цели электроскоп с конденсатором.

961. Электричество напряжения—статическое; противоположные силы—заряды; расчет свободных зарядов — см. также предыдущее примечание.

964. Здесь отсутствует понятие о различной подвижности ионов. Совсем не необходимо движение и того и другого.

970—983. Уже современники Фарадея (в частности де ля Рив) доказали, что электролиты не обладают никакой электропроводностью, кроме электролитической.

992. Отклонение пропорционально току; последний не зависит от числа элементов только при очень большом внутреннем сопротивлении; аргумент Фарадея здесь не вполне понятен, если вообще верен.

993. «Перемены» (alternations) здесь значит: «элементы».

994. Любопытное выражение относительно напряжения: «что бы оно собой ни представляло».

995. Сила тока $= \frac{E-E'}{R}$, где E' — противодействующая электродвижущая сила поляризации; в такую простую форму облакает закон Ома это неопределенное соображение.

999. Кемп (Кеннет, 1806—1843); впервые предложил амальгмирование цинка в гальванических элементах, точнее пользование в качестве электрода жидкой цинковой амальгамой.

1003—1005. Ослабление действия, повидимому, объясняется иначе, а именно — поляризацией электродов. Изменение серной кислоты в цинковый купорос не должно отражаться на действии батареи.

1017. См. примечание к п. 970 и сл.

1021. Здесь действует деполаризация электрода кислородом азотной кислоты.

1037. См. выше п. 970.

1040. Перемен = элементов.

Девятая серия

1049. Дженкин — ученик Фарадея; по словам Тиндаля, рано оставил, под влиянием отца, занятия наукой. — В этой серии Фарадей неизменно

пользуется термином «электромотор» для обозначения источника тока. См. примечание редактора к п. 863. Мы везде в нашем переводе пишем: «Источник электродвижущей силы»; это относится к пп. 1052, 1059, 1060, 1061, 1064, 1065, 1066, 1070, 1071, 1072, 1074, 1076, 1078, 1079, 1080, 1084, 1086, 1087, 1090, 1091, 1096, 1097, 1098, 1101, 1102. — Проба на удар, на язык, на конечности лягушки!

1072. Отчетливо указание, что «количество» (сила тока) увеличивается при возрастании «напряжения» (электродвижущей силы).

1073. Теперь мы знаем, что электродвижущая сила самоиндукции равна $-L \frac{dI}{dt}$, так что она, конечно, зависит и от силы первоначального постоянного тока.

1074. Здесь Фарадей ясно представляет себе различие между «электростатической» и «вольтаической» искрой, хотя и не сводит этого различия к относительной величине разности потенциалов.

1075. Яркость искры определяется не затрачиваемой работой EIt , а силой тока I .

1077. Здесь впервые в истории в связи с электричеством приведено понятие об инерции и количестве движения. Но эта аналогия сейчас же берется назад.

1214. Разделенных сил — зарядов; индуктивной силе — заряде.

1215. Об индукции по кривым линиям — см. примечание к п. 1165 и соответствующее место нашей статьи.

1218. Природы и силы — знака и величины заряда; сила последнего — количество.

1224. Сила была равна — заряд был равен; «индуктивная сила» — индуктивный заряд. — Здесь впервые мы находим упоминание о боковом давлении силовых линий друг на друга.

1225. Индуктивная сила — заряд.

1230. Никольсон (Уильям, 1753—1815) — автор нескольких работ по математике и физике. В старых учебниках описывается ареометр Никольсона.

1244. С электрической силой — зарядом; неделимость электрических сил — зарядов.

1245. Часть сил — зарядов; электрические силы находятся — заряды. Часть положительной силы — заряда.

1246. Из нескольких сил — зарядов; положительную силу — заряд.

1247. Силы проникают — заряды.

1250. Силу прибора II — заряда; сила неспособного передаваться электричества — количество.

1258. Для силы — заряда; в том же значении сила во всем параграфе.

1260. Сила — заряд.

1261. Силы — заряда.
 1262. Уменьшения силы — заряда.
 1269. Разряжается сила — заряд.
 1284. Силы — заряда.
 1285 и сл. Как мы знаем, для газов можно положить

$$\frac{\varepsilon - 1}{d} = \text{const.}$$

Величина $\varepsilon - 1$ настолько мала, что при степени точности приборов Фарадея замечена быть не могла.

1287. Говоря о существующей якобы у воздуха способности своим давлением удерживать заряд на поверхности проводника, Фарадей имеет в виду взгляды Био и Пуассона, с которыми он не согласен. См. ниже, п. 1377.

1288. Температуры, конечно, по Фаренгейту. См. таблицу в приложении № 1. — Сила — заряд.

1291. Маслородный газ — этилен (C_2H_4); азотистый газ — азотно-вая окись N_2O_3 .

1295. Сила — заряд.

1299. О том, что индукция предшествует току, см. двенадцатую серию, замечания к ней в нашей статье. — Чрезвычайно странное определение «напряжения» (что, на языке Фарадея, равносильно потенциалу).

1300. Двум электрическим силам — зарядам.

1302. Индуктивной силы — заряда.

1304. Такое распределение силы — заряда.

1305. Расположения и состояния сил — зарядов.

1312. Зингер (Джордж Джон, 1786—1817) — автор нескольких трудов по электрохимии, тепловому действию тока и т. п. — Беннет (Абрагам, 1750—1799) — священник; занимался электрическими изысканиями и построил чувствительный электроскоп.

Двенадцатая серия

1323. Сила проникла — заряд проник. — Индукция (поляризация) рассматривается как первая стадия проводимости.

1324. Мы теперь полагаем, что в одном и том же веществе могут одновременно существовать поляризация и проводимость, но они не являются проявлением одного и того же начала. Во всем последующем как в этой серии, так и в тринадцатой и четырнадцатой, Фарадей проводит это неправильное, с современной точки зрения, представление.

1326. Зависящем от сил — от зарядов; передавать друг другу свои силы — заряды; теперь мы не признаем передачи зарядов от молекулы к молекуле.

1328. Уитстон — см. примечание к п. 853.

1329. Продвижение силы — заряда; передавать свои силы — заряды.

1331. Силы покинули — заряды. — Согнутая в дугу проволока действует своей самоиндукцией.

1335. См. наше примечание к п. 193.

1336. «Заряженные частицы воздуха» мы теперь отрицаем и замаскируем их ионами; и самостоятельный разряд также производится ионным механизмом. Об опыте Каньяр де ля Тура уже была речь в п. 441 (см. наше примечание).

1338. Передавать свои силы — заряды.

1344. О минимальной интенсивности, необходимой для электролитического разложения — см. в нашей статье.

1346. Передача сил — зарядов.

1347. Соответственное количество силы — заряда; силы соединяются — заряды.

1348. Стабилизация сил — зарядов.

1350. Расположение сил — зарядов; нейтрализация своих сил — зарядов.

1354. См. наше примечание к п. 410.

1355. Напоминаем, что, по мнению Фарадея, электролитом является вода, а добавки к ней почему-то увеличивают электропроводимость. Для ее сил — зарядов; химическую номенклатуру — см. в приложении.

1356. См. п. 1354.

1359. См. наше примечание к п. 412.

1360. Обе силы уничтожаются — заряды.

1364 и сл. Все указываемые здесь простые закономерности хорошо укладываются в рамки теории Тоунсенда, исходящей из представления об ударе ионов.

1366. Индуктивная сила — заряд.

1368. Первоначальной силы — заряда.

1369. Сумма сил — сумма зарядов; совершенно современное представление о силовой трубке, эквивалентное теореме Гаусса.

1370. В конце — одно из немногих определений, которое Фарадей дает «напряжению». См. п. 360.

1374. Рассуждение ошибочно: если острие находится против плоскости, то поле таково же, каким оно было бы между двумя остриями, находящимися на двойном расстоянии острия от плоскости.

1377. Электрические силы — заряды.

1392. Замечательное наблюдение (о нем далее — в п. 1418), легко объясняемое ионизацией, которую искра производит на своем пути.

1393 и сл. Название газов — см. в приложении.

1406. Разряжают силы — заряды.

1418. Некоторое количество силы — электричества.
1421. Электрических сил — зарядов.
1422. Тейлер ван дер Хульст (Питер, 1702—1778) — богатый голландский купец, завещавший свое состояние на устройство музея в Гарлеме.
1434. Между положительной силой частицы и т. п. — зарядом; неверное с современной точки зрения утверждение, что «частица воздуха наэлектризуется».
1435. Сила, накопившаяся в проводнике, — заряд.
1437. Сила у проводника — заряд.
1441. «Воздух... не получает заряда» и далее — см. примечание к п. 1434.
1442. «Частицы... вероятно заряжены очень сильно», — действительно, это суть ионы с большим удельным зарядом.
1443. Равенство двух сил — зарядов; такое же количество отрицательной силы — электричества.
1444. Свечение происходит при ионизации и рекомбинации частиц. Неясно, почему заряд воздуха может распространяться на меньший объект, чем тот, который занят свечением.
1447. Распространение силы — распространение электричества; сила проводника — заряд.
1449. Индукция по кривым линиям — см. примечание к п. 1665 и нашу статью.
1450. То же.
1453. Истечение силы — электричества.
1454. Названия веществ — см. в приложении.
1458. В настоящее время наилучшие условия для свечения констатированы у неона и аргона.
1463. Электрических сил — зарядов.
1464. Индуктивные силы — заряды.

Тринадцатая серия

1491. Электрической силы — заряда.
1493. Электрической силы или сил — заряда или зарядов.
1500. Силы обладают большой интенсивностью — заряды распределены с большей плотностью; впрочем, в этом случае и электрические напряженности выше.
1503. Необоснованная (и неправильная) гипотеза, что поляризация частиц у отрицательного и положительного полюсов при прочих равных условиях различна.
1520. Белли (Джузеппе, 1791—1860) — профессор в Павии; работал в области теплоты и электричества.

1525. Мы теперь не называем электролитов диэлектриками. Различия, наблюдавшиеся Даниелем, связаны, по всей вероятности, с различной степенью поляризации медного электрода в одном и другом случаях.

1537. С современной точки зрения нельзя говорить о зарядении частиц воздуха, но некоторая порция воздуха может получать заряд вхождением в нее ионов соответственного знака.

1539. Накопление электрической силы — заряда.

1547. Мы не могли найти данных о проф. Дконсоне и его работах. — Электрические силы — заряды.

1551. Задерживаемая — проходящая через значительное сопротивление.

1552. Количество — подразумевается электричества.

1561. Задерживанием — см. примечание к п. 1551.

1562. Электрических сил — зарядов.

1566. Проводящий шарик ведет себя, как вещество с $\epsilon = \infty$; — превышает силу — заряд. — Шарик не нужно заряжаться противоположным зарядом, чтобы притягиваться к заряженной поверхности: достаточно действия индуцированных на нем зарядов.

1572. Части той силы — того заряда; индуцирующие и индуцируемые силы — заряды.

1588. Заряженные частицы воды — см. примечание к п. 1537.

1609, подстрочное примечание. Пипис (Уильям Геследайн, 1775—1856) — один из администраторов Королевского общества. Построил ряд физических приборов. О его роли в биографии Фарадея см., например, у Радовского, I. с., стр. 20.

1612. Положительной и отрицательной сил — зарядов.

1613. Морган (Уильям, умер в 1833 г.) — специалист по страхованию жизни. Опубликовал работу о непроводимости совершенной пустоты (1785).

1615—1616. Фарадей отказывается и здесь говорить о способе передачи электрического действия через пустоту.

1617. Электрических сил — зарядов.

1618. Отчетливое различие двух факторов, определяющих силу тока: электровозбудительной силы и сопротивления; природы электрических сил — электричества.

1621. Количество разрядившейся электрической силы — количество прошедшего по цепи электричества.

1622. Утверждение тождественности механизма электролитического и конвекционного токов.

1623. Заряженные частицы воздуха — см. наше примечание к п. 1537. Сообщать, передавать силы — заряды; сила высокого напряжения — заряд.

1625. Бреге (Абрагам Луи, 1747—1823) — часовщик и механик. Изобрел металлические термометры, счетчики и др. — Пельтье (Жан Шарль Атаназ, 1785—1845) — часовщик, частным образом занимавшийся наукой

(в Париже). Оставил многочисленные труды, в особенности по термоэлектричеству. Открытие «явления Пельтье» относится к 1834 г. — Под «определенностью» теплового действия разумеется, как в химии, постоянство отношения между количеством электричества, прошедшим через цепь, и количеством выделенного тепла. См. по этому же вопросу п. 368 и наше к нему примечание.

1627. Обе силы — электричество обоих знаков; одного тока силы — тока электричества одного знака; одной жидкости — то же. — Обои сил — электричеств обоих знаков. — Ток одной положительной или одной отрицательной силы — электричества одного знака. — Абсолютный заряд — см. наше примечание к п. 1168.

1628. Центры обеих сил — зарядов.

1631. Расходят силу — работу.

1632. Томсон (Томас, 1773—1852) — профессор в Глазго; автор большого числа трудов и руководств по химии. Издавал *Encyclopaedia Britannica*. — Положительной и отрицательной силы — электричества.

1634. Постоянное количество — одну и ту же силу тока. — Тождество электрической силы — одинаковость силы тока.

1635. Эрман (Пауль, 1764—1851) — секретарь Берлинской Академии Наук. Оставил большое количество трудов по различным отделам физики, в том числе и по электрическим явлениям. — Эндрыкс (Томас, 1813—1885) — профессор химии в Бельфасте. Автор многочисленных работ. Знаменито его исследование об изотермах углекислоты (есть русский перевод в серии «Классики естествознания»). — Ом, у Фарадея ошибочно Омс (Георг Симон, 1787—1854) — профессор в Мюнхене и член Баварской Академии Наук. Писал по различным вопросам оптики, электричества и молекулярной физики. Знаменитая работа, содержащая в себе «закон Ома», относится к к 1826 г.

1641. Обыкновенного электричества — статического.

1642. Нечто почти тождественное см. в п. 517. Изложим это определение тока в современных терминах: ток есть нечто неразделимое — некоторое направление силы; в каждом участке его электричества обоих знаков присутствуют в одинаковых количествах. См. также нашу статью, стр. 740.

1646. Порретт (Роберт, 1783—1868) — чиновник в Лондоне. Написал ряд работ химического содержания; открыл электроосмос. — Дютроше (Ренэ Иоаким Анри, 1776—1847) — почетный член Парижской Академии. Известен основными работами в области осмоса и движения пасоки в растениях.

1647. В настоящее время мы объясняем эти явления «сторонними» силами, т. е. силами не электрического происхождения; в данном случае вопрос идет о различной подвижности ионов того и другого знаков.

1648. Соотношений электрических сил — электричеств разного знака.

1649. Уатсон (Уильям, 1715—1787) — аптекарь, врач в Лондоне. Автор ряда работ по электричеству, в том числе первой попытки определить его скорость.

1650. Передача силы — заряда; величина силы является определенной — заряд, переносимый частицами, находится в постоянном отношении к их массе. — Локализовать силу — заряд.

1651. Смещение сил — зарядов. — Предположение о сдвиге при электролизе всей массы воды произвольно и неправильно.

1652. Пулье (Клод Сервэ Матиас, 1790—1868) — член Парижской Академии Наук; известен трудами по актинометрии. Его курс физики переделан и дополнен Мюллером. Ныне это классический, но совершенно заново сделанный курс Мюллера — Пулье.

1653. Эрстед (Ганс Христиан, 1777—1851) — профессор в Копенгагене; автор нескольких десятков научных работ, в том числе обесмертвившего его имя открытия электромагнитных явлений (1820 г.).

1654. Фарадей впервые здесь утверждает (предположительно), что конвективный ток обладает соответственным магнитным действием.

1657. См. предыдущее примечание.

1658. На самом деле никакого «бокового» эффекта линий индукции не существует; последний появляется только при изменении смещения.

1659. Возвращение к представлению об электротоническом состоянии.

1665. Полярные силы — заряды.

Четырнадцатая серия

Подзаголовок: Природа электрической силы или сил — электричества или электричеств.

1667. То же. — Моссотти (Оттавино Фабрицио, 1791—1863) — инженер, астроном и физик в Милане, Англии, Буэнос-Айресе, Кордове и Пизе. Знаменита его работа 1850 г., где выводится так называемая формула Клаузиуса-Моссотти. — Дюфе (Шарль Франсуа, Дюфе де Систерней, 1698—1739). Опубликовал «Шесть мемуаров об электричестве» (1733—1734); автор теории двух электрических жидкостей. — Природу этих сил — природу электричества; каким образом расположены эти силы — заряды.

1668. Силы — заряды.

1669, 1672. По современным представлениям, молекулы как целое не представляют собой проводника. Если они заряжаются, то обязательно элементарным зарядом (положительным или отрицательным) или его кратным. Тогда они превращаются в ионы.

1673. Силы — заряды. Здесь, как и ранее, предполагается, что заряды передаются с одной молекулы на другую.

1674, 1675. Понятие о свободных зарядах отсутствует; одним и тем же полярным зарядам приписываются функции диэлектрические (1761) и металлические (1674); силы — заряды.

1676. Противоположное состояние равной величины — поляризация.

1677. Силу — заряд.

1678. Электрических сил — зарядов.

1679. Силе на индуцирующем шаре — заряду; рассеяние силы — электричества; двух электрических сил — зарядов; обеих сил — видов электричества.

1681. Электрической силы — электричества; обе силы, эти силы — заряды.

1682. Обе силы — заряды; две силы — два заряда.

1683. Противоположной силы — электричества.

1684. Индуктивную силу; характер силы — заряд; заряда.

1686. Снова прежнее утверждение, что разрыв частицы (электролиз) является следствием высокой поляризации; количество силы — электричества.

1687. Развиваемые силы — заряды; Фарадей предполагает, что элементарные заряды так же распределяются по поверхности молекулы, как в молярных явлениях; силы... распределены — заряды.

1691. Измерение силы — заряда; наблюдать силу — заряд; индуктивной силы — заряда.

1694. Индуктивной силы — заряда.

1701. Проводящего индивидуального тела — см. наше примечание к пп. 1669, 1672.

1702. Электрические силы — заряды.

1703. Заряды распределяются не по всей поверхности молекулы, а по ее элементам; это воззрение гораздо ближе к современным, чем то, которое развито в п. 1687. — Атом связан с электрической силой — зарядом.

1704. Напоминаем наши прежние замечания к главе об электролизе: частицы не разрываются электрической напряженностью, а распадаются спонтанно.

1705. Перенос сил — зарядов.

1706. Разрядная сила — переносимый заряд; равновесие сил — нейтральность каждого сечения; передававших силу — заряд.

1707. Количество приносимой силы — электричества. — О правиле, что распадаются на ионы только те вещества, которые содержат элементы в относительных количествах: один эквивалент на один, — см. нашу статью.

1708. Эквивалентные противоположные силы — заряды. Хлорид олова, по современной формуле, есть SnCl_2 ; бихлорид — SnCl_4 ; полярная сила — заряд. Рассуждения о расположении атомов в молекулах не бинарного типа неубедительны.

Раздел 21. Связь электрической и магнитной силы или сил — электричества и магнетизма.

1712. Результат описанных здесь и далее опытов не мог не быть отрицательным вследствие малой величины ($\mu - 1$) для всех тел природы, кроме ферро-магнитных тел. Пара- и диамагнетизм открыты Фарадеем значительно позже.

1720. По всей вероятности, мы имеем здесь первое по времени описание дифференциального гальванометра.

1731. Силы у противоположных концов частиц — электрические массы. — Здесь, как и в нескольких местах ранее, заметны несомненные логические скачки в связи с употреблением термина «сила» в двух различных значениях — заряда и силы.

1733. Против высказываемого здесь предположения о тождестве поперечного сжатия силовых линий с магнетизмом необходимо указать, что второй представляет собой вихревое распределение силовых линий, а первый — безвихревое.

1739. Сил — зарядов.

1741. Сила, которая вызывает местное действие; текущая сила; индуктивные силы; расположением сил; силы кислорода и водорода, сил между кислородом и цинком; величина силы в частице; сила последнего направляется — здесь везде сила — электричество, заряд.

1742. Шенбейн (Христиан Фридрих, 1799—1868) — профессор химии в Базеле. Выдающийся ученый; открыл и исследовал озон; работал над пассивностью железа, по теории гальванического элемента, открыл коллодий и «хлопчатобумажный порох».

1747. Для развития сил — зарядов.

ТАБЛИЦА ПЕРЕВОДА МЕР

Меры длины

Дюймы	Миллиметры	Дюймы	Миллиметры	Дюймы	Миллиметры
1/600	0,042	0,24	6,2	0,52	13,2
1/200	0,13	1/4 = 0,25	6,4	0,525	12,3
1/104	0,24	0,27	6,9	0,55	14,0
1/100	0,25	0,275	7,0	0,56	14,2
1/70	0,36	0,28	7,1	0,58	14,7
1/50 = 0,02	0,51	0,30	7,6	0,59	15,0
1/24	1,06	0,31	7,9	0,60	15,2
1/23	1,10	5/16	7,9	0,61	15,5
1/20	1,27	0,33	8,4	0,615	15,6
1/18	1,4	1/3	8,5	0,62	15,8
1/16	1,6	0,37	9,4	5/8 = 0,625	15,9
1/15	1,7	3/8	9,5	0,035	16,1
1/12	2,1	0,40	10,2	0,64	16,2
1/10	2,5	0,41	10,4	0,645	16,4
1/9	2,8	0,42	10,7	0,65	16,5
1/8	3,2	0,43	10,9	0,66	16,8
0,13	3,3	0,435	11,1	2/3	16,9
0,14	3,6	0,44	11,2	0,67	17,0
0,15	3,8	0,45	11,4	0,68	17,3
1/6	4,2	0,47	11,9	0,69	17,5
0,18	4,6	0,49	12,5	0,695	17,7
3/16	4,8	1/2 = 0,50	12,7	0,70	17,8
1/5 = 0,2	5,1	0,505	12,8	0,72	18,3
0,23	5,8	0,51	13,0	0,73	18,5
0,74	18,8	0,80	20,3	0,90	22,9
3/4 = 0,75	19,1	0,82	20,8	0,93	23,6
0,77	19,6	0,86	21,8	0,96	24,4
0,78	19,8	7/8	22,2	0,965	24,5
0,79	20,1	0,89	22,6	1,000	25,4

Дюймы	Сантиметры	Дюймы	Сантиметры	Дюймы	Сантиметры
1,5	2,67	2,02	5,13	9	23
1,105	2,807	2,3	5,8	10	25
1,15	2,92	2,33	5,93	10,5	26,7
1,2	3,0	2,4	6,1	12	30
1 ¹ / ₄	3,2	2 ¹ / ₂	6,4	12,15453	30,87251
1,27	3,23	2 ³ / ₄	7,0	13	33
1,30	3,30	3	7,6	14	36
1,32	3,35	3 ¹ / ₄	8,3	15	38
1,36	3,45	3,4	8,6	17	43
1,4	3,6	3 ¹ / ₂	8,9	18	46
1 ¹ / ₂	3,8	3,57	9,07	19	48
1,55	3,94	4	10,2	20	51
1,60	4,06	4,4	11,2	24	61
1,65	4,29	5	12,7	25	64
1 ³ / ₄	4,5	6	15,2	29,2	74,2
1,8	4,6	6,5	16,5	29,97	76,13
1,9	4,8	7	17,8	38	97
1,95	4,95	8	20,3	50	127
2	5,1	8 ¹ / ₂	21,6	100	254

Футы	Метры	Футы	Метры	Футы	Метры
1	0,3	36	11,0	132	40,2
2	0,6	40	12,2	155	47,2
3	0,9	42	12,8	166	50,6
4	1,2	45	13,7	200	61,0
5	1,5	46	14,0	203	61,9
6	1,8	48	14,6	208	63,4
8	2,4	49,5	15,08	214	65,2
10	3,1	50	15,2	220	67,1
12	3,7	60	18,3	305	93,0
14	4,3	67	20,4	480	146
16	4,9	79	24,1	500	152
18	5,5	92	28,0	600	183
23	7,0	94,5	28,80	960	293
24	7,3	96	29,3	1500	457
26	7,9	100	30,5	2640	805
28	8,5	114	34,8		
34	10,4	120	36,6		

1 линия = 0,254 миллиметра

1 ярд = 0,914 метра

576 000 миль = 927 000 километров

Меры площади

Кв. дюймы	Кв. сант.	Кв. дюймы	Кв. сант.	Кв. дюймы	Кв. сант.
2	13	7	45	27	174
3	19	14	90	118	360
4	26	15	97	1000	6460
6	39	16	103	1422	9170

4 кв. фута = 0,37 кв. метра

Меры объема

Куб. дюймы	Куб. сант.	Куб. дюймы	Куб. сант.	Куб. дюймы	Куб. сант.
0,4	7	2	33	18,232	298,76
$\frac{1}{2}$	8	2,05	33,6	21	340
0,9	15	3,85	63,1	22,8	37,4
1	16	4,6	75	52	580
1,1	18	8,4	138	100	1,64 литра
1,15	18,9	10,29	168,7	2400	39,4 литра
$1\frac{1}{4}$	21	12,5	205		
$1\frac{1}{2}$	25	14,6			

1 пинта = 0,568 литра

Меры веса

Граны	Граммы	Граны	Граммы	Граны	Граммы
0,49742	0,032233	8,45	0,557	150	9,72
2,3535544	0,1525	12,68	0,822	154,65	10,03
3	0,190	12,92	0,837	163,1	10,57
7,55	0,489	25,25	1,636	486	31,5
		108	7,06		

Унции	Граммы	Унции	Граммы	Унции	Граммы
1	28	$3\frac{1}{2}$	99	4	110
1 фунт =	0,453 килограмма;	20 фунтов =	9,1 килограмма		
30 " =	13,6	2000 фунтов =	910		

Температура

°F	°C	°F	°C	°F	°C
0	-17,8	52	11,1	212	100
40	4,4	60	15,6	260	126,7
50	10,0	200	93,3		

ТАБЛИЦА ХИМИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ И СОЕДИНЕНИЙ,
УПОМИНАЕМЫХ ФАРАДЕЕМ

Название		Формула		Эквивалент		Примечание
современное	у Фарадея	современная	у Фарадея	современный	у Фарадея	
Водород		H	H	1	1	
Кислород		O	O	16	8	
Вода		H ₂ O	HO	18	9	
Хлор		Cl	Cl	35,5	35,5	Так же у всех галлоидов
Соляная кислота		HCl	HCl	36,5	36,5	Так же у всех галловодородных кислот
Азот		N	N	14	14	
Синерод (циан)		CN	CN	26	26	Так же для всех щелочных металлов
Калий		K	K	39,2	39,2	
Натрий		Na	Na	23,5	23,5	
Кальций		Ca	Ca	41	20,5	Так же для всех щелочно-земельных металлов
Известь (пегашеная)		CaO	CaO	57	28,5	То же
Сера		S	S	32	16	
Серный ангидр.	Серная кислота	SO ₃	SO ₃	80	40	
Сульфат калия	Сульфат кали.	K ₂ SO ₄	KO·SO ₃	114,4	87,2	
Азотный анги- дрид	Азотная кислота	N ₂ O ₅	NO ₅	108	54	
Нитрат натрия	Нитрат натра .	NaNO ₃	NaO·NO ₂	85,5	85,5	

УКАЗАТЕЛЬ ИМЕННОЙ

- Ампер* 2, 3, 38, 53, 58, 64, 67, 78,
79, 82, 129, 289, 379, 1113,
1603, 1653, 1659
- Антинори* 139, 348, 360
- Араго* 2, 4, 81, 82, 83, 119, 120,
125, 127, 129, 130, 131, 137,
138, 183, 193, 249, 254, 255,
261, 289, 1653
- Барлоу* 137, 160, 169
- ван Бек* 77
- Беккерель* 477, 745, 781, 965, 1625,
1635, 1647, 1652
- Беллани* 622
- Белли* 1520, 1521
- Беннет* 1312
- Бертолле* 523
- Берцелиус* 79, 401, 660, 696, 703,
746, 757, 870, 959, 1739
- Био* 486, 487, 1349, 1377, 1379,
1560, 1635
- Бонижоль* 336, 337
- Ботто* 346, 360
- Бреге* 1625
- Брэйли* 358
- Бэббедж* 80, 82, 127, 130, 137,
138, 183, 193, 211
- Бэрри* 338, 341, 342
- Воластон* 76, 265, 309, 310, 311,
327, 331, 336, 337, 339, 346,
355, 356, 471, 897, 1039, 1744
- Вольта* 856, 1008
- Гаррис* 80, 130, 139, 183, 193,
211, 215, 287, 344, 353, 360,
368, 1287, 1305, 1332, 1339,
1357, 1363, 1367, 1370, 1371,
1375, 1380, 1396, 1407, 1408,
1409, 1448, 1625
- Гашетт* 60, 139, 346, 379, 491,
513, 514
- Гей-Люссак* 741, 1136, 1151, 1154,
1158
- Гейр* 897, 1123, 1129, 1132, 1143,
1150, 1636
- Генли* 364
- Генри* 57, 113
- Генри д-р* 657
- Гершель* (сэр Джон) 80, 82, 87,
127, 130, 137, 138, 183, 193,
211
- Гизингер* 746, 757
- Голл* (сэр Джемс) 629
- Гротгус* 481, 483, 485, 487, 499,
500, 515, 1347, 1349
- Грэм* 659
- Гумбольдт* 358
- Дальтон* 626, 657, 852
- Даниэль* 56, 208, 344, 1525
- Дейман* 328
- Де ля Рив* 77, 379, 489, 490, 507,
514, 515, 543, 546, 660, 681,
686, 755, 863, 998, 1033, 1035,
1040, 1349, 1355, 1625, 1626,
1635, 1637, 1640, 1646, 1653,
1742
- Демонферран* 376
- Дженкин* 1049

- Джонсон** 1547, 1632
Доберейнер 609, 610, 611, 619, 636
Дункан 344
Дэви (Джон) 351, 356, 360, 398
Дэви (сэр Гемфри) 265, 266, 274, 275, 351, 354, 355, 432, 471, 472, 473, 476, 482, 483, 484, 485, 487, 500, 542, 550, 611, 703, 746, 757, 778, 857, 925, 941, 943, 965, 1004, 1033, 1035, 1113, 1339, 1349, 1603, 1608, 1609, 1613, 1625, 1635, 1653, 1655, 1656, 1744, 1745
Дюлонг 609, 611, 612, 618, 636, 637
Дютроше 1646
Дюфе Э. 1667
Зебек 349
Зингер 1312
Иелин 660
Ингенгусс 351, 358
Каньяр де ла Тур 441, 1336
Кемп 999, 1355
Колладон 265, 289, 305, 365
Кристи 44, 83, 127, 137, 160, 211, 1642
Кулон 1170, 1180, 1181, 1183, 1186, 1218, 1234, 1253, 1308, 1314, 1331, 1565
Кэвنديш 265, 281, 324, 326, 351, 359, 1165, 1320, 1334, 1667
Лесли (сэр Джон) 358, 1422
Линари 360
Марианини 77, 660 1033, 1040
сан Марум 660, 1422, 1448
Маттеуччи 360
Мицчель 659
Молль 57, 113
Морган 1613
Моссотти 1667
Найт 44
Никольсон 1230
Нобили 139, 348, 1351, 1408
Ньюмен 1133
Ом 1635
Пельтье 1625
Петс ван Трооствик 328
Пиксии 343, 346
Пипис 1609
Пирсон 328, 337
Порретт 1646
Пуассон 1165, 1320, 1377, 1379, 1667
Пулье 1652
Риттер 77, 660, 1033, 1035, 1040, 1048
Ритчи 265, 368, 1180, 1626, 1655
Риффо 485, 489, 507, 508, 512
Савари 289
Секстон 1118
Стерджен 249, 863, 999
Тейлер 1422, 1448
Тенар 609, 611, 612, 618, 636, 637, 728, 741, 1136, 1151, 1154, 1158
Тен-Эйке 57
Томсон 1632
Уаткинс 360
Уатсон 1649
Уитстон 853, 1328, 1330, 1333, 1417, 1427, 1433, 1438, 1484, 1649, 1652
Уолш 351, 358
Фальберг 358
Фокс 187, 192
Франклин 511, 1667
Френель 79, 379
Фузньери 613, 615, 622, 1379
Шенбейн 1742
Шомпре 485, 489, 507, 508, 512
Эндрьюс 1635
Эпинус 1165, 1667
Эрман 1635
Эрстед 1653

УКАЗАТЕЛЬ ПРЕДМЕТНЫЙ *

- Абсолютный заряд* материи 169
— электричества в материи 852, 861, 873
- Адгезия жидкостей к металлам 1038
- Азот*, его влияние на молнию 1464
—, искра в нем 1422, 1463
—, кисть в нем 1458
—, направляется и к тому и к другому полюсу 554, 748, 752
—, положительные и отрицательные кисти в нем 1476
—, положительный и отрицательный разряд в нем 1512
—, свечение в нем 1534
—, темный разряд в нем 1559
— является вторичным продуктом электролиза 746, 748
- Азотная кислота* благоприятствует возбуждению тока 906, 1138
— благоприятствует прохождению тока 1020
— наилучшее средство для возбуждения батареи 1137
— образуется в воздухе искрой 324
—, природа ее электролиза 752
- Активная батарея, общие замечания о ней 1034, 1136
- Амальгмированный цинк* в батарее 1001
—, его изготовление 863
—, его польза 863, 999
—, его свойства 1000
- Аммоний*, природа его электролиза 748
—, его раствор — плохой проводник 554, 748
- Ампера опыты над индукцией 78, 255, 279 *прим.*
- Анионы*, во всей цепи 963
—, их действие в гальванической батарее 924
—, их определение 665, 824
—, их таблица 847
—, направление их переноса 962
- Анод, его определение 663
- Араго магнитное явление* в принципе подобно электро-магнитным вращениям 14
—, его природа 81, 120
— не обусловлено прямой индукцией магнетизма 128, 138, 215, 243, 248

* Черта (—) обозначает непосредственно предшествующие слова, напечатанные курсивом. Цифрами указываются соответственные параграфы, иногда вместе со следующими за ними.

- Араго магнитное явление* обусловлено индуцированными токами 119, 248
- , объяснение направления движения 121
 - , объяснение результатов Бэббеджа и Гершеля 127
 - получается помощью электромагнитов 129
 - , причина отсутствия действия при отсутствии движения 126
 - производится только проводниками 130, 215
 - , элемент времени в нем 124
- Араго опыт в том виде, который ему придал Стерджен, 249
- Атмосфера, шары огненные в ней 1641
- Атмосферное электричество, его химическое действие 336
- Атомов число, определяемое по электрохимическому эквиваленту, 851
- Атомы материи* 869, 1703
- , их электрическая сила 856, 860
- Ацетат кали, его электролиз 749
- Ацетаты, их электролиз 774
- Барлоу** вращающийся шар, объяснение магнитных действий 137, 160
- Батареи гальванические, сравнение их свойств 1126
- Батарея гальваническая*, азотная кислота для нее является наилучшей 1137
- Гейра 1123
 - , ее возбуждение кислотой 880, 926, 1137
 - , — растворами сернистых соединений 943
 - , — щелочью 931, 934, 941
- Батарея гальваническая*, ее местная сила 1120
- , ее природа 856, 989
 - , ее сила происходит не от контакта 887, 915
 - , ее устройство 989, 1001, 1121
 - из многих элементов 989
 - , *кислота для нее* 1128, 1137
 - , —, ее применение 925
 - , напряжение ее тока 909, 994
 - , напряжение циркулирующего в ней электричества 990, 993
 - , необходимость в ней электролита 921
 - , общее действие, производимое соединенными средствами, 989
 - , общие замечания о ней 1034, 1136
 - , одновременные разложения с ее помощью 1156
 - , окисление цинка 919, 944
 - , *пластины*, их близость 1148
 - —, их величина 1154
 - —, их загрязненность 1145
 - —, их относительный возраст 1146
 - —, их погружение 1150
 - —, их число 1151
 - получаемые, с ней практические результаты 1136
 - , пользование в ней металлическим контактом 893, 896
 - , применение в ней амальгмированного цинка 999
 - , причина необходимости в ней электролиза 858, 923
 - , происхождение ее силы 878, 916
 - , состояние металла и электролита перед контактом 946
 - , увеличение ее напряжения 905, 989

- Батарея гальваническая, уменьшение ее силы** 1035
- , — *вследствие* адгезии жидкости 1003, 1036
- , — исчерпания ее зарядки 1042
- , — неравномерности пластинок 1045, 1146
- , — особого состояния металла 1040
- *усовершенствованная* 1001, 1006, 1120
- , —, ее недостатки 1132
- , —, ее преимущества 1132
- , —, ее сила 1125, 1128
- , —, ее устройство 1124
- химическое происхождение ее силы 879, 916, 919, 1741
- , циркулирующая в ней сила 858, 1120
- , циркулирующее в ней количество электричества 990
- , чистота ее цинка 1144
- Беккерель, полученные им важные вторичные результаты** 745, 781
- Беррио, разложение тел атмосферным электричеством** 338
- Берцелиус, его взгляд на горение** 870, 959
- Био, его теория электро-химических разложений** 486
- Боковое направление индуктивных сил тока** 26, 1108
- Боковые силы тока** 1653, 1708
- Бонижоль разлагал вещества атмосферным электричеством** 336
- Борная кислота является дурным проводником** 408
- Виннокаменная кислота, природа ее электролиза** 775
- Висмут, его отношение к магнито-электрической индукции** 139
- Вода, великий электролит** 924
- , ее влияние при электрическом разложении 472
- , ее *возбуждающее действие* в чистом виде 944
- , — подкисленной 880, 926, 1137
- , — подщелоченной 931, 934, 941
- , ее *прямая проводимость* 1017, 1159, 1355
- , — постоянна 984
- , ее разложение тонкими проводками 327
- , ее электролиз — *определенный* 732, 785, 807
- , задерживание ею тока 1159
- , количество электричества в ее элементах 853, 861
- направляется то к одному, то к другому полюсу 553
- , необходимое для нее электролитическое напряжение 968, 981, 1017
- , полюсы из нее 494, 533, 558
- текучая, токи в ней 190
- электролизуется в простой цепи 862
- , электрохимическое разложение против нее 494, 532
- Водород и кислород соединяются под действием губчатой платины** 609
- платиновых пластинок 570, 605
- Водород, кисти в нем** 1469
- , *положительные и отрицательные* кисти в нем 1476
- , — разряды в нем 1514
- Возбуждение трением** 1744
- химическим действием 878, 916, 1739

- Возбуждение* электрическое 1737
- Воздух* горячий разряжает гальваническую батарею 271, 274
- , *его заряд* 1173
- , — *посредством* кисти 1434, 1441
- , — — свечения 1537, 1543
- , *его* изолирующая способность и проводимость 441, 1332, 1336, 1362
- , *его* притяжение к поверхностям 622
- , *его* разрежение облегчает разряд 1375
- , индукция в нем 1208, 1215, 1284, 1362
- , конвекционные токи в нем 1572, 1576, 1581
- наэлектризованный 1443
- , *положительные и отрицательные* искры в нем 1485
- , — кисти в нем 1467, 1472, 1476
- , — свечения в нем 1526, 1530
- , полюсы, состоящие из него, 455, 461, 559
- разреженный, кисти в нем 1451, 1456
- , разрывной разряд в нем 1359, 1406, 1425, 1526
- , темный разряд в нем 1548
- , удерживание им электричества на проводниках 1377, 1398
- , *удельная индуктивная способность его* 1284
- , — не изменяется с температурой и давлением 1247, 1288
- , электрохимические разложения в нем 454, 1623
- Воссоединение* самопроизвольное газов [выделившихся из] воды 566
- Воластон о разложении* воды остриями 327
- Воластон о разложении* посредством обыкновенного электричества 309
- Вольтметр 704
- Вольта-электрическая индукция 26
- Вольта-электрометр* 704, 736
- , *его* показания посредством водорода 734
- , — кислорода 735
- , — кислорода и водорода 736
- , *его* разные виды 707, 734
- , *испытание его при изменении* его жидкости 727
- , — *его* напряжения 723
- , — *его* электродов 714, 722
- , крепость применяемой в нем кислоты 728, 733
- , разлагающаяся в нем жидкость, вода 706, 728, 732
- , способ употребления 737
- Вращающаяся* пластинка. См. Араго явление
- Вращающийся шар Барлоу* магнитен 164
- , направление токов в нем 161, 166
- , объяснение его действия 137, 160, 169
- Вращение земли причиняет магнито-электрическую индукцию 181
- Время 59, 68, 124, 1248, 1328, 1346, 1418, 1431, 1436, 1498, 1612, 1641, 1730
- Вторичные электрические результаты* 702, 742, 748, 777
- служат мерой электрического тока 843
- Выделение* одной электрической силы невозможно 1175
- электричества 1162, 1737

Выделение элементов на полюсах, почему, 535

Газы в смеси, отношение между их частицами 625

—, искры в них 1421

—, их *изолирующая способность* 1381, 1507

—, — не одинакова 1395, 1508

—, их проводимость 1336

—, их растворимость в некоторых случаях электролиза 717, 728

—, их смеси, влияние на них платиновых пластинок 571

—, их *удельная индуктивная способность* 1283, 1290

—, — у всех одинакова 1292

—, их упругость 626, 657

—, кисти в них 1454

—, образовавшиеся из воды, их самопроизвольное соединение 566

—, особое для каждого влияние на кисти и искры 1463, 1687

—, *положительные и отрицательные кисти в них* 1475

—, — обнаруживают различия 1476

—, положительный и отрицательный разряд в них 1393, 1506, 1687

—, разрывной разряд через них 1381

Гальваническая батарея, ее природа 875, 989

—, замечания о ней 1034, 1136

—, практические результаты с ней 1136

— усовершенствованная 1001, 1119

—, См. Батарея гальваническая

Гальваническая искра без контакта 915, 956

— предосторожности 958, 1074

Гальваническая цепь, ее направление 663, 925

—, ее определение 282, 511

—, ее *отношение* к соединяющемуся кислороду 921, 962

—, — к переносимым элементам 923, 962

—, — к соединяющейся сере 943

— зависит не от соединения окиси с кислотой 925, 933

— образуется окислением цинка 919, 930

—, отношение тел в ней 962

—, происхождение ее 916, 1741

—, усиление ее напряжения 905, 990

* *Гальванические цепи простые* 875

—, разложение ими 897

Гальванические цепи соединенные, или батарея 989

Гальванический разряд, положительный и отрицательный 1524

Гальванический ток 1617. См. Ток электрический

Гальванический элемент, его электричество 875

— зависит от химического действия 872

—, отношение в нем кислоты и щелочи 927

—, различные виды 856 *прим.*

—, См. Батарея Гальваническая

Гальваническое разложение 450, 660. См. Разложение электрохимическое

Гальваническое электричество, выделение им тепла 276

—, его искра 280

—, его магнитная сила 277

—, его напряжение 268, 275

- Гальваническое электричество*, его физиологические действия 279
 —, его химическая сила 278
 — *разряжается* горячим воздухом 271, 274
 — — острями 272
 —, рассмотрение его общих свойств 268
 — тождественно с электричеством, получаемым другими путями, 268, 360
- Гальванометр*, действие на него обыкновенного электричества 289, 366
 —, точное измерение электричества 367 *прим.*
- Гаррис об индукции в воздухе 1363
- Гашетт, его взгляды на электрохимическое разложение 491
- Горный хрусталь, индукция через него 1692
- Градус измерения электричества, его предложение 736
- Графитовые полюсы для хлоридов 794
- Гротгус, его теория электрохимического разложения 481, 499, 515
- Гэйра гальваническая батарея 1123, 1132
- Давление воздуха удерживает электричество, объяснение факта 1377, 1398
- Даниэль о размерах гальванических полюсов 1525
- Даты некоторых фактов и публикаций 139 *прим.*
- Движение* наперерез магнитным линиям
 —, *проводника и магнита относительно* 114
- Движение проводника и магнита относительно* не необходимо 218
 — существенно для магнито-электрической индукции 39, 217, 256
 Движущийся магнит имеет электрические свойства 220
- Де ла Рив*, его теория электрохимического разложения 489, 507, 514, 543
 —, о теплоте на электродах 1637
- Деление заряда индуктивным прибором 1208
- Дженкин, удар с одной парой пластинок 1049
- Дифференциальный индуктометр 1307
- Диэлектрики*, их важность при электрических действиях 1666
 —, их определение 1168
 —, их особые электрические действия 1296, 1398, 1423, 1454, 1503, 1560
 —, их отношение к статической индукции 1296
 —, их природа определяет свойства кистей 1455
 —, их состояние при индукции 1369, 1679
- Доберейнер о соединениях, производимых платиной, 609, 610
- Дэви*, его теория электрохимического разложения 482, 500
 — ртутные конусы, конвекционные явления 1603
 — электрохимические воззрения 965
- Дюлонг и Тенар о соединениях с помощью платины и твердых тел 609, 611
- Естественное свойство электролитического напряжения 987

- Естественный стандарт для направления тока 663
- Железо**, медь и сера в цепи 943
- Железо проявляет одновременно магнитные и магнито-электрические свойства 138, 254
- Животное электричество*, его громадные количества 359
- , его магнитная сила 354
- , его физиологические действия 357
- , его химическая сила 355
- , искра 358
- , напряжение 352
- , развитие им. тепла 353
- , рассмотрение его общих свойств 351
- тождественно с другими видами электричества 351, 360
- Жидкие полюсы для конвекции 1581
- Жидкие тела, не являющиеся проводниками, 405
- Жидкости, их прилипание к металлам 1038
- Закон** вольта-электрической индукции 26
- магнито-электрической индукции 114
- проводимости новый 380, 394, 410
- Замечание об электрическом возбуждении 1737
- Замечания о действующей батарее 1034, 1136
- Заряд* абсолютной материи 1169
- , *влияние на него* расстояния 1303
- , — формы проводников 1302
- , — воздуха 1173
- , *производимый* кистью 1434, 1441
- Заряд, производимый* свечением 1526, 1537, 1543
- всегда представляет собой индукцию 1171, 1177, 1300, 1682
- находится на поверхности проводников — почему? 1301
- остаточный Лейденской банки 1249
- , потеря вследствие переноса 1569
- , разделение его в индукционных приборах 1208
- свободный 1684
- скипидара 1172
- удаляется с хороших изоляторов 1203
- частиц воздуха 1564
- Зарядка химическая батареи* слабая и истощенная 1042, 1143
- хорошая 1137
- Земля, естественная магнито-электрическая индукция в ней 181, 190, 192
- Земная магнито-электрическая индукция* 140
- , *производимые ею электрические токи* 141, 150
- , — в земле 173
- , — во вращающейся пластинке 149
- , — во вращающемся шаре 160
- , — в спиральных 148
- , — с железом 141, 146
- , — с магнитом 147
- , — в уединенном проводе 170
- является причиной северных сияний 192
- Земные токи электрические 187
- Измерение** удельной индуктивной способности 1307, 1690
- Измерение электричества* вольтметром 704, 736, 739

- Измерение электричества* выделенным металлом 740, 842
 — гальванометром 367 *прим.*
 —, градус его 736, 738
 — обыкновенного и гальванического 361, 860, 1652
Изолирующая способность различных газов 1388, 1395, 1507
Изоляторы жидкие хорошие 1172
 — и проводники, их отношение 1328, 1334, 1338
 —, их испытание на проводимость 1255
 — лучшие проводят 1233, 1241, 1245, 1247, 1254
 — твердые хорошие 1254
Изоляция 1320, 1359, 1361
 — в жидких и твердых телах 1403
 — в металлах 1328, 1331, 1332
 — в различных газах 1381, 1388
 — — различна 1395
 —, ее зависимость от температуры воздуха 1307, 1380
 —, ее отношение к индукции 1324, 1362; 1368, 1378
 —, ее природа 1321
 — есть выдерживание индукции 1324
 — *зависит от* диэлектрики 1368
 — — индукции 1368
 — — плотности воздуха 1365, 1375
 — — расстояния в воздухе 1303, 1364, 1371
 — — формы кондукторов 1302, 1374
 — и проводимость не различаются по существу 1320, 1326, 1336, 1338, 1561.
Индуктивная сила токов боковая 26, 1108
Индуктивная сила токов, ее природа 1113, 1660, 1663, 1709
Индуктивная способность удельная 1167, 1252
Индуктивной силы линии 1231, 1297, 1304
 —, их боковое направление 1231, 1297, 1304
 —, их отношение к магнетизму 1411
 — указываются кистью 1449
 — часто искривлены 1219, 1224, 1230
Индуктометр дифференциальный 1307, 1317
Индукция магнитная 255, 1658, 1710
 — и магнито-электрическая, их различие 138, 215, 243, 253
 — посредством промежуточных частей 1663, 1710, 1729, 1735
 — через неподвижные тела 1712, 1719, 1720, 1735
 — — движущиеся тела 1715, 1716, 1719.
Индукция магнито-электрическая 27, 58, 81, 140, 193, 1709. См. Магнитные явления Араго.
 — вольта-электрическая 26
 — электролитическая 1164, 1345, 1702, 1740
Индукция статическая 1161
 — в пространстве 1614
 —, ее исключительное действие 1681
 —, ее отношение к возбуждению 1178, 1740
 —, — к другим электрическим действиям 1165, 1178
 —, — к заряду 1177, 1299
 —, — к изоляции 1324, 1362, 1368, 1678
 —, — к напряжению 1178, 1362

- Индукция статическая, ее отношение к проводимости* 1320
- , — к разрывному разряду 1362
 - , — к разряду 1319, 1323, 1362
 - , — к электролизу 1164, 1343
 - , ее теория 1165, 1231, 1295, 1667, 1669
 - *зависит от* расстояния между проводниками 1303
 - — роли ограничивающих поверхностей 1483
 - — формы кондукторов 1302
 - , заряд есть ее частный случай 1171, 1177, 1300
 - , поддержание ее напряжения 1362
 - *по кривым линиям* 1166, 1215, 1679
 - — *через* воздух 1218, 1449
 - — — другие газы 1226
 - — — серу 1228
 - — — скипидар 1227
 - — — шеллак 1228
 - , общие результаты ее исследования 1295
 - представляет собой действие смежных частиц 1165, 1231, 1253, 1295, 1450, 1668, 1679
 - представляет собой существенную общую электрическую функцию 1178, 1299
 - простирается только на непроводники 1298, 1324, 1338
 - состоит в полярности частиц 1298, 1670, 1679
 - *через* воздух 1217, 1284
 - — все тела 1331, 1334
 - — кристаллы 1689
 - — металлы 1329, 1332
 - — пустоту 1614
 - — различные газы 1381, 1395
 - — шеллак 1228, 1255, 1308
- Индукция тока на самого себя* 1048, 1109
- в двойном проводе 1096
 - в двойных спиралях 1096
 - в длинном проводе 1064, 1068, 1092, 1118
 - в коротком проводе, действия в нем 1067
 - в спирали 1053, 1061
 - в электромагните 1056, 1060
 - , *действие* замыкания 1101, 1106
 - , — размыкания тока 1060, 1081, 1084, 1087
 - , — кратковременно 1070, 1091, 1100
 - , направление сил — боковое 1108
 - не причиняет длительного изменения в токе 1071
 - не производится инерцией 1077
 - , общие принципы действия 1093, 1107
 - , отделение индуцированного тока 1078, 1089
 - , прибор для опытов 1052
 - , причина заключается в проводнике 1059, 1070
 - , *производимые действия*: искра 1060, 1064, 1080
 - , — накаливание проволоки 1081, 1104
 - , — удар 1060, 1064, 1079
 - , — химическое разложение 1084.
 - , сравнение провода и спирали 1065
- Индукция удельная* 1167, 1252, 1307
- *воздуха* 1284
 - неизменна 1287, 1288
 - *газов* 1283, 1290
 - всех одинакова 1292

Индукция удельная известных жидких непроводников 1280

—, постановка задачи 1252

—, разрешение задачи 1307

— серы 1275

— спермацета 1279

— стекла 1271

— шеллака 1256, 1269

Индукция электрических токов 6, 34, 232, 241, 1048, 1089, 1101, 1660, 1718

— во вращающихся пластинках 85, 240

— в различных металлах 193, 202, 211, 213

— в текущей воде 190

— действует через непроводники 1719, 1722, 1735

— — проводники 1719, 1721, 1735

—, индуцированный ток, его направление 26, 232

—, —, его напряжение в различных проводниках 183, 193, 201, 211, 213

—, —, его продолжительность 19, 47, 89

—, — не получается при разряде Лейденской банки 24

—, — проходит через жидкости 20, 23

—, —, результаты Ампера 78, 255, 379 прим.

— при замыкании главного тока 10, 238, 1101

— при приближении 18, 236

— при размыкании главного тока 10, 17, 238, 1087, 1100.

— при увеличении расстояния 19, 237

Индукционный прибор 1187

—, особые действия его 1233

Индукционный прибор предосторожности 1194, 1199, 1213, 1232, 1250

—, разделение заряда 1208

—, удаление заряда 1203

—, удержание заряда 1205, 1207

—, укрепление стержня 1190, 1193, 1200

Индукцируемые поверхности 1483

Индукцирующие поверхности 1483

Иодид калия, испытание химического действия 316

— свинца, его электролиз 802, 818

Иодиды в растворе, их электролиз 769

— расплавленные, их электролиз 802, 813

Иодисто-водородная кислота, ее электролиз 767, 787

Ионы, их таблица 847

— не могут переноситься одни 542, 547, 826

—, что такое? 665, 824, 833, 834, 849

Искра 1360, 1406

Искра электрическая в азоте 1422, 1463

— в атмосфере, или молния 1464, 1641

— в водороде 1422

— в воздухе 1222

— в газах 1388, 1421

— в газообразной соляной кислоте 1422, 1463

— в жидкостях 1424

— в кислороде 1422

—, влияние на нее диэлектрика 1395, 1402

—, — размеров кондукторов 1372

—, — разряднения воздуха 1375

—, — формы кондукторов 1302, 1374

- Искра электрическая* в светильном газе 1422
- в углекислоте 1422, 1463
 - гальваническая без металлического контакта 915, 956
 - гальванического электричества 280
 - , ее незаметная продолжительность 1434
 - , ее путь 1407
 - , ее свет 1553
 - , ей предшествует индукция 1362
 - животного электричества 358
 - , изменения ее длины 1381
 - , кисть и свечение родственны 1533, 1539, 1542
 - магнито-электрическая первая 32
 - магнито-электричества 348
 - облегчает разряд 1417, 1553
 - образует в воздухе азотную кислоту 324
 - обыкновенного электричества 333
 - от обыкновенного и гальванического электричества, отожествление 334
 - от одной гальванической пары 1050
 - отрицательная 1393, 1467, 1482, 1484, 1502
 - переходит в кисть 1448
 - положительная 1393, 1448, 1467, 1482, 1484, 1502
 - почему не прямолинейна? 1568
 - , предосторожности 958, 1074
 - разветвленная 1420, 1448
 - , сопровождающие ее темные участки 1547, 1632
 - , стремление к повторяемости 1392
- Искра электрическая*, термо-электричества 349
- , условия ее [образования] 1360, 1370, 1406, 1409, 1553
- Искры, ожидаемое их взаимное притяжение 1412
- Исландского шпата кристаллы, индукция через них 1695
- Испарение 657
- Источник электричества в гальванической батарее* 875
- есть химическое действие 879, 916, 919, 1741
- Кали ацетат, природа его электролиза 749
- Калия иодид электролизуется 805
- Камера изолированная и наэлектризованная 1173
- Катионы*, направление их переноса 962
- находятся в обращении во всей цепи 963
 - , описание 665, 824
 - , таблица их 847
- Катод, описание 663, 824
- Кемп, его цинковая амальгама 999
- Кислород и водород соединяются под действием* губчатой платины 609, 636
- — других металлов 608
 - — платиновых пластинок 570, 605, 630
 - , искра в нем 1422
 - , кисти в нем 1457
 - , *положительные и отрицательные* кисти в нем 1476
 - , — ряды в нем 1513
 - , растворимость его при электролизе 717, 728
- Кислота азотная* лучше всех 1138

- Кислота азотная* действие различной крепости 1139
 — — образуется в воздухе при искре 32
 — в *гальваническом элементе*, ее употребление 925
 — — не развивает электричества 925, 933
 — для батареи, ее природа и крепость 1128, 1137
 —, ее перенос 525
 — и щелочь одинаково возбуждают элемент 932
- Кислоты* и основания, их отношение в *гальваническом элементе* 927, 933
- Кисти электрические* 1425
 — в азоте 1458, 1476
 — в водороде 1459, 1467
 — в газах 1454, 1463, 1476
 — в кислороде 1457, 1476
 — в разреженном воздухе 1451, 1455, 1474
 — в светильном газе 1460, 1476
 — в скипидаре 1452
 — в углекислом газе 1461, 1476
 — в хлористо-водородном газе 1462, 1476
 — доказывают молекулярное действие диэлектриков 1449, 1450
 — зависят от диэлектрика 1455, 1463, 1475
 —, звучание 1426, 1431
 — имеют заметную продолжительность 1437
 —, искры и свечение, их взаимоотношения 1533, 1539, 1542
 —, их анализ 1427, 1433
 —, их вид 1428, 1449, 1451
 —, их получение 1425
 —, их природа 1434, 1441, 1447
 —, их свет 1444, 1445, 1451,
- Кисти электрические*, их свет в различных газах 1446, 1454
 — не зависят от потоков в воздухе 1440
 — не зависят от природы проводников 1454, 1473
 —, необходимое для них напряжение 1446
 — *отрицательные* 1468, 1472, 1484
 — — высокой частоты 1468, 1491
 — переходят в искры 1448
 — положительные 1455, 1467, 1484
 — положительные и отрицательные в различных газах 1455, 1475, 1506
 — представляют собой перемежающееся явление 1427, 1431, 1451
 —, разветвления 1439
 —, срастание этих разветвлений 1453
 — темные? 1444, 1552
- Классификация тел по отношению их к магнетизму* 255,
 — току 823, 847
- Количество электричества* в веществе 852, 861, 873, 1652
 — в *гальванической батарее* 990
- Колладон о магнитной силе обыкновенного электричества 289
- Коллекторы магнито-электрические 86
- Конвекция* 1562, 1642
 — или конвективный разряд. См. Разряд конвективный
- Кондуктивный разряд 1320
- Кондукторы* для магнито-электричества 86
 —, их природа не влияет на электрическую кисть 1454
 —, их размеры влияют на разряд 1372

- Кондукторы**, их форма влияет на разряд 1374, 1425
- , *распределение на них электричества* 1368
 - , — *зависит от давления воздуха* 1375
 - , — — *от расстояния* 1364, 1371
 - , — — *от их формы* 1374
 - , — *становится неправильным, при одинаковом давлении* 1378
 - *электролитические* 474
- Контакт металлов**, его применение в гальванической батарее 893
- не является необходимым для искры 915, 956
 - не является необходимым для электролиза 879
- Кривые линии**, по ним идет индукция 1215
- Кристаллы**, индукция через них 1689
- Куб большой наэлектризованный** 1173
- Кубы кристаллов**, индукция через них 1692, 1695
- Кулона электромтр** 1180
- , предосторожности при пользовании им 1182, 1186, 1206
- Лед**, его проводимость 419
- является непроводником для гальванических токов 381
- Лейденская банка**, ее остаточный заряд 1249
- , ее разряд 1300
 - , природа ее заряда 1300
 - , условие ее заряда 1682
- Линии магнитные**, их отношение к динамической индукции 217, 232
- Линии индуктивной силы** 1231, 1304
- Линии индуктивной силы**, их боковые отношения 1231, 1297, 1304
- , их отношение к магнетизму 1411, 1658, 1709
 - обнаруживаются кистью 1449
 - часто искривлены 1219, 1224, 1230
- Магнезии сульфат**, его перенос 495
- , его разложение против воды 494, 533
- Магнетизм**, его отношение к линиям индуктивной силы 1411, 1658, 1709
- , классификация тел по отношению к нему 255
 - , электричество, развиваемое им, 27
- Магнит** вращается один 220, 223
- и движущиеся проводники, их общее отношение 256
 - и пластинки вращаются одновременно 218
 - и ток, напоминание об их взаимоотношении 38 *прим.*
 - и цилиндр вращаются одновременно 219
 - , как мера проводимости 216
 - образуется индуцированным током 13, 14
 - , электричество из него 36, 220, 223
- Магнитная индукция**. См. Индукция магнитная
- и магнито-электрическое действие — разные вещи 138, 215, 243, 253
 - через движущиеся тела 1715, 1719
 - через неподвижные тела 1712, 1719, 1720, 1735

- Магнитная и электрическая силы, их взаимоотношение 118, 1411, 1653, 1658, 1709, 1731
- Магнитное отклонение обычным электричеством 289, 296
- Магнитные действия* гальванического электричества 277
- животного электричества 354
- магнито-электричества 27, 83, 345
- обыкновенного электричества, степень, 288, 367
- термоэлектричества 349
- Магнитные линии, их отношение к индукции 217, 232
- Магнитные силы*, действуют через посредство промежуточных частиц 1663, 1710, 1729, 1735
- *тока* 1653
- — весьма постоянны 1653
- Магнитные тела, их немного 255
- явления Араго, их объяснение 81
- Магнито-электрическая индукция* 27, 58
- , ее закон 114
- земная 140, 181
- , См. Араго магнитные явления
- Магнито-электрические коллекторы, или кондукторы 86
- Магнито-электрические машины* 135, 154, 158
- , индуктивные действия в их проводах 1118
- Магнито-электрические токи* во всех проводниках 193, 213
- длительные 89
- , их направление 114, 116
- , их напряжение 183, 193, 211, 213
- Магнито-электрические токи* кратковременны 30
- проходят через жидкости 33
- Магнито-электричество*, выделение тепла 344
- , его напряжение 343
- , искра 348
- , магнитная сила 345
- , рассмотрение его общих свойств 343 и т. д.
- тождественно с другими электричествами 360
- , физиологические действия 347
- , химическая сила 346
- , См. Индукция магнитная
- Маслородный газ, представляемые им помехи 640, 652
- Материя*, ее абсолютный заряд 1169
- , ее атомы 869, 1703
- , ее новое состояние 60, 231, 242, 1114, 1661, 1729
- Машина* электрическая, выделение ею электричества 1748
- магнито-электрическая 135, 154, 158, 1118
- Медь, железо и сера в цепях 394
- Местное химическое средство 947, 959, 961, 1739
- Металл и электролит, их состояние 946
- Металлические полюсы 557
- Металлический контакт*, его применение в батарее 893, 896
- не необходим для электролиза 879
- не существен для гальванического тока 879, 887, 915
- Металлы*, адгезия к ним жидкостей 1038
- в некоторой степени изолируют 1328

- Металлы* вообще вторичные результаты электролиза 746
- , их перенос 539, 545
 - , их способность вызывать соединения 564, 608
 - , —, помехи 638
 - , конвекционные токи в них 1603
 - переносят химическую силу 918
 - , различие индуцированных в них токов 193, 211
 - , статическая индукция в них 1329, 1332
 - только немногие магнитны 255
- Механические силы действуют на химическое сродство 656
- Модель отношения между магнетизмом и электричеством 116
- Молекулярное индукционное действие 1164, 1669
- Молния 1420, 1464, 1641
- Момент выделения, его отношение к соединению 658, 717
- Найт Говин д-р, его магнит 44
- Накаливание проволоки электрическим током 853 прим., 1630
- Направление* индуцированного вольта-электрического тока 19, 26, 1091
- ионов в цепи 962
 - магнито-электрического тока 114, 116
 - электрического тока 663
- Напряжение* гальванического электричества 268
- гальванической батареи, его увеличение 906, 990
 - , его влияние при проводимости 419
 - животного электричества 352
- Напряжение* индуктивное, как его можно представить 1370
- магнито-электричества 343
 - , необходимое для электролиза 911, 966
 - обыкновенного электричества 285
 - относительное магнито-электрических токов 183, 193, 211, 213
 - разрывного разряда постоянно 1410
 - термоэлектричества 349
 - тока в отдельных цепях 904
 - , его увеличение 906
 - цинка и электролита в гальваническом элементе 949
 - электролитическое 912, 966, 983, 1354
 - электричества в гальванической батарее 990, 993
- Неисчерпаемость электрического тока 1631
- Непроводимость твердых электролитов 381, 1358, 1705
- Неразделимость двух электрических сил 1163, 1177, 1244, 1628
- Новое электрическое состояние материи 60, 231, 242, 1114, 1661, 1729
- Новый закон проводимости 380, 394, 410
- Обыкновенное электричество*, его магнитная сила 288, 362
- , его напряжение 285
 - , его химическая сила, 309, 454
 - , —, предосторожности 322
 - , искра 333
 - , развитие им тепла 287

- Обыкновенное электричество*, рассмотрение его общих свойств 284
 — тождественно с другими электричествами 360
 —, физиологические действия 332
Общие замечания о гальванической батарее 1034, 1136
 — принципы определенности электролитического действия 822
 — *результаты по вопросу* об индукции 1295
 — — о проводимости 443
Окисление является причиной электрического тока в гальваническом элементе 919, 930
Оксид свинца, ее электролиз 797
Олово, его иодид электролизуется 804
 —, электролиз его протохлорида является определенным 789, 819
Определенность магнитного действия электричества 216, 362, 367, 377
 — разлагающего действия электричества 329, 372, 377, 504, 704, 783, 821
 — *электрохимического действия* 822, 869, 960
 — — в воде 732, 785, 807
 — — в иодиде свинца 803, 818
 — — в иодисто-водородной кислоте 767, 787
 — — в протохлориде олова 819
 — — в соляной кислоте 758, 786
 — — в хлориде свинца 815
 — — в хлориде серебра 813
Опыт для решения вопроса о характере действия: является ли оно магнитным или магнито-электрическим 215, 243
Основания и кислоты, их отношения в элементе 927
 Остаточный заряд Лейденской банки 1249
Острия благоприятствуют конвекционному разряду 1573
 * — жидкие для конвекции 1581
 Ось силовую представляет собой ток 517, 1627, 1642
Отношение боковое линии индуктивной силы 1231, 1297, 1304
 — [эквивалентов] в электролитах один к одному 679, 697
 — газов к положительному и отрицательному разряду 1510
 — измеренное электричество 361
 — изоляции и индукции 1324, 1362, 1368, 1678
 — *индукции и возбуждения* 1178, 1740
 — — заряда 1171, 1177, 1300
 — — разрывного разряда 1362
 — — электролиза 1164, 1343
 — искры, кисти и свечения 1533, 1539, 1542
 — кислот и щелочей в гальванизме 927, 933
 — магнитной индукции к промежуточным телам 1662, 1728
 — магнитной кривой и движущихся проводников 256
 — проводимости и индукции 1320, 1337
 — проводников и изоляторов 1321, 1326, 1334, 1338
 — пустоты к электричеству 1613
 — соседних частиц друг к другу 619, 624
 — тока к магниту, мнемоническое правило 38 *прим.*
 — *элементов* в возбуждающих электролитах 921
 — — в разлагающихся электролитах 923, 1072

- Отношение* электрической и магнитной сил 118, 1411, 1653, 1658, 1709, 1731
- Отрицательная кисть* или искра 1484, 1502
- Отрицательный и положительный разряд* 1465, 1482, 1525
- в различных газах 1393
- Отрицательный разряд* 1465, 1484
- в виде кисти 1466, 1502
- в виде искры 1467, 1482
- Отрицательный ток* не существует 1627, 1632
- Первичные результаты электролиза* 742
- Перемещение заряженных частиц* 1563
- Перенос* не происходит в простых телах 544, 546, 826
- происходит одновременно в обоих направлениях 542, 828
- химической силы 918
- *элементов* 454, 507, 539, 550, 826
- —, его природа 519, 525, 538, 549
- — и ток, их взаимоотношение 923, 962
- — через большие промежутки 455, 468
- Переносный разряд* 1562
- —. См. Конвекционный разряд
- Плавление* влечет за собой проводимость 394, 402
- Пламя* благоприятствует конвективному разряду 1580
- Пластины гальванической батареи*, большие или малые 1154
- грязные 1145
- , их взаимная близость 1148
- , их погружение 989, 1151
- новые и старые 1146
- Пластины платиновые*, их свойства сохраняются 576
- , их свойства сохраняются в воде 580
- , их сила уменьшается при действии 581
- , — на воздухе 636
- , на их силу влияет промывание в воде 582
- , — присутствие некоторых газов 638, 655
- , — теплота 584, 597
- , *приготовленные* нагреванием 595
- , — трением 591
- , — химической очисткой 599, 605
- , — электрическим путем 570, 585, 588
- , причина их силы 590, 616, 630
- производят соединение 568, 571, 590, 630
- , *теория их действия* по автору 619, 626, 630, 656
- , — по Доберейнеру 610
- , — по Дюлонгу и Тенару 611
- , — по Фузиниери 613
- Платина губчатая*, ее состояние 637
- , ее действие задерживается маслородным газом 640, 652
- , — углекислотой 645, 652
- , помехи ее действию 638
- притягивает вещество из воздуха 634
- чистая, ее свойства 633, 717
- чистая, ее способность производить соединение 564, 590, 605, 617, 630
- См. Соединение, Пластины платиновые и Помехи

- Платиновые полюсы, производимые ими соединения 567, 588
- Положительные искра и кисть 1484, 1502
- Положительный* гальванический разряд 1524
- и *отрицательный* конвекционные разряды 1600
- — *разрывной разряд* 1465, 1482, 1485, 1525
- — — в различных газах 1393
- — электролитический разряд 1525
- *разряд* 1465, 1480
- — в виде искры 1467, 1482
- — в виде кисти 1467, 1476
- ток не существует 1627, 1632
- Полюсы электрические*, водяные 494, 558
- воздушные 455, 461, 559
- графитовые 794
- , их природа 461, 498, 556, 662
- металлические 557
- , объяснение появления на них выделяющихся тел 535
- , один и тот же элемент то у одного, то у другого? 552, 681, 757
- платиновые, производимые ими соединения 567, 588
- Полюсы магнитные, их точное обозначение 44 *прим.*
- Поляризованный свет, пропускаемый через электролиты 1702
- Полярность*, значение термина 1304, 1685
- частиц под действием индукции 1298, 1676
- *электрическая* 1670, 1685
- — в кристаллах 1689
- — в молекулах или атомах 1699
- Полярность электрическая* в электролитах 1702
- —, ее изменение 1687
- —, ее направление 1688, 1703
- —, ее степень 1686
- Полярные* разложения посредством обыкновенного электричества 312, 321, 469
- силы, их свойства 1665
- Помехи соединяющему действию платины* 638, 655
- *со стороны* масляного газа 640
- — сероуглерода 650
- — углекислоты 645
- — эфира 651
- Поперечные силы тока 1653, 1709
- Поррета особые действия 1646
- Постоянство электрического тока 1618
- Практические результаты с гальванической батареей 1136
- Преимущества новой гальванической батареи 1132
- Прибор индукционный 1187. См. Индукционный прибор
- Принципы общие определенности электролитического действия 822
- Природа* электрического тока 1617
- электрической силы или сил 1667
- Притяжения* гигрометрические 621
- химические производят электрический ток 852, 921, 947, 959, 1739
- электрические, их сила, 1622 *прим.*
- Проводящая способность* воды постоянна 984
- , измерение ее магнитом 216
- твердых электролитов 419
- Проводимость* 418, 1320

- Проводимость*, влияние на нее температуры 445, 1339
- воды плохая 1159
 - воды улучшается растворением в ней тел '984, 1355
 - газов 1336
 - двойного рода 987
 - для тока и для теплоты, их отношение 416
 - , ее отношение к напряжению проходящего тока 419
 - , ее природа 1320, 1326, 1611
 - , ей предшествует индукция 1329, 1332, 1338
 - и изоляция суть явления одного и того же рода 1320, 1326, 1336, 1338, 1561
 - и разложение в электролитах связаны друг с другом 413, 676, 854
 - льдом задерживается 381
 - медленная 1233, 1245, 1328
 - металлов падает при нагревании 432, 445
 - , новый закон ее 380, 394, 410
 - , общие результаты 443
 - , предположительное исключение из нового закона 691, 1340
 - присуща всем телам 444, 449
 - простая может встречаться в электролитах 967, 983
 - , это проявляется при очень слабых токах 970
 - пустоты 1613
 - растет при нагревании 432, 441, 445
 - серы 1241, 1328
 - сообщается телам при плавлении 394, 410
 - спермацеты 1240, 1323
- Проводимость* стекла 1239, 1324
- уничтожается при затвердевании 394, 1705
 - —, причина этого явления 910, 1705
 - усиливается присутствием электролитов 1355
 - шеллака 1234, 1324
 - электролитическая, ее прекращение 380, 1358, 1705
 - электролитов без разложения 968, 1017, 1032
- Проволока* длинная, индуктивные действия в ней 1064, 1118
- , ее накаливание электрическим током 853 прим., 1631
 - , — на всем протяжении одинаково 1630
 - — как регулятор электрического тока 853 прим.
 - , скорость тока проводимости в ней различна 1333
 - уединенная, индукция в ней 170
- Происхождение силы гальванической батареи 878, 916, 919
- Промежуточные пластины, их задерживающее действие 1018
- Простые гальванические цепи* 875
- без металлического контакта 879
 - дают сильные удары 1049
 - — яркую искру 1050
 - с металлическим контактом 893
 - , усиление их действия 906
- Пуассона теория электрической индукции 1305
- Пустота, ее отношение к электричеству 1613
- Путь электрической искры 1407
- Пыль, заряд ее частиц 1567

- Разлагающая сила*, ее различное действие на отдельные частицы 503
- одинакова в каждом сечении тока 501, 505
- Различие между магнитным и магнито-электрическим действием 138, 215, 243, 253
- Различие между положительным и отрицательным разрядом 1465, 1480, 1485
- Разложение*, его первичные и вторичные результаты 742, 777
- и проводимость в электролитах взаимно связаны 413, 854
 - *посредством обыкновенного электричества* 309, 454
 - предосторожности 322
 - *электрохимическое* 450, 669
 - — азотной кислоты 752
 - — аммиака 748
 - — ацетатов 774
 - — без металлического контакта 880, 882
 - — в воздухе 454, 461, 469
 - — винно-каменной кислоты 775
 - —, влияние на него воды 472
 - — воды 704, 785, 807
 - , вторичные результаты 702, 742, 748, 777
 - , его отличительные черты 309
 - , его причина 891, 904, 910
 - —, *его теория* 477, 1345
 - —, — по автору 518, 524, 1345, 1623, 1703, 1706
 - —, — по Био 486
 - —, — по Гашетту 491, 513
 - —, — по Гротгусу 481, 499, 515
- Разложение электрохимическое, его теория* по де ла Риву 489, 507, 514, 543
- —, — по Дэви 482, 500
 - —, — по Риффо и Шомпре 485, 507, 512
 - — есть перенос 519, 525, 538, 550, 1347, 1706
 - — есть разделение электролита 1347, 1623, 1704
 - — *зависит от* напряжения тока 891, 910, 1007
 - — — предшествующей индукции 1345
 - — — химического сродства частиц 519, 525, 549.
 - — — электрического тока 493, 510, 524, 854
 - — задерживается промежуточными пластинками 1007
 - — *иодида* калия 805
 - — — свинца 802, 818
 - — *иодистоводородной кислоты* и *иодидов* 767, 787
 - — — круговой ряд действий 562, 962
 - —, некоторые общие условия его 669
 - —, необходимое напряжение тока 911, 966, 1345, 1354.
 - —, не сложные тела не переносятся 544, 546
 - —, новые термины в применении к нему 662
 - —, новые условия его 453
 - — *окси* свинца 797
 - — — сурьмы 801
 - —, первичные результаты 742
 - — поддерживается растворенными телами 1355
 - — *посредством обыкновенного электричества* 309, 454

- Разложение электрохимическое посредством* одной пары пластинок 862, 897, 904 931
- — — электрического тока 1621
- —, потребное для него напряжение 966, 1354
- —, почему элементы появляются на полюсах 535
- — прекращается при отвердевании 380, 1358, 1705
- *происходит* не от прямого протяжения или отталкивания полюсов 493, 497, 536, 542, 546
- — — одновременно 1156
- — протоиоксида олова 804
- — протохлорида олова 789, 819
- — расплавленных электролитов 789
- — сахара, резины и т. п. 776
- — селитры 753
- — сернистой кислоты 755
- — серной кислоты 757
- — соляной кислоты 758, 786
- —, сопротивление ему 891, 910, 1007
- — сульфата магнезии 495
- —, терминология 661
- — уксусной кислоты 773
- — фтористо-водородной кислоты и фторидов 770
- — хлорида серебра 541, 813, 979
- — — свинца 799, 815
- — — сурьмы 690, 796
- — хлоридов в расплавленном виде 789, 813.
- — в растворе 766.
- — цианистой кислоты и цианидов 771.
- — является определенным 329, 372, 377, 504, 704, 714, 722, 726, 732, 764, 783, 807, 821, 960
- Разложение электрическое является определенным* независимо от изменений электродов 714, 722, 807, 832
- Разрежение воздуха облегчает разряд, почему? 1375
- Разрывной разряд 1359, 1405. См. Разряд разрывной
- Разряд, его теория 1368, 1406, 1434
- Разряд конвекционный* 1442, 1562, 1601, 1623, 1633, 1642
- в изолирующих средах 1562, 1572
- , влияние на него механических причин 1579
- — остря 1573
- — пламени 1580
- в скипидаре 1570
- в хороших проводниках 1603
- , его родственность электролитическому разряду 1622, 1633
- , заряд частицы в воздухе 1564
- , заряджение им воздуха 1442, 1592
- , направление токов 1599, 1645
- , положительный и отрицательный 1593, 1600, 1643
- , производимые им токи в воздухе 1572, 1581, 1591
- — в скипидаре 1595, 1598
- с жидкими электродами в воздухе 1581, 1589
- — в жидкостях 1597
- с свечением 1576
- с шара 1576, 1590
- , явления Порретта 1646
- Разряд разрывной* 1405
- в жидкостях и твердых телах 1403
- в различных газах 1381, 1388, 1421

Разряд разрывной в различных газах, его особенности 1399, 1422, 1687

- — различно 1395
- , его продолжительность 1418, 1436, 1498, 1641
- *изменяется при изменении размеров кондукторов* 1372
- — изменении расстояния кондукторов 1303, 1364, 1371
- — изменении температуры 1367, 1380
- — изменении формы кондукторов 1302, 1372, 1374
- — разрежении воздуха 1365, 1375, 1471
- — смене диэлектрика 1395, 1422, 1454
- искровой 1406
- кистевой 1425
- , необходимое напряжение 1409, 1553
- облегчает подобные же действия 1417, 1435, 1453, 1553
- определяется одной частицей 1370, 1409
- , определяющая напряжение постоянная 1410
- *положительный и отрицательный* 1393, 1399, 1465, 1524
- — в различных газах 1506, 1510, 1518, 1687
- — зависит от природы диэлектрика 1503
- —, относительная легкость 1496, 1520
- —, различия 1467, 1475, 1482, 1485, 1501
- предшествуется индукцией 1362
- , происходящий рядом с другими 1412

Разряд разрывной со свечением 1520

- темный 1444, 1544, 1560
- , характерный для каждого диэлектрика 1503

Разряд темный 1444, 1544, 1560

- в азоте 1559
- в газообразной соляной кислоте 1554
- в водороде 1558
- в воздухе 1548
- в промежутке между положительным и отрицательным свечением 1547
- в светильном газе 1556
- , с отрицательным свечением 1544

Разряд электрический в виде кисти 1425. См. Кисть в виде огненного шара 1641

- в виде свечения 1626. См. Свечение
- *гальванической батареи* посредством остриев 272
- через горячий воздух 271, 274
- , его разновидности 1319
- , его скорость в металлах различна 1333
- искровой. См. Искра электрическая.
- кондуктивный. См. Проводимость
- Лейденской банки 1300
- переносом. См. Разряд конвекционный
- , положительный и отрицательный 1465
- разрывной 1359, 1405
- темный 1444, 1544

Разряд электролитический 1164, 1343, 1621, 1703, 1706

- доказывает действие смежных частиц 1349

- Разряд электролитический*, его отношение к конвективному разряду 1622
- , его теория 1344, 1622, 1704
- , необходимое напряжение 912, 966, 1346
- облегчается прибавлением тел 1355
- останавливается при отвердевании электролита 380, 1358, 1705
- по кривым линиям 521, 1216, 1351
- положительный и отрицательный 1525
- , предшествующая индукция 1345, 1351
- , разделение электролита 1347, 1704
- , скорость электрического тока при нем 1650
- Разряжающий провод, служивший обычно для опытов, 292
- Расстояние*, его влияние на разрядной разряд 1364, 1371
- при индукции 1303, 1364, 1371
- Растворимость газов при электролизе 717, 728
- Результаты* общие по вопросу об индукции 1295, 1669
- практические с гальванической батареей 1136
- электролиза первичные или вторичные 742, 777
- Риффэ и Шомпре теория электрохимического разложения 485, 507, 512
- Рост* искры 1553
- кисти 1437
- Ртутные полюсы при конвекции 1581
- Ртуть*, ее периодид, исключение из законов проводимости? 691, 1341
- Ртуть*, ее перхлорид 692, 1341
- Сближение* пластинок в гальванической батарее 1648
- Сверкание молнии 1464
- Свет* поляризованный пропускается через электролиз 951
- *электрический* 1405, 1445, 1560 *прим.*
- — искры 1406, 1553
- — кисти 1425, 1444, 1445
- — свечения 1526
- Светильный газ*, искры в нем 1422
- , кисти в нем 1460
- , положительные и отрицательные кисти в нем 1476
- , положительный и отрицательный разряд в нем 1515
- , темный разряд в нем 1556
- Свечение* 1405, 1526
- , его отношение к кисти и искре 1533, 1538, 1539, 1542
- , его получение 1527
- , его природа 1543
- , ему способствует разрежение воздуха 1529
- наблюдается во всех газах 1534
- отрицательное 1530
- положительное 1527
- представляет собой непрерывное зарядение воздуха 1526, 1537, 1546
- , разряд при нем 1526
- сопровождается ветром 1535
- Свинец*, его фторид в нагретом состоянии хорошо проводит 1340
- , *электролиз* его хлорида 794, 815
- , — иодида 802, 818

- Свинец, электролиз окиси 797
 Сводка положений молекулярной теории индукции 1669
 — условий проводимости 443
 Свойства гальванического электричества 268
 — животного электричества 351
 — магнито-электричества 343
 — обыкновенного электричества 284
 — термоэлектричества 349
 — электрического тока постоянны 1618, 1627
 — электричества, таблица их 360
 Сера, ее проводимость 1241, 1245
 —, ее удельная индуктивная способность 1275
 —, медь и железо в цепи 943
 — направляется и к тому и к другому полюсу 552, 681, 757
 Серебра хлорид, его электролиз 541, 813, 902
 —, необходимое электролитическое напряжение 979
 Серебро сернистое в горячем состоянии хорошо проводит 433
 Серная кислота в гальваническом элементе, ее применение 925
 —, ее перенос 525
 —, ее проводимость 409, 681
 —, ее разложение 681, 757
 —, магнито-электрическая индукция в ней 200, 213
 — не электролит 681
 Сернистая кислота, ее разложение 755
 Сернистое серебро в горячем состоянии хорошо проводит 433
 Сернистые растворы возбуждают элемент 943
 Сероуглерод, как помеха 650
 Сечения линий индуктивного действия, 1369
 —, размер силы в них одинаков 1369
 Сечения через ток 498, 1634
 —, во всех разлагающая сила одинакова 501, 1621
 Сжатие ведет за собой появление проводимости 380, 394, 410
 Сила батареи, ее оценка 1126
 — индуктивная токов, ее природа 60, 1113, 1735
 — электрическая, ее природа 1163, 1667
 Силы батареи, их состояние напряжения 949
 — возбуждающие гальванического прибора 887, 916
 — —, их повышение 905, 994, 1138, 1148
 — полярные 1665
 — тока боковые, или поперечные 1653, 1709
 — — прямые 1620
 — химические местные 947, 959, 1739
 — циркулирующие 917, 947, 996, 1120
 — электрические две 1163
 — — и магнитные, их взаимоотношение 1411, 1653, 1658, 1709
 — — —, являются ли они существенно различными? 1663, 1731
 — — и химические — одно и то же 877, 916
 — — неразделимы 1163, 1177, 1244, 1627
 Синильная кислота, ее электролиз 771, 788
 Сияние северное объясняется магнито-электрической индукцией 192

- Скала электролитических напряжений 912
- Скат электрический*, огромное количество его электрической силы 359
- , природа его электрического разряда 359
- Скипидар* заряжается 1172
- , кисть в нем 1452
- , конвективные токи в нем 1595, 1598
- , разрушение его изолирующей способности 1571
- , хороший жидкий изолятор 1172
- , электрические движения в нем 1588, 1595
- Скорость* кондуктивного и электролитического разряда, их различие 1650
- проводимости в металлах изменчива 1333
- электрического разряда 1641, 1649
- Скрытое (связанное) электричество 1684
- Сложные магнитные цепи 989
- Смежные частицы* действуют при электролизе 1349, 1703
- , их отношение к индукции 1165, 1679
- , их роль в электролизе 1349, 1703
- Соединения, производимые металлами*, 564, 608
- платиновыми полюсами, 566
- платиной, 564, 568, 571, 590, 630
- — в виде пластинок 569
- — губчатой 609, 636
- —, *задержка в присутствии* маслородного газа 646
- — — окиси углерода 645, 652
- — — сероуглерода 650
- Соединения, производимые платиной, задержка в присутствии* эфира 651
- — — других веществ 649, 653, 654
- —, помехи 638, 652, 655
- —, причина действия 590, 616, 625, 656
- —, способ действия 630
- твердыми телами 564, 618
- Соли, рассматриваемые как электролиты 698
- Соляная кислота газообразная*, ее высокая изолирующая способность 1395
- , *искры в ней* 1422, 1463
- — не обнаруживают темного промежутка 1463, 1555
- , кисти в ней 1462
- , положительные и отрицательные кисти в ней 1476
- , свечение в ней 1534
- , темный разряд в ней 1554
- Соляная кислота*, ее разложение (первичное) 738, 786
- разлагается обыкновенным электричеством 314
- Сопrotивление* электролизу 891, 904, 911, 1007
- , электролита разложению 1007
- Состояние электротоническое 60, 231, 242, 1114, 1661, 1729
- Спермацет*, его отношение к проводимости и изоляции 1322
- , его проводимость 1240, 1323
- Спираль, индукционные действия в ней 1061, 1094
- Способность удельная индуктивная* 1252. См. Удельная индуктивная способность
- Сравнение гальванических батарей 1126, 1146

- Сродства химические*, их отношение в действующем элементе 949
 —, преодолеваемые гальванически, 891, 904, 910
- Статическая индукция. См. Индукция статическая
- Стекло*, его удельная индуктивная способность 1271
 —, *притяжение им* воды 1254
 — — воздуха 622
 —, проводимость 1239
- Строение электролитов* в смысле относительного состава 679, 697, 830, 1078
 —, их жидкое состояние 394, 823
- Стэрджен*, опыт Араго в его видоизменении 249
 —, применение им амальгамированного цинка 863, 999
- Сульфат натра*, необходимое электролитическое напряжение 975
 — разлагается обыкновенным электричеством 317
- Сурьма*, ее отношение к магнито-электрической индукции 139
 —, ее хлорид не является электролитом 690, 796
 —, как на ее окись действует ток 801
 —, предположение о существовании ее нового протоксида 693
 —, тоже, проток-сернистое соединение 694
- Таблица* изоляции газов 1388
 — ионов, анионов и катионов 847
 — разряда в газах 1388
 — электрических действий 360
 — электролитов, испытывающих изменение при плавлении, 402
 — электрохимических эквивалентов 847
- Твердые тела*, их способность производить соединения 564, 618
 —, помехи 638
- Твердые электролиты суть непроводники* 394, 402, 1358
 — почему? 910, 1705
- Текучая вода, токи в ней 190
- Тела*, поддающиеся электролизу 824
 — *подразделяются* по их отношению в магнетизму 255
 — — по их отношению к электрическому току 823
- Темный разряд 1444, 1544. См. также Разряд темный.
- Теория* гальванического прибора 875, 1741
 — соединения газов чистой платиной 619, 626, 630, 656
 — разрывного разряда 1368, 1406, 1434
 — статической индукции 1165, 1231, 1295, 1666, 1667
 — электрохимического разложения 477, 661, 1623, 1704
 — явления Араго 120
- Теплота* влияет на оба электрода 1637
 —, *выделяемая* гальваническим электричеством 276
 —, — животным электричеством 353
 —, — магнито-электричеством 344
 —, — обыкновенным электричеством 287
 —, — термоэлектричеством 349
 —, ее проводимость и отношение к электропроводности 416
 —, как результат электрического тока 853 *прим.*, 1625, 1630
 — увеличивает проводимость некоторых тел 432, 438, 1340

- Терминология 662, 1483
- Термоэлектричество*, выделение им тепла 349
- , его искра 349
- , его магнитная сила 349
- , его общие свойства 349
- , его физиологические действия 349
- тождественно с другими электричествами 360
- Тождественность* химической и электрической сил 877, 917, 947, 961, 1031
- электричеств 265, 360
- Ток гальванический без металлического контакта 879, 887
- Токи* в воздухе конвекционные 1572, 1581
- в металлах конвекционные 1603
- в скипидаре конвекционные 1595, 1598
- Ток и магнит, напоминание об их взаимоотношении 38 *прим.*
- Ток — химическое сродство 852, 918, 947, 996
- Ток электрический* 1617
- в земле 187
- , возникающий в движущейся земле, 181
- всегда заключает в себе обе силы 1627, 1632, 1635, 1642
- , его индуктивная сила — боковое действие 1108
- , его индукция на самого себя 1048
- , его нагревательное действие равномерно 1630
- , его неисчерпаемость 1631
- , его определение 282, 511
- , его *поперечные действия* 1653, 1658
- Ток электрический, его передаточные действия* имеют отношение к смежным частицам 1664
- , — имеют свойства полярности 1665
- , — постоянны 1658
- , его природа 511, 667, 1617, 1627
- , его *сечение* 498, 504, 1634
- , — представляет постоянную силу 1634
- , его *скóрость* при проводимости 1648
- , — при электролизе 1651
- един и неразделим 1627
- , естественный указатель его направления 663
- , индукция. См. Индукция электрического тока
- , индуцируемый в различных металлах 193, 213, 201, 211
- испытывает влияние теплоты 1637
- останавливается при отвердевании 381
- , получение его индукцией 1, 6, 232, 241, 1101, 1048
- постоянен в своих свойствах 1618, 1627
- , производимые им действия, открытые Порреттом, 1646
- , *производимый* животными, 351
- , — индукцией другими токами, 6, 1089
- , — магнитами, 36, 88, 344
- , — разрядом статического электричества, 296, 307, 363
- , — теплотой, 349
- , — трением, 301, 307, 311
- , — химическим действием, 879, 916, 1741

- Ток электрический производит** магнетизм 1653
 — — тепло 1625
 — — химические явления 1621
 —, различные способы производить его 1618
 — регулируется тонкой проволокой 853 *прим.*
 — состоит не из одного электричества 1627, 1632, 1635
- Трением** возбуждение 1744
 — получаемое электричество, его свойства 284
- Увеличение** числа элементов гальванической батареи, его действие 990
- Углекислый газ**, искра в нем 1422, 1463
 —, кисти в нем 1461, 1476
 — мешаает действию платины 645, 652
 — не представляет помехи действию платины 645, 652
 — облегчает образование искры 1463
 —, положительные и отрицательные кисти в нем 1476
 —, разряд в нем, положительный и отрицательный 1516
 —, свечение в нем 1534
- Удар** сильный с одной гальванической парой 1049
- Удельная индуктивная способность** 1252
 — воздуха 1284
 — газов 1283, 1290
 —, прибор для нее 1187
 — серы 1275, 1310
 — стекла 1271
 — шеллака 1256, 1270, 1308
- Удельная индукция**. См. **Индукция** удельная 1252
- Удержание** электричества атмосферным давлением, гипотеза 1377, 1398
- Уитстона** анализ электрической искры 1427
 — измерение кондуктивной скорости в металлах 1328
- Уксусная кислота**, ее электролиз 773
- Униполярность** 1635
- Упругость** газов 626
 — газовых частиц 658
- Условное** указание направления тока 663
- Условия** новые электро-химического разложения 453
 — общие гальванического разложения 669
- Усовершенствованная** гальваническая батарея 1006, 1120
- Физиологические действия** гальванического электричества 279
 — животного электричества 357
 — магнито-электричества 56, 347
 — обыкновенного электричества 332
 — термоэлектричества 349
- Фокс**, его земные электрические токи 187
- Форма**, ее влияние на индукцию 1302, 1374
 — разряд 1372, 1374
- Фосфорная кислота** не электролит 682
- Фторид** свинца в нагретом состоянии проводит хорошо 1340
- Фтористо-водородная кислота** не электролизуется 770
- Фузиниери** о способности платины производить соединения 613

- Химические действия в различных местах, противоположные друг другу, 891, 910, 1007
- Химические действия на расстоянии, связанные друг с другом и противоположные, 891, 909
- Химические и электрические силы тождественны 877, 918, 947, 960, 965, 1031
- Химическое действие*, возбуждающее элемент, есть окисление 921
- , *вызываемое* металлами 564
- , — платиной 564, 617, 630
- , обнаруживаемое иодидом калия 315
- Химическое разложение*, производимое гальваническим электричеством, 278, 450, 661
- животным, электричеством, 355
- магнито-электричеством, 346
- обыкновенным электричеством, 309, 453
- термоэлектричеством, 349
- См. Разложение электро-химическое
- Химическое сродство*, влияние на него механических сил 656
- может переноситься через металлы 918
- статическое, или местное 852, 921, 947, 959
- , ток 852, 918, 947, 996
- Хлорид олова*, его электролиз 789, 819
- *свинца*, его электролиз 794, 815
- , —, необходимое для его электролиза напряжение 978
- *серебра*, его электролиз 541, 813, 902
- Хлорид серебра*, необходимое для его электролиза напряжение 979
- сурьмы не есть электролит 690
- Хлориды* в растворах, их электролиз 766
- расплавленные, их электролиз 789, 813
- Центры* [сгущения], их действие 623, 657
- Цепи гальванические* простые 875
- сложные 989
- Цепь гальваническая, расположение в ней тел 962
- Цианисто-водородная кислота. См. Синильная кислота
- Цинк амальгамированный* в батареях, его чистота 1144
- , его окисление является источником силы в элементе 919
- , его применение в элементах 999
- , его свойства 863, 1000
- , его отношение к электролизу 949
- , *пластинки из него в батареях* грязные 1145
- — новые и старые 1146
- , расход его в гальванических батареях 997
- Частицы* в воздухе как заряжаются 1564
- диэлектрика, их индуктивные свойства 1369, 1410, 1669
- , их действие при электролизе 520, 1343, 1703
- , их местное химическое действие 961, 1739
- , их отношение к электрическому действию 73
- Частицы*, их полярность под действием индукции 1298, 1676

- , их электрическое действие 1669
1679, 1740
- как поляризуются 1669, 1679
- — в любом направлении
1689
- — в электролитах 1702
- —: как целое или их элементы
1699
- кристаллические 1689
- смежные действуют при индукции 1165, 1677
- смежные действуют при электролизе 1349, 1702
- соседние, их взаимоотношение
619, 624, 657
- , состояние их выделения
658
- Чистая платина**, ее свойства 633,
717
- , ее способность производить соединения 590, 605, 617, 632
- , См. Пластины платиновые
- Чистота металлов и других твердых тел** 633
- Шар вращающийся Барлоу**, объяснение явлений 137, 160
- обладает магнитными свойствами 164
- Шары огненные в атмосфере**
1641
- Шеллак**, действие его проводимости 1234
- , его отношение к проводимости и изоляции 1324
- , его удельная индуктивная способность 1256, 1269
- , индукция через него 1255
- , удаление с него заряда 1203
- Щелочь**, ее перенос 525
- обладает сильной возбуждающей способностью в гальванической батарее 884, 931, 941
- Эквиваленты электрохимические**
824, 833, 855
- и химические суть одно и то же
836, 839
- Электрики, их заряд 1171,
1247
- Электрическая батарея**, применявшаяся обычно, 291
- и магнитная силы, их взаимоотношение 118, 1411, 1653, 1658,
1709, 1731
- индуктивная способность. См. Удельная индуктивная способность
- индукция 1162. См. Индукция
- искра. См. Искра электрическая
- и химическая силы тождественны 877, 917, 947, 960, 965
1031
- машина, применявшаяся обычно, 290
- полярность. См. Полярность электрическая
- проводимость 1320. См. Проводимость
- сила, ее природа 1667. См. Силы
- Электрические кисти** 1425. См. Кисти электрические
- , состояние при них частиц вещества 862, 1669
- Электрический разряд 1319. См. Разряд электрический
- Электрический ток**, его определение 283, 511
- , его природа 511, 1617,
1627
- , индукция 6, 232, 241, 1048,
1101. См. Индукция электрического тока

- Электрический ток*, индукция его на самого себя 1048
 — См. Ток электрический
- Электрическое возбуждение* 1737.
 См. Возбуждение.
- Электричества два* 1163
 —, их независимое существование 1168
 —, их неотделимость друг от друга 1168, 1177, 1244
 — никогда не разделяются в токе 1628
 —, тождественность их при любом возбуждении 265, 360
- Электричества количество* в веществе 852, 861
 — одно или два? 516, 1667
- Электричество гальваническое* 268
 —, его определенное магнитное действие 216, 366
 —, — нагревательное действие 1625
 —, — разлагающее действие 329, 377, 783, 1621
 —, его отношение к пустоте 1613
 —, его распределение на проводниках 1368
 — —, — зависит от формы 1302, 1374
 — —, — давления воздуха 1375
 — —, — расстояния 1303, 1364, 1371
 —, животное, его свойства 351
 —, магнито-электричество, его свойства 343
 — обыкновенное, его свойства 284
 — обыкновенное и гальваническое, их измерение 361, 860
 — связанное 1684
 —, термо-электричество, его свойства 349
- Электричество гальванической батареи* 875
- Электричество гальванической батареи, его источник* 875
 —, — лежит в химическом действии 879, 916, 919, 1738, 1741
 —, — не металлический контакт 887, 915
- Электричество из магнетизма* 27, 36, 57, 83, 135, 140
 —, даваемая им искра 32
 —, даваемый им ток, его направление 30, 38, 41, 52, 53, 54, 78, 91, 99, 114, 142, 160, 220, 222
 —, действие при приближении и при удалении 18, 39, 50
 —, его удар 56
 —, закон выделения 114
 —, направление токов в пластинке 123, 150
 — образует магниты 34
 —, общее выражение действия 256
 — от одних магнитов 220
 — отклоняет гальванометр 30, 39, 46
 — посредством вращения шара 137, 160
 — посредством пластинок 94, 101
 — посредством провода 49, 55, 109, 112, 137
 — при намагничении мягкого железа токами 27, 34, 57, 113
 — — магнитами 36, 44
 —, проводники и магнит оба движутся 218
 — — проходит через жидкости 23, 33
 — — с помощью вращающейся пластинки 83, 149, 240
 — — как постоянный источник электричества 89, 90, 150
 — с помощью движения проводников 55, 83, 132, 109, 149, 161, 171
 — —, существенное условие при этом 217

- Электричество из магнетизма с помощью* земного магнетизма 140, 150, 161
- — постоянных магнитов 39, 84, 112
 - , *существенное условие* 217
 - , ток, получаемый в одном проводе, 49, 55, 170
 - *удобный источник электричества* 46 *прим.*
 - — кратковременный 28, 30, 47
 - — постоянный 89, 154
- Электроды*, влияние на них теплоты 1637
- , *изменение их природы* 807
 - , — их размеров 714, 722
 - , их определение 662
 - . См. Полюсы
- Электролиз* 450, 661, 1164, 1347, 1704
- в одной цепи 863, 879
 - , его облегчение 394, 417, 649, 1355
 - , его определение 664
 - и проводимость связаны друг с другом 413, 676
 - , необходимое для него напряжение 919, 966
 - , сопротивление, ему оказываемое, 1007
 - сульфата магнезии 495
 - хлорида серебра 541, 979
 - . См. Разложение электрохимическое
- Электролит возбуждающий*, вода 944, 945
- —, раствор кислоты 881, 925
 - —, щелочи 931, 941
 - , его определение 664
 - , раствор сернистого вещества 943
- Электролитическая индукция* 1164, 1343
- Электролитические проводники* 474
- Электролитический разряд*. См. Разряд электролитический
- Электролитическое действие тока* 478, 518, 1620
- Электролитическое напряжение* 911, 966, 983
- воды 968, 981
 - , его естественное значение 987
 - различно для различных тел 912, 986, 1354
 - сульфата натра 975
 - хлорида свинца 978
 - хлорида серебра 979
- Электролиты в жидком состоянии* суть хорошие проводники 394, 823
- в твердом состоянии являются не проводниками 381, 394
 - —, почему? 910, 1705
 - и металл, их состояние в гальваническом элементе 946
 - , исключение 1032
 - , их обязательный состав 669, 823, 829, 858, 921, 1347, 1708
 - , их истинная проводимость не изменяется от растворения других веществ 1356
 - , их сопротивление разложению 891, 1007, 1705
 - , их частицы поляризуются как целое 1700
 - , как обыкновенные проводники 970, 983, 1344
 - , кислоты не относятся к этому классу 681
 - могут проводить слабые токи без разложения 967
 - *необходимы в гальваническом элементе* 921
 - —, почему? 858, 923

- Электролиты*, необходимость проводимости 1158
- , одновременно проводят и разлагаются 413
 - , отношение их подвижных элементов к проходящему току 923, 1704
 - , пропускание через них поляризованного света 951
 - , соли, рассматриваемые как электролиты 698
 - состоят из элементов, взятых в отношении один к одному, 679, 697, 830, 1707
 - твердые, их изолирующая и проводящая способность 419
- Электромагнит*, индуктивные действия в нем 1060
- Электромагнитная индукция*, ее определение 216, 366
- Электрометр Кулона*, описание 1180
- , пользование им 1183
- Электротоническое состояние* 60, 231, 242, 1144, 1661, 1729
- есть состояние напряжения 71
 - зависит от отдельных частиц 73
 - рассматривается как общее всем металлам 66
 - — проводникам 76
- Электрохимические эквиваленты* 824, 833, 835, 855
- всегда согласуются друг с другом 835
- Электрохимические эквиваленты*
- дают возможность определить атомный вес 851
 - , их таблица 847
 - , как их установить 837
 - суть те же химические эквиваленты 836, 839
- Электрохимическое возбуждение* 878, 919, 1738
- Электрохимическое разложение* 450 661
- , влияние при нем воды 472
 - , его теория 477
 - , новые условия его 453
 - , общие условия 669
 - , первичные и вторичные результаты 742
 - , терминология 661
 - является определенным 732, 783
 - *См. также* Разложение электрохимическое
- Элемент гальванический*, его электричество 875
- *См.* Батарея гальваническая
- Элементарные вещества*, вероятно, являются ионами 849
- Элементы выделяются на полюсах*, почему? 535
- силу тока 493, 520, 524
- Элементы*, их перенос 454, 538
- , не состоящие в соединении, не движутся 544, 546
 - , появляющиеся на обоих полюсах 552, 681, 757
- Эфир* мешает действию (платины) 651

ОГЛАВЛЕНИЕ



	Стр.
Предисловие	7
Первая серия (пп. 1—139)	
<i>Раздел 1.</i> Об индукции электрических токов	11
<i>Раздел 2.</i> Об образовании электричества из магнетизма	19
<i>Раздел 3.</i> О новом электрическом состоянии материи	31
<i>Раздел 4.</i> Объяснение магнитных явлений Араго	42
Вторая серия (пп. 140—264)	
<i>Раздел 5.</i> Земная магнито-электрическая индукция	67
<i>Раздел 6.</i> Общие замечания и пояснения относительно силы и направления магнито-электрической индукции	86
Третья серия (пп. 265—379)	
<i>Раздел 7.</i> Тожество отдельных видов электричества, происходящих от различных источников	110
<i>Раздел 8.</i> Количественные соотношения между обыкновенным и гальваническим электричеством	146
Четвертая серия (пп. 380—449)	
<i>Раздел 9.</i> О новом законе электрической проводимости	155
<i>Раздел 10.</i> Общие соображения об электрической проводимости	167
Пятая серия (пп. 450—563)	
<i>Раздел 11.</i> Об электрохимическом разложении	176
Глава I. Новые свойства электрохимического разложения	177

Глава II. Влияние воды на электрохимическое разложение . . .	185
Глава III. Теория электрохимического разложения	187

Шестая серия (пп. 564—660)

<i>Раздел 12.</i> О способности металлов и других твердых тел вызывать соединение газообразных тел	227
---	-----

Седьмая серия (пп. 661—874)

<i>Раздел 11.</i> Об электрохимическом разложении (продолжение). Пред- варительные соображения	265
Глава IV. О некоторых общих условиях электрохимического разложения	270
Глава V. О новом приборе для измерения гальванического электричества	280
Глава VI. О первичном или вторичном характере выделяющихся у электродов химических веществ	294
Глава VII. Об определенной природе и о размерах электрохими- ческого разложения	310
<i>Раздел 13.</i> Об абсолютном количестве электричества, связанном с частицами или атомами материи	334

Восьмая серия (пп. 875—1047)

<i>Раздел 14.</i> Об электричестве гальванического элемента; его источ- ник, количество, напряжение и основные свойства его . . .	347
Глава I. О простых гальванических цепях	—
Глава II. О напряжении, необходимом для электролиза	390
Глава III. О составных гальванических цепях, или гальвани- ческой батарее	400
Глава IV. О сопротивлении электролита электролитическому действию и о введении промежуточных пластин . . .	409
Глава V. Общие замечания о гальванической батарее в дей- ствии	420

Девятая серия (пп. 1048—1118)

<i>Раздел 15.</i> Об индуктивном влиянии электрического тока на самого себя и об индуктивном действии электрических токов вообще . .	429
---	-----

Десятая серия (пп. 1119—1160)

<i>Раздел 16.</i> О гальванической батарее усовершенствованного типа .	457
--	-----

<i>Раздел 17.</i> Некоторые практические указания о конструкции гальванической батареи (1034 и т. д.) и пользовании ею	466
--	-----

Одиннадцатая серия (пп. 1161—1317)

<i>Раздел 18.</i> Об индукции	477
Глава I. Индукция — действие смежных частиц	—
Глава II. Об абсолютном заряде материи	482
Глава III. Электромметр и индуктивный прибор, служившие для опытов	487
Глава IV. Индукция по кривым линиям	503
Глава V. Об удельной индукции, или удельной индуктивной способности	520
Глава VI. Общие выводы относительно природы индукции. Добавление к «Экспериментальным исследованиям по электричеству, одиннадцатая серия	539

Двенадцатая серия (пп. 1318—1479)

<i>Раздел 18.</i> Об индукции (продолжение)	549
Глава VII. Проводимость, или кондуктивный разряд	550
Глава VIII. Электролитический разряд	562
Глава IX. Разрывной разряд и изоляция	570
Электрическая искра или вспышка	588
Электрический кистевой разряд	596
Различие между разрядами у положительной и отрицательной поверхностей проводников	614

Тринадцатая серия (пп. 1480—1666)

<i>Раздел 18.</i> Об индукции (продолжение)	621
Глава IX. Разрывной разряд (продолжение). Особенности положительного и отрицательного разрядов в форме искры или кисти	—
Разряд со свечением	639
Темный разряд	645
Глава X. Конвекционный разряд, или разряд путем переноса	653
Глава XI. Отношение пустоты к электрическим явлениям	674
<i>Раздел 19.</i> Природа электрического тока	677

Четырнадцатая серия (пп. 1667—1748)

<i>Раздел 20.</i> Природа электрической силы или сил	699
<i>Раздел 21.</i> Связь между электрической и магнитной силами	715
<i>Раздел 22.</i> Замечания об электрическом возбуждении	724

Приложения:

Т. П. Краец, М. Фарадей и его «Экспериментальные исследования по электричеству»	733
Примечания редактора	781
Таблица перевода мер	806
Таблица химических обозначений элементов и соединений, употребляемых Фарадеем	809
Указатель именной	810
Указатель предметный	812

Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета Академии Наук СССР

*

РИСО АН СССР № 2502. М-С6008. Подп. к печ. 5/VIII 1947 г. Бум. 70×92¹/₄
Печ. л. 53 + 2 вкл. Уч.-издат. л. 48¹/₂. Тираж 5:00.
Цена в переплете 43 руб.

*

Набрано во 2-й типографии „Печатный Двор“ им. А. М. Горького треста „Полиграф-
книга“ ОГИЗ'а при Совете Министров СССР. Ленинград, Гатчинская, 26. Зак. 549
Отпечатано с матриц во 2-й тип. Издат. Академии Наук СССР.
Москва, Шубинский пер., 10. Зак. 3249.