

Филипп Э. А. фон Ленард

О катодных лучах

Нобелевская лекция 28 мая 1906.

Мне очень приятно выполнить свою обязанность лауреата Нобелевской премии и рассказать Вам о катодных лучах. Я потрясён, что Вы предпочли услышать от меня то, что не смогут рассказать другие. Я опишу Вам развитие данного предмета - который также включает в себя новейшие теории относительно электричества и материи - каким оно представляется мне на основе моего собственного опыта*. Это предоставит мне долгожданную возможность показать, с одной стороны, как моя работа опиралась на работы предшественников, а с другой стороны, каким образом в одном или двух моментах связаны с ней последующие или более или менее современные работы других исследователей. Таким образом, пользуясь аллегорией, которую Вы, мои почтенные коллеги Академии наук, применяете в заголовках своих дипломов**, я сейчас буду говорить не только о плодах, но и о деревьях, их породивших, а также о тех, кто посадил эти деревья. Такой подход наиболее уместен в моем случае, так как меня никоим образом не причисляли к тем, кто собирает плоды; я был только одним из тех, кто сажает деревья, ухаживает за ними или помогает это делать.

За то время, которое есть в моем распоряжении, я могу рассказать лишь о нескольких аспектах своей работы в рассматриваемой области.

Начало возвращает меня на 26 лет назад к Круксу. Я прочел его лекцию об «излучающей материи» (5)*** - его термин для катодных лучей****- и она произвела на меня огромное впечатление. Всем вам знакомы проведенные им эксперименты. На рисунке 1 представлен один из них: стеклянная трубка с сильно разреженным воздухом; отрицательно заряженная пластина или катод (a), на котором создаются лучи; крест (b) на пути лучей и тень от креста (d), отброшенная лучами

*В этом докладе я попытался расположить в хронологическом порядке все публикации, которые, на мой взгляд, сделали основной вклад в данный предмет, даже если они встретились мне слишком поздно, чтобы повлиять на мою работу.

**Изображение герба: садовник, сажающий молодые деревья, с девизом «Для наших потомков».

***Числа в скобках относятся к библиографии, приведенной в конце доклада; «с» указывает номер страницы в объемных публикациях.

****После Фарадея, Гитторф (2), а затем Гольдштейн (4) уже получили и исследовали «тлеющие лучи» или «катодные лучи». Но Крукс добился большего прогресса, чем эти исследователи, потому что он проводил эксперименты в более глубоком вакууме.

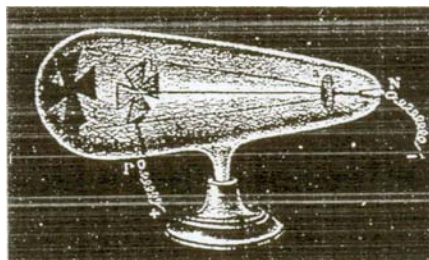


Рис. 1

на фосфоресцирующую стеклянную стенку. Тень смещается, когда подносится магнит, это указывает на то, что катодные лучи - в отличие от световых - изгибаются в магнитном поле.

В своей работе я всегда придавал большое значение проблеме изоляции изучаемого явления от источников любых помех независимо от сложностей, которые это влечет за собой, такого подхода уже придерживался в своей работе Крукс. Благодаря этому он добился получения катодных лучей в чистом виде, чего не могли достичь ранее, и показал, что они представляют собой весьма специальный тип явления разряда, отличающийся от других своей подкупающей простотой. Истинная природа «излучающей материи» или «четвертого агрегатного состояния», как он это называл, тогда лежала за пределами моего понимания так же, как она, должно быть, была и вне его понимания, в чем сейчас мы можем быть уверены. Но я с готовностью разделил его энтузиазм, когда он сказал: «Я верю, что здесь заключена конечная реальность.» И мы оказались правы: именно поэтому я и стою здесь сегодня!

Мой интерес к данному предмету не нашел прямого выражения в студенческие годы. Электрические разряды в газе считались неподходящим объектом изучения для начинающих, и правильно. Но даже зрелые исследователи не могли добиться в этой области ничего действительно значительного в годы, последовавшие за работой Крукса. Они не могли получить никаких результатов, которые сами по себе открыли бы новые перспективы, да и что касается чистоты условий проведения экспериментов, они вряд ли продвинулись дальше работы Крукса.

Лишь позднее, когда я работал ассистентом Квинке в Гейдельберге, у меня появились возможность и средства для создания ртутного воздушного насоса, способного обеспечить очень высокую степень разрежения - этот насос тогда был отнюдь не стандартным предметом оснащения физических институтов - а также для проведения своих собственных опытов с катодными лучами. Я хотел работать с этими лучами непосредственно, насколько это было возможно, и думал, как замечательно

было бы, например, вывести их из трубки на открытый воздух, так как тогда с ними можно было бы проводить прямые эксперименты. Для этого в стенку трубки нужно было вставить герметичный затвор, который пропускал бы лучи. В то время излучающая *материя* не могла легко проходить через герметичные затворы, но, быть может, Эйлхард Видеман был прав, когда предполагал, что катодные лучи представляют собой разновидность далекого ультрафиолетового света? В конечном счете, кварц показался мне наиболее подходящим материалом для моих исследований, так как он наилучшим образом пропускал все известные тогда излучения. Здесь, на рисунке 2, изображена трубка, изготовленная вместе с катодной пластиной, а сверху Вы видите отверстие, запечатанное кварцевой пластиной толщиной 2,4мм. Однако опыт оказался неудачным; над кварцем мне не удалось обнаружить ни свечения, ни даже электрических* эффектов, которые определенно можно было бы приписать свету, исходящему из трубки.



Рис. 2

Это было четырьмя годами позже, в 1892 году, когда появилась иная возможность. Герц, ассистентом которого я тогда был, обнаружил, что тонкий металлический лист пропускает катодные лучи (15). Он использовал очень тонкие, очень мягкие и пористые золотой, серебряный и алюминиевый листы, которые применяются в переплетном деле, но показал, что катодные лучи проходят не только через поры, но и через сам материал, металл листа. Однажды он позвал меня - событие, которое, к моему великому сожалению, в то время происходило не часто - и показал мне то, что только что обнаружил: урановое стекло, накрытое алюминиевым листом, внутри разрядной трубки светилось под листом, который облучался сверху. Он сказал мне: «Мы должны - и это должен был делать я, так как у него не было времени - разделить две камеры алюминиевым листом и создать лучи, как обычно, в одной из них. Тогда их можно будет наблюдать в другой камере в более чистом виде, чем это было до сих пор, и, хотя разность давлений в камерах невелика из-за мягкости листа, можно будет полностью вакуумировать камеру наблюдения, и посмотреть, помешает ли это распространению катодных лучей, другими словами, выяснить, что представляют собой эти лучи -

*В то время Герц только что открыл такие эффекты, создаваемые ультрафиолетовым светом (8). явления, происходящие в материи, или явления, происходящие в эфире.» Судя по всему последний вопрос представлялся ему наиболее важным. Впоследствии я действительно провел этот эксперимент, но меня, главным образом, интересовал другой вопрос-распространение катодных лучей на открытом воздухе. Меня не оттолкнула мягкость листа, которым воспользовался Герц. Я накладывал такие листы один на другой в подходящей для этого трубке и обнаружил, что и 10 и 15 листов по-прежнему достаточно хорошо пропускают лучи. Затем я раздобыл несколько кусочков алюминиевой фольги примерно такой же толщины, чтобы посмотреть, выдержат ли они давление воздуха. Они выдержали при условии, что использовался кусочек фольги достаточно малой площади. Тогда, снова взяв старую трубку, я заменил кварц металлической пластинкой с небольшим отверстием, герметично закрытым алюминиевой фольгой, насыпал несколько крупинок щелочноземельного фосфора на это маленькое алюминиевое окошечко, возбудил трубку, и зернышки начали ярко светиться. Затем я зафиксировал их немного повыше над алюминиевым окошечком, но и они продолжали ярко светиться. Таким образом, катодные лучи не только вышли наружу из разрядной трубки, которой они прежде ограничивались, но и - чего никто не мог предсказать – проходили через воздух нормальной плотности. Мне стало ясно, что передо мной открылось новое огромное поле для исследований - поле, которое не только охватывало невиданные до этого явления, но и также обещало прорыв в неизвестное. Катодные лучи, которые до этого упрямо ускользали от объяснения, раскрыли свой секрет, и, что еще важнее, теперь впервые можно было провести максимально чистые опыты. Давайте перенесем эту ситуацию на другое излучение - свет: пусть до сих пор можно было бы излучать свет лишь внутри печей и пламени, где он создается, как катодные лучи в трубке. Где бы в таком случае остановилась великая и детальная наука оптика? Теперь в печи появилось окно, через которое мог выходить только чистый свет, свободный от сложных и по-прежнему необъясненных процессов его формирования. Эти процессы остались ограниченными внутренней областью разрядной трубки и, как с тех пор обнаружилось, не могли быть поняты, пока не были в достаточной степени изучены сами катодные лучи. Как мы увидим в данном историческом обзоре, это изучение также принесло множество другой информации, определенная часть которой сейчас общеизвестна, об X-лучах и радиоактивности, а также более глубокое понимание электричества и материи.

Теперь, прежде всего, было необходимо расширить уже произошедшее вторжение в новую область знаний. Было важно увеличить интенсивность лучей, выходящих из окошечка и усовершенствовать условия их получения по сравнению с первой трубкой. Это привело к созданию трубки, изображенной на рисунке 3, которая использовалась во

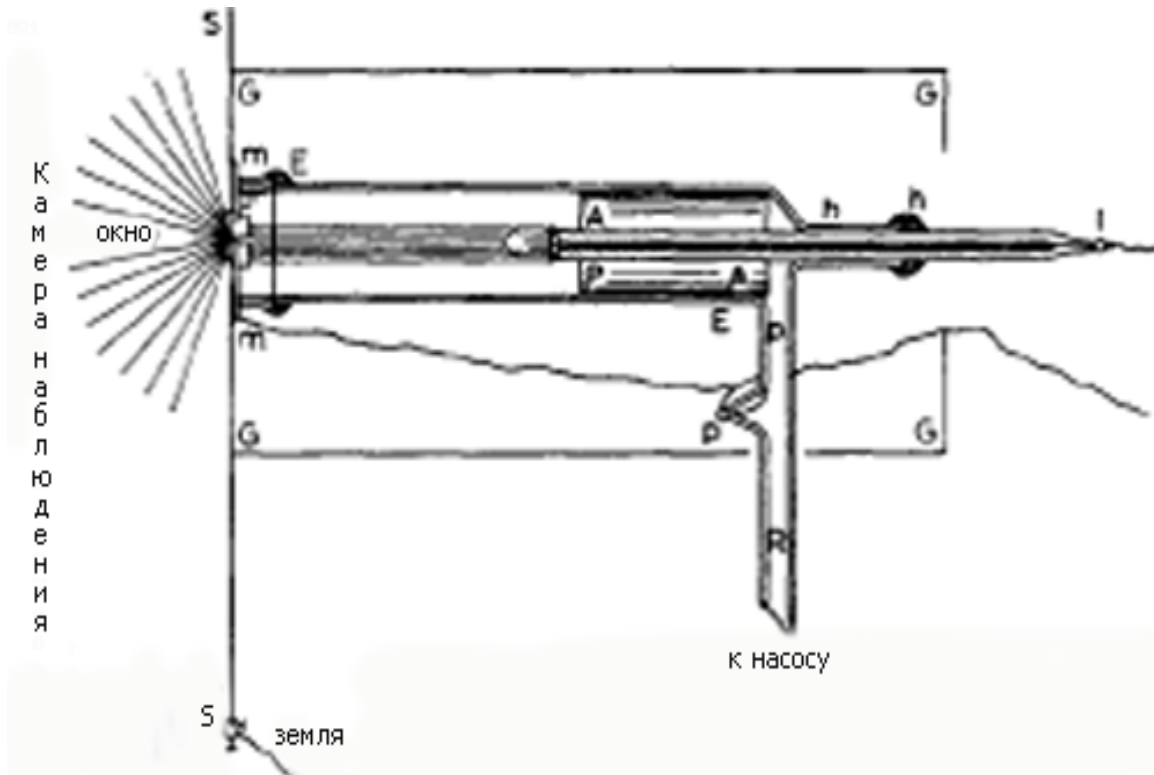


Рис. 3

многих экспериментах (18). Здесь видна камера создания лучей с анодом (А) и катодом (С), и герметичной крышкой (m m) с окошечком, за которым расположена камера наблюдения, где появляются лучи. Количество явлений, возможных в такой трубке, таково, что, несмотря на то, что все наиболее, а также несколько менее очевидные из них уже, возможно, открыты, следствия этих явлений пока недостаточно изучены.

Следует отметить, что эти лучи невозможно увидеть; было бы бесполезно приникать глазом к окошечку, так как данный орган не воспринимает катодные лучи. С другой стороны, материалы, способные к свечению без тепла - фосфоресцирующие материалы, как их называют, подходят для того, чтобы сделать эти лучи видимыми. Лучше всего использовать бумажные листы, покрытые такими материалами, как, например, какой-нибудь кетон, цианид платины или щелочноземельный фосфор, и держать их в качестве экрана на пути лучей. Если экран светится, это значит, что на него попали лучи. Эти лучи также можно сфотографировать. В общем, здесь применимы те же методы, что используются для того, чтобы сделать видимым ультрафиолетовый свет, бывший в то время единственным известным примером для демонстрации подобного невидимого излучения.

Когда мы используем фосфоресцирующий экран, мы обнаруживаем, что он ярко светится при приближении к окошечку; по мере увеличения расстояния от экрана до окошечка интенсивность лучей постепенно снижается, пока на расстоянии около 8 сантиметров экран не становится практически темным. Очевидно, что воздух при полном атмосферном давлении не особенно проницаем для катодных лучей, конечно, менее проницаем, нежели для света. Но гораздо более интересно было обнаружить, что воздух является для этих лучей мутной средой, также как молоко для света. Если на

некотором расстоянии от окошечка поместить непроницаемую стенку с отверстием в ней и перпендикулярно ей расположить экран, то мы получим следующий вид (рис. 4). На этом рисунке пунктирные линии обозначают узкий пучок лучей, который мы должны ожидать в случае прямолинейного распространения. Однако, в действительности, на экране, расположенном на открытом воздухе, мы видим размытый изогнутый пучок лучей, который увидели бы, если бы через то же отверстие пропустили свет в емкость с немного разбавленным молоком. Что замутняет воздух? Молоко

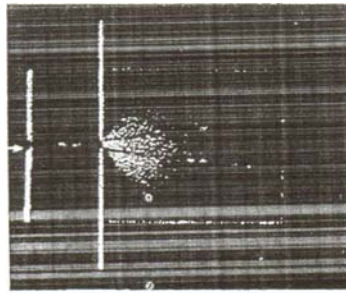


Рис. 4

делают мутным для света многочисленные маленькие частицы жира, находящиеся во взвешенном состоянии. Но чистый воздух не содержит ничего, кроме взвешенных в эфире молекул содержащихся в нем газов. Эти молекулы чрезвычайно малы: они в 10000 раз меньше, чем частицы жира, они слишком малы, чтобы по отдельности как-то повлиять на свет. Но, как мы видим, катодным лучам препятствуют эти молекулы. Таким образом, эти лучи должны быть чрезвычайно тонкими, настолько тонкими, что молекулярная структура материи, которая сравнима с очень тонкими световыми волнами, становится весьма значительной по сравнению с ними. Следовательно, с помощью этих лучей можно попробовать получить информацию о природе молекул и атомов.

Таким образом, особый интерес представляет изучение поведения разнообразных материалов по отношению к катодным лучам. Первым моментом, который стоило изучить, была проницаемость. Некоторое представление о ней можно получить, подержав тонкий слой изучаемого материала между окошечком и экраном. Совершенно ясно, что проницаемость или непроницаемость материала для света ни малейшим образом не связана с его поведением по отношению к катодным лучам. В качестве примера (рис.5), отпечаток прямой фотографии, сделанной у алюминиевого окошечка. На верхней ее половине видна глубокая тень абсолютно проницаемой для света прямоугольной кварцевой пластинки толщиной в $\frac{1}{2}$ мм, а на нижней половине, как матовая завеса, изображение обыкновенного непроницаемого для света алюминиевого листа, накрывающего эту половину и имеющего несколько неправильные границы.



Рис. 5

При выборе толщины слоя, отбрасывающего тень, нужно проявлять особую осторожность. Так, например, кварцевая пластинка, которая используется в этом опыте, непроницаема просто потому, что она слишком толстая, и причина того, почему металлические листы оказались единственным примером проницаемых слоев в опытах Герца, заключается в их малой толщине. Скоро мы увидим, что большая часть других материалов, имеющих такую же толщину, проницаема для катодных лучей даже в большей степени, нежели золото и серебро. Абсолютно очевидно, что поглощение катодных лучей в любом веществе представляет собой постепенный процесс так же, как в случае со светом, когда, как нам известно, золото становится проницаемым, если его сделать достаточно тонким. Здесь, на рисунке 6, мы видим тень от листов алюминия, ступенчато наложенных друг на друга; числа с левой стороны означают количество листов, а числа с правой стороны общую толщину. Каждое увеличение количества



Рис. 6

листов, любую неравномерность толщины отдельного листа, а также то, как почти полная проницаемость переходит в почти полную непроницаемость, могут быть замечены. Таким образом, для каждого материала нужно было не просто решить, является он «проницаемым» или «непроницаемым», но и найти численную величину степени поглощения катодных лучей этим материалом, измерить его *поглощающую способность*, что я и проделал для множества твердых и газообразных материалов.

Результат был поразительным. Все великое множество свойств, которые мы связываем с окружающими нас материалами, исчезло. Единственной определяющей характеристикой оказался *вес* (21). Все, что имело одинаковый вес, поглощало одинаково, все, что было тяжелее, поглощало больше, все, что было легче, поглощало меньше и всегда пропорционально весу или массе. В первом приближении химический состав материалов, их агрегатное состояние и другие свойства вообще не имели значения, что было совершенно беспрецедентным результатом, который не имел места для любого другого, известного в то время излучения*. Во втором приближении при более близком рассмотрении видно, что химический состав тоже оказывает небольшое влияние: так, например, водород и все, что его содержит, поглощает немного больше, чем это можно было бы ожидать в соответствии с пропорциональностью его весу. Но здесь мне следует воздержаться от подробного обсуждения этих отклонений и их смысла**. В качестве иллюстрации закона пропорциональности массы и поглощения катодных лучей, который действует в первом приближении, рассмотрим прямые фотографии теней, отброшенных слоями алюминия, серебра и золота равной толщины (рис. 7). Мы видим, что тяжелое серебро поглощает больше, чем более легкий алюминий, а золото, которое тяжелее и серебра, и алюминия, поглощает больше всего. С другой стороны, если мы возьмем слои трех металлов равного веса (рис. 8), мы соответственно получим одинаковые тени и равное поглощение, причем этот результат



Рис. 7



Рис. 8

*Позднее обнаружилось, что X-лучи являются вторым примером излучения, которое поглощается более или менее пропорционально массе поглощающего материала.

**Сравните (21, 47, 52).

был бы точно таким же, если бы мы взяли слои равного веса любых других материалов.

На самом деле, в отношении катодных лучей оказалось, что не только поглощение, но и рассеивающая способность, которую я также изучил для нескольких различных материалов (18b, с.257; 21, с.265), связана исключительно с весом, массой рассматриваемого материала, - *количеством* материи - как называл это Ньютон - а не *качеством* материала*. Если мы сейчас вспомним, что катодные лучи по мере их распространения в веществе подвергаются воздействию отдельных молекул вещества, мы можем сделать вывод, что молекулы самых разнообразных материалов, а также атомы разнообразных химических элементов отличаются друг от друга не качественно, а лишь количественно, т. е. все они состоят из одного базового материала, но содержат разные его количества. Эта старая, но из-за отсутствия достоверных данных почти позабытая гипотеза алхимиков, ярко вспыхнула в наших умах, причем на этот раз не для того, чтобы вновь исчезнуть, а для того, чтобы обрести доказательство, и как свидетельство этого мы можем процитировать результаты, недавно полученные Рамзаем (54) и Резерфордом (51) и связанные с поразительным превращением радия** в другие элементы. Однако чтобы воспользоваться законом пропорциональности массы и поглощения катодных лучей в качестве основы для более подробных выводов о строении материи, прежде всего, нужно было хоть что-то узнать о природе самих катодных лучей. Так давайте же сейчас обратимся к этой проблеме, о которой я также не переставал размышлять на протяжении всей своей работы.

Прежде всего, нам нужно решить: катодные лучи есть явление в материи или в эфире. Когда с помощью воздушного насоса мы полностью откачаем из камеры воздух, то она уже не содержит вещество, а, подобно небесам, содержит только эфир. Уже давно было известно, что, например, звук не способен проходить через такие вакуумные камеры, но это может делать свет, а также электрические и магнитные силы. Таким образом, несомненно, что звук - это явление, происходящее в веществе, тогда как свет, электрические и магнитные силы - это явления, происходящие в эфире. Нам не удалось провести соответствующую проверку для катодных лучей в обычных разрядных трубках, потому что как только весь воздух удаляется, создание лучей в такой трубке прекращается. Но, ничуть не мешая созданию лучей, мы смогли полностью вакуумировать нашу камеру наблюдений, расположенную по другую сторону окошечка и посмотреть, распространяются ли в этой камере катодные лучи,

*Диффузное отражение катодных лучей, которое можно рассматривать как направленное назад рассеяние, также определяется массой, как это можно увидеть из измерений А.Беккера (52, с. 448).

**В качестве свидетельства элементарной природы радия в работах (38, 39) приведен его спектр и атомный вес.

несмотря на отсутствие там воздуха. Мы обнаружили, что особенно хорошо лучи распространяются в полном вакууме; поскольку исчезают как поглощение, так и рассеяние, вызванные молекулами газа, лучи достигают длины в несколько метров и являются такими прямолинейными и тонкими, какими мы привыкли видеть только световые лучи (18). Таким образом, катодные лучи – это явления, происходящие только в эфире. В частности, на основе вышеупомянутой гипотезы, можно было утверждать, что катодные лучи не являются ни материей, ни испущенными молекулами газа, каковыми их считали некоторые ученые, особенно в Англии*. Однако нам по-прежнему было неясно, к какому типу явлений, происходящих в эфире, относятся катодные лучи. Многие мои читатели весьма ошибочно полагали, что я заранее убедил себя в том, что катодные лучи - это «волны в эфире»; на самом деле, у меня не было никакого желания утверждать ни это, ни что-либо еще, пока мои эксперименты не показали, что это именно так и есть, и пока у меня не появилось хоть какое-то объяснение. В моем распоряжении были средства, предоставленные самой природой и необходимые для открытия новых явлений в ходе дальнейших экспериментов. Я надеялся на эти открытия или так думал, в конце концов. И потому мне было очень жаль, когда на этом этапе мне на довольно долгое время пришлось прервать свои эксперименты, сначала для решения далеко не простой задачи, которая неожиданно свалилась на меня из-за преждевременного ухода из жизни Генриха Герца - публикация его *Prinzipien der Mechanik* (Принципы механики), а затем по причине моего назначения профессором теоретической физики.

Вряд ли стоит упоминать о следующем факте, однако он имел некоторое значение для дальнейшего развития данного предмета, еще до этого перерыва в моей работе я изобрел разрядную трубку нового и гораздо более удобного типа. Я проверил ее настолько, насколько это было возможно, а затем порекомендовал ее к использованию и сделал общедоступной (18b, с. 228) . На рисунке 9, герметичное окошечко вставлено в платиновую трубку, которая, в свою очередь, сплавлена со стеклянной трубкой; это означает, что большое количество замазки, из-за которого трубку обычно очень сложно использовать, здесь отсутствует. При этом трубка данного типа имела еще и особое преимущество, которое в то время нельзя было предвидеть. В ней интенсивные

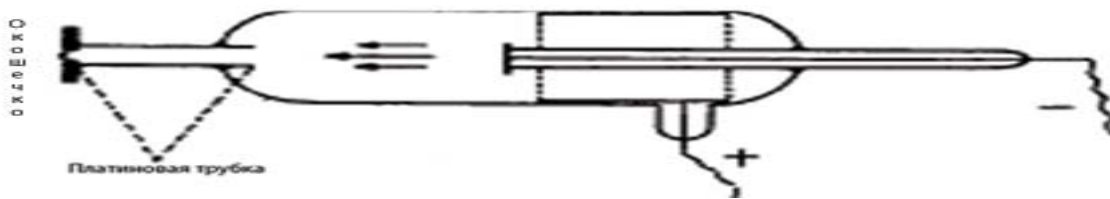


Рис. 9

*Даже после сообщения результатов экспериментов с алюминиевым окошечком, эта теория продолжала оставаться в силе в течение некоторого времени, и предполагалось, что столкновения молекул приводят в действие, через окошечко, молекулы наружного воздуха или молекулы, остающиеся в вакууме.

катодные лучи ударяются о платину большой площади - металл, который, как мы теперь знаем, наиболее эффективно превращает эти лучи в X-лучи, которые тогда еще не были открыты. Таким образом, в этой трубке в очень больших количествах создаются X-лучи, которые также способны проходить через окошечко в камеру наблюдения, либо смешиваясь с катодными лучами, либо отдельно от них. Это было невозможно в прежних типах трубок из-за большого и толстого металлического экрана, расположенного на пути лучей (27). Открытие вскоре после этого X-лучей Рентгеном (22), первым исследователем, использовавшим трубку выше описанного типа, обычно рассматривают как хороший пример научного везения. Но если у наблюдателя есть эта трубка, то его внимание уже обращено не внутрь трубки, а наружу, причем вне трубки по причине ее назначения находятся фосфоресцирующие экраны, и вследствие этого мне кажется, что данное открытие непременно должно было быть сделано на этом этапе развития предмета.

Возобновив свои эксперименты, я вскоре занялся исключительно одной идеей, которую уже выдвинули Герц (7b, с.275) и Шустер (13), которая в связи с природой катодных лучей с самого начала представлялась мне очень важной, и которой я уже начал было следовать на первом этапе своих исследований. Еще со времен Гитторфа было известно, что катодные лучи отклоняются под действием *магнитов* (2); поэтому замеченное Гольдштейном (4) отклонение катодных лучей можно было аналогичным образом интерпретировать как влияние на эти лучи *электрических* сил. Отклонение лучей под действием как магнитных, так и электрических сил говорит о том, что катодные лучи состоят из испущенных отрицательно заряженных материальных частиц. Более того, из экспериментов, проведенных с целью измерения величины магнитных и электрических воздействий на луч, можно даже вычислить скорость предполагаемых материальных частиц, а также электрический заряд на единицу массы (отношение заряд/масса). Именно это и сделали Герц и Шустер, но они получили противоречивые результаты. Герц обнаружил, что его наблюдения опровергают теорию испущенных молекул газа, а Шустер нашел, что его наблюдения подтверждают эту теорию, и таким образом он принял их в качестве обоснования данной теории.

Меня не удивило это противоречие. Дело в том, что оба исследователя наблюдали внутреннюю область разрядной трубки, и их могли запутать сложность процесса создания лучей и присутствие газа, что они оба и оговаривали. Теперь настало время провести эти важные опыты в хорошо определенных экспериментальных условиях, т. е. вне разрядной трубки и в очень глубоком вакууме, и некоторое беспокойство относительно результата было допустимо. Ведь если мы уже знаем, что эти лучи - явления, происходящие в эфире, а не в материи, нас должно удивлять, почему их поведение по-прежнему столь обманчиво напоминает поведение испущенных отрицательно заряженных молекул газа.

Ничто, известное до сих пор, не могло разрешить эту дилемму потока молекул и эфирных явлений; однако это могли сделать мои эксперименты, которые, в любом случае, открыли бы что-то достаточно новое.

Пока я занимался подготовкой к экспериментам*, я узнал, что другие ученые уже убеждены в их важности. Дж. Дж. Томсон первым опубликовал обстоятельную статью по этому предмету (25). Его эксперименты, как и эксперименты Герца и Шустера, проводились в разрядной трубке. С помощью защитных устройств он попытался избежать опасности запутаться из-за взаимодействия продуктов разряда и компенсировать отсутствие надежности, вызванное присутствием газа, широко варьируя условия проведения эксперимента. Мне было ясно, что все последующее покоится на том основании, которому я перестал доверять после расхождения результатов Герца и Шустера. Мне казалось, что прежде чем этот предмет войдет в структуру науки, его следует проверить настолько прямо и строго, насколько это возможно, используя при этом все те средства, которые есть в нашем распоряжении. Поэтому я завершил свои эксперименты, которые привели к следующим результатам (28).

Скорость предполагаемых масс составляла примерно одну треть от скорости света, а отношение их заряда к массе было примерно в 1000 раз больше аналогичного отношения для выделяемых при электролизе атомов атома водорода при электролизе, а эти атомы являются самыми легкими материальными носителями электричества из всех нам известных. Итак, если бы лучи являли собой струящиеся атомы водорода, то их заряд следовало бы принять как в 1000 раз больший, чем тот, который они имеют при электролизе. Однако эту возможность исключали мои предыдущие эксперименты, которые показали, что лучи не являются материальными частицами. Казалось очевидным, что я открыл доселе неизвестные части эфира, представляющие собой электрические заряды и движущиеся подобно инертным материальным частицам. Малость определенной массы – $1/1000$ массы иона водорода при равном заряде - и остальное поведение (30) этих частей эфира способствовало их отождествлению с тем, что было давно известно как «электрический флюид». Наша дилемма, таким образом, имела следующее решение: лучи представляют собой не испущенные электрически заряженные молекулы, а просто струящееся *электричество*. Таким образом, в катодных лучах под самым носом мы обнаружили то, что не надеялись когда-либо увидеть: электричество без материи, электрические заряды без заряженных тел. Мы, в некотором смысле, открыли *само электричество*, вещь, существование или несуществование, а также свойства которой ставили в тупик многих исследователей, начиная с Гильберта и Франклина. Ранние авторы, даже Кулон, наивно считали электричество чем-то, что

*Эти эксперименты я возобновил в Эксе под эгидой Вюльнеровского института и с помощью гранта (1896), им выделенного, но мне опять пришлось их прервать, когда я вновь был назначен профессором в другом месте.

существует и что почти можно потрогать. Но количество известных электрических явлений постоянно росло, но никто не мог утверждать, что видел что-либо, относящееся непосредственно к предполагаемому электричеству. Поэтому случилось так, что - примерно через поколение после Кулона – Фарадей (1), а затем и Максвелл (3) полностью позабыли об электричестве и сосредоточились на *электрических* силах, которые можно было наблюдать. Эти силы - понимаемые как состояния в эфире - как показали знаменитые эксперименты Герца (9), настолько способны к независимому существованию, что с тех пор все начали склоняться к тому, чтобы позабыть об их центрах, электрических флюоидах, которые прежде считались необходимыми. Теперь же - опять-таки через поколение от Фарадея и Максвелла - эта картина несколько изменилась: она стала более завершенной. В катодных лучах мы нашли столь же хороший способ изучения электричества, какой ранее мы находили только в электрических силах; вдоль этих лучей мы можем следовать движению электричества вперед и назад, на расстояния в несколько метров, по своему желанию и непосредственно с помощью наших чувств - без каких бы то ни было промежуточных теоретических заключений; мы можем видеть, как ведет себя электричество в различных условиях, и каковы его свойства; теперь мы в состоянии придать старому термину «электричество» новый основанный на опыте смысл.

Этот новый смысл, значительная часть которого нам теперь понятна, сейчас кажется во многих отношениях отличным от того, что можно было бы предположить ранее.

Следует отметить, что все наши замечания, касающиеся электричества, применимы только к *отрицательному*, но не к положительному электричеству, о котором мы даже сегодня можем сказать очень мало конкретного. Мы не можем утверждать, что это электричество нам знакомо; мы можем только распознать положительно заряженный материал, будь то атомы, молекулы или группы молекул*. Мы, таким образом, используем единый способ выражения и говорим, что кусочек материала заряжен положительно, когда он утратил отрицательный электрический заряд.

Так давайте же рассмотрим отрицательное электричество, каким оно появляется в наших опытах. Здесь нас поражает свобода его движения, которая, по нашим прежним убеждениям, могла иметь место только в металлических проводниках. Уже в разрядной трубке, в самом центре газа, мы приводим это электричество в ускоренное движение посредством напряжения, приложенного к электродам, и его скорость мгновенно становится равной одной трети скорости света, 100000 км/с, а само электричество представляет собой катодный луч. Теперь оно ударяется об алюминиевое окошечко. «Оно прилипнет к нему и стечет на землю» сказали бы мы, основываясь на предыдущих

*Таким образом, например, было обнаружено, что каналовые лучи и альфа-лучи радия, насколько они были изучены, испускают положительно заряженные молекулы.

знаниях. Далеко не так: луч проходит через металлическую пластинку (28, с.28), и, как мне удалось проверить, его скорость при этом не уменьшится ощутимым образом (19; 46, с. 479). За окошечком он может войти в более или менее глубокий вакуум, в котором он продолжает свое линейное движение, представляя собой электрический ток в свободном эфире, явление, которое ранее мы тоже считали невозможным. Когда он, наконец, ударяется о кусочек металла достаточной толщины, он проникает в него и остается там; наконец, пройдя столь необычным курсом, он появляется в виде обыкновенного заряда на поверхности металла (28).

Вопрос о том занимает ли электричество все пространство постоянно или нет, имеет ли оно структуру, представляет особенный интерес. Я наблюдал, как два катодных луча проходят через одну и ту же камеру в противоположных направлениях, и в количественном исследовании данного явления обнаружил, что эти лучи абсолютно не мешают друг другу (44, с. 165). Это говорит о том, что электричество этих лучей состоит из дискретных и очень маленьких порций, разделенных большим объемом свободного пространства. Мы можем представить сами эти частички как более или менее непроницаемые друг для друга, потому что согласно закону Кулона, как только две частички приближаются друг к другу на слишком маленькое расстояние, между ними должны возникнуть огромные силы отталкивания. Но лучший признак структуры электричества происходит из совершенно другого источника, и он гораздо более стар.

Здесь мы подходим к связи между нашими находками и предыдущими знаниями. Эти знания были очень скудными и относились к явлениям, происходящим в отдельных атомах и с этими атомами, т. е. явлениям, которые нельзя было изучить непосредственно, однако эта связь оказалась очень хорошей и плодотворной.

Годами ранее Гельмгольц в своей лекции, посвященной Фарадею, заметил, что явления электролиза говорят о том, что электричество расщепляется на частички постоянного размера точно так же, как материя расщепляется на атомы (6). Таким образом, у нас уже был один признак структуры электричества - существование электрических атомов, *элементарных электрических квантов*, как их назвал Гельмгольц*.

Более того, в области оптики благодаря открытию Зеемана внезапно обрела осязаемую форму уже надежно обоснованная в знаменитых экспериментах Герца (9) теория, в которой каждый светящийся атом рассматривается как электрический осциллятор. Исходя из своих наблюдений, Зееман совместно с Лоренцем пришел к выводу, что в светящихся атомах натриевого или любого другого пламени колеблется именно *отрицательное*** - а не положительное - электричество и что имеется определенное

*Я вспоминаю, что неоднократно слышал от него это выражение во время демонстрационной лекции, которую он читал в летний семестр 1885 года.

**Интересно, что в первых публикациях Зеемана присутствовало слово «положительное», а не «отрицательное» электричество (24, с.18), так что связь между его открытиями и катодными лучами установили несколько позднее.

отношение заряда к массе колеблющегося материала (24). Это отношение имело такую же величину, что и аналогичное отношение, найденное вскоре после этого вышеописанным способом для катодных лучей.

Казалось, что во всех этих случаях, в ионах в электролизе, в светящихся атомах металла, в катодных лучах и, вероятно, везде, где электричество играет некоторую роль, мы, должно быть, имеем дело с *одними и теми же* элементарными электрическими квантами, на существование которых впервые указал закон электролиза Фарадея и которые с помощью катодных лучей можно было бы объяснить более подробно. Эта теория проверена настолько, что породила новую область физики, столь плодотворную и уже столь обширную, что в этом докладе, который посвящен, главным образом, моей собственной работе, я не могу больше распространяться об общих чертах данного предмета. Мне лишь хотелось бы упомянуть три момента.

Во-первых, важной первоначальной количественной проверкой наших выводов является выполненное Вихертом экспериментальное измерение скорости катодных лучей, в котором было получено то же число, что и в экспериментах по отклонению катодных лучей электрическим и магнитным полями (см. выше) - около одной трети скорости света (29).

Во-вторых, отмечу экспериментальный результат Кауфмана, полученный на основе работы Дж. Дж. Томсона и Хевисайда (10) и относящиеся к элементарным электрическим квантам, а именно, что их масса и инерционные свойства имеют исключительно электромагнитную природу (55), этот результат можно интерпретировать следующим образом: у нас нет свидетельств того, что (отрицательное) электричество является особым *материалом*, обладающим инерцией; судя по всему, это лишь *состояние*, состояние эфира, которое мы, вслед за Фарадеем (1), Максвеллом (3) и Герцем (9), привыкли обозначать как электрическое силовое поле в окрестности наэлектризованных тел, состояние, которое согласно Герцу (20) и Бьеркнесу (33) может заключаться в скрытом движении эфира. Таким образом, даже с чистыми квантами электричества ничего не обнаружено, кроме состояния эфира в их окрестности. Сами же эти элементарные кванты представляются нам, в смысле Максвелла, вероятно, пустыми чисто геометрическими центрами электрических сил, за исключением того, что сейчас мы можем утверждать, что в состоянии успешно наблюдать эти центры по отдельности, следовать их движению и изучать геометрические пропорции их размера и формы. Согласно этому результату катодные лучи, струящиеся центры состояния, более чем когда-либо, представляются нам тем, чем они казались с самого начала, чистыми эфирными явлениями.

В-третьих, необходимо перечислить названия, данные этим частичкам электричества, или центрам состояния: я назвал их, *элементарными квантами электричества* или, короче, *квантами*, как и Гельмгольц; Дж. Дж. Томсон говорит о *корпускулах*, лорд

Кельвин об *электрионах*; но в обиход вошло название, которое предпочли Лоренц и Зе-еман, *электрон*.

До сих пор мы говорили о катодных лучах, как таковых; сейчас же мы рассмотрим методы их формирования, их генерацию.

Самый старый и в течение долгого времени единственно известный метод генерации этих лучей, который ранее мы использовали, исключая все остальные, разрядная трубка. Здесь, как и следует из ее названия, лучи возникают на катоде. Молекулы газа, находящиеся под влиянием доминирующих электрических сил, оказывают некоторое воздействие - эффект близости, как назвал его я (53), - на металл электрода, вследствие чего из последнего вылетают кванты. Высвобождаясь, они попадают под воздействие ускоряющих сил поля, существующего между электродами, вследствие чего они движутся, удаляясь от катода с постоянно увеличивающейся скоростью; это и есть готовый луч. Конечная скорость, с которой луч покидает трубку, допустим, через окошечко, определяется величиной поданного напряжения; и тот факт, что в действительности все это напряжение, а не какая-то его доля, определяет конечную скорость луча, доказывает, что источник луча следует искать на катодной поверхности, но, например, не в центре газа*. Таким образом, изменяя величину напряжения, мы можем получить более быстрые или более медленные катодные лучи, и, когда ранее мы говорили об одной третьей скорости света, это значение относилось исключительно к напряжению, равному приблизительно 30000 вольт, которое я использовал практически во всех своих экспериментах.

Как вели бы себя более быстрые или более медленные лучи? Кое-что можно предсказать на основе моих первых экспериментов, в которых напряжение, а, следовательно, и скорость, немного изменялось (18b, с.266; 19; 21, с. 261). Можно было ожидать, что очень быстрые лучи чрезвычайно мало поглощаются (имеют высокую проникающую способность)**; медленные же лучи, судя по всему, наилучшим образом подходят для получения информации о межатомных силах и строении материи. Однако в течение очень долгого времени казалось невозможным осуществить чистые эксперименты в достаточно широком диапазоне скоростей, поскольку стекло разрядной

*Во многих предыдущих исследованиях катодных лучей это было произвольным допущением; доказательство его правильности обеспечивалось растущей с течением времени точностью измерений, причем самой высокой точности достиг, вероятно, А. Беккер (52, С. 404).

**Когда были открыты X-лучи, то это ожидание, казалось, подтвердилось; их первые ставшие известными свойства соответствовали тем, которые предвосхищал я, исходя из своих экспериментов с самыми быстрыми катодными лучами (27). Но первое наблюдение Риги, что X-лучи не переносят отрицательный заряд (23), показало непригодность теории о том, что они являются чрезвычайно быстрыми катодными лучами. Сейчас их считают короткими, поперечными импульсами в эфире, разновидностью ультра-ультрафиолетового света. Тот факт, что такие импульсы

трубки не выдерживало сильных напряжений, которые были необходимы для получения очень быстрых лучей, тогда как медленные лучи, несмотря на легкость их получения в трубке, не проходили сквозь окошечко; они слишком легко поглощались. Не удавалось провести эти опыты и с помощью других устройств*.

Обе проблемы, как проблема самых медленных, так и проблема самых быстрых, лучей, в конечном счете, были решены достаточно новыми способами. Открытие, сделанное Герцем еще в 1887 году (8) и вскоре после этого дополненное Гальваксом (11), показало, что металлические пластинки, если их просто подвергнуть воздействию ультрафиолетового света, испускают в воздух отрицательный электрический заряд. Это замечательное явление - сейчас обычно называемое фотоэлектрическим эффектом - в то время сразу привлекло мой интерес, который не угас и по сей день. Эксперименты, проведенные вместе с астрономом Вольфом, показали, во-первых, что ультрафиолетовый свет делает вещества шероховатыми или измельчает их (12; 46, с. 490). Однако последующие эксперименты привели к тому, что я счел невероятным, чтобы металлические частицы уносили с пластинки отрицательный заряд. Когда я проводил свои первые эксперименты с катодными лучами и обнаружил, что воздух перед алюминиевым окошечком приобретает способность проводить электричество (18), у меня возникла мысль о том, что катодные лучи могут переноситься с пластинки в воздух ультрафиолетовым светом. И тогда, и впоследствии я сделал множество тщетных попыток обнаружить возможные лучи с помощью флуоресцентных экранов в вакууме. И только мое решение - основанное на работе Риги (14) - применить электрометр вместо флуоресцентного экрана позволило обнаружить эти лучи. Исползованный мной аппарат изображен на рисунке 10. U - находящаяся в абсолютном вакууме облучаемая пластина; кварцевый затвор В пропускает ультрафиолетовый свет. Катодные лучи исходят из U, а отверстие в расположенной напротив пластинке E пропускает узкий пучок лучей. Этот пучок лучей ударяется о маленькую пластинку a, которая собирает принесенный им отрицательный заряд, и тем самым с помощью электрометра указывает на существование излучения. Мы подносим близко к трубке магнит или катушку, обозначенную пунктиром, обнаруживаем заряд на пластине b, а не a, что говорит о том, что невидимый луч действительно отклонился под

действительно могут возникать бок о бок с сильным поглощением катодных лучей, какое, например, происходит в тяжелой пластине, следует, как это впервые отметил Хевисайд, из теории Максвелла (10). Факт, что чрезвычайно короткие волны ультрафиолетового света будут проходить через призмы, не преломляясь, предвидел еще Гельмгольц в своей теории дисперсии (17с, с. 517). Предсказание низкой степени поглощения катодных лучей впервые подтвердилось в лучах, испущенных радиом.

*Помимо прочих мер, я пробовал вставлять вместо окошечка узкие желоба, между камерой генерации лучей и полностью вакуумированной камерой наблюдения, но они пропускали слишком много газа.

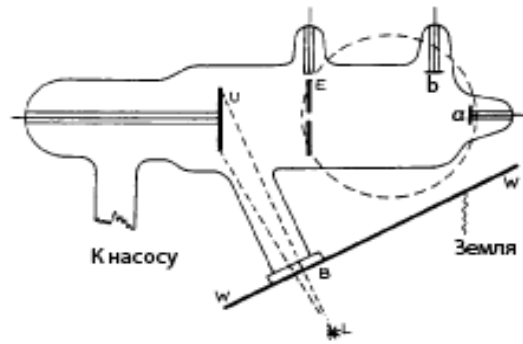


Рис. 10

действием магнита, причем он отклонился именно в том направлении, в каком отклоняются катодные лучи. Когда этот же эксперимент мы проводили, обращая внимание на его количественный аспект, он показал, что отклонение также происходит на угол, соответствующий углу отклонения катодных лучей, и что между зарядом и массой квантов получается то же отношение, что и в случае с лучами, полученными в разрядных трубках (32; 44, с. 150; 46).

Как только мы, таким образом, точно установили, что катодные лучи создаются ультрафиолетовым светом, и как только их поведение стало достаточно хорошо известно, я вскоре сумел обнаружить их и на флуоресцентных экранах (44), а затем продолжил изучать их и даже начал использовать. Позже я расскажу об этом подробнее. Однако относительно действительного образования лучей необходимо отметить следующее.

Во-первых - это очень важно для чистых экспериментов - этот метод может быть использован даже в абсолютном вакууме, где обычный метод бесполезен. Газ вообще не нужен, но он ничуть не мешает образованию лучей, для которого необходимо прямое действие света на металл пластинки. Начальные скорости, с которыми кванты вылетают из пластинки, настолько малы, что отрицательного заряда всего лишь в несколько вольт на противоположной пластинке достаточно, чтобы заставить лучи повернуть назад, еще не достигнув ее. Тогда лучи возвращаются к облученной пластинке точно так же, как брошенный вверх камень упадет обратно на землю (32; 44).*

*1 Мое первое подробное сообщение по данному предмету (32) появилось в *Sitzungsberichte der Kaiserl. Akademie der Wiss. zu Wien* от 19 октября 1899 года. В декабрьском номере *The Philosophical Magazine* за тот же год Дж. Дж. Томсон опубликовал исследование «О массе ионов в газах при низком давлении», в котором также говорится о фотоэлектрическом эффекте, хотя его источник автор по-прежнему ищет в газе, прилегающем к облученной пластинке, как на то указывает замечание на с. 552. В книге того же автора *Электропроводность газов*, второе издание, 1903 г., с. 109, моя публикация датирована следующим годом, чем тот, который я упомянул сейчас, так как цитируется не оригинал, а последующее его переиздание (*Ann. Physik*, 2 (1900) 359, где ясно отмечено, что это именно переиздание).

Следовательно, в данном случае мы получаем чрезвычайно медленные катодные лучи; более быстрые лучи можно получить, придав противоположной пластинке положительный заряд. Скорость лучей можно свободно контролировать уровнем напряжения противоположной пластинки.

Во-вторых, рассматривая действие ультрафиолетового света на пластинку, мы должны представлять, что световые волны заставляют внутреннюю область атомов металла пластинки совершать колебания. Мы уже упомянули о том, что открытие Зеемана доказало, что атомы содержат отрицательное электричество, способное совершать колебания. Если колебание отрицательного кванта в атоме, происходящее синхронно со световыми волнами, станет слишком сильным, то квант вылетит из атома*, а потому и из пластинки, и мы получим катодный луч.

Мы уже сказали о том, что скорость кванта при отрыве от пластинки очень мала. Я также обнаружил, что эта скорость не зависит от интенсивности лучей ультрафиолетового света (M) и потому заключил, что энергия при отрыве исходит вовсе не из света, а из внутренней области конкретного атома. Свет оказывает исключительно иницилирующее действие, весьма напоминающее действие запала при выстреле из ружья. Я нахожу этот вывод важным, поскольку благодаря ему мы узнаем, что запас энергии содержат не только атомы радия - о свойствах которых мы в то время только начинали узнавать более подробно - но и атомы других элементов, которые также могут испускать излучение и, делая это, вероятно, полностью разрушаются, чему соответствует распад и повышение шероховатости веществ, подвергнутых действию ультрафиолетового света. Это мнение недавно подтвердилось в Кильском институте при проведении специальных экспериментов, которые также показали, что фотоэлектрический эффект происходит с неизменными начальными скоростями даже при температуре жидкого воздуха.

Мы не можем рассматривать действие света как ограниченное исключительно твердым агрегатным состоянием. Молекулы или атомы газов подвергаются абсолютно аналогичному воздействию ультрафиолетового света (35; 40); разумно допустить, что из них также вылетают кванты (49, с. 486); газ же при этом приобретает свойство электропроводности, которое позже мы рассмотрим подробнее. Если этот газ, подобно воздуху, содержит кислород, то в качестве побочного продукта создается озон (35)**.

*Этот процесс предвосхищала еще всеобъемлющая теория дисперсии Гельмгольца (17с, с. 518).

**В свете последующих исследований Варбурга можно допустить, что наиболее плодотворные из современных методов получения озона, т. е. методов, которые используют то, что называется «тихими электрическими разрядами», полностью или главным образом, эффективны из-за ультрафиолетового света, сопровождающего эти разряды (48). Богатые источники ультрафиолетового света, которые доступны в настоящее время, например, электрические ртутно-кварцевые лампы, распространяют вокруг себя столь заметный запах озона, что это действие ультрафиолетового света сейчас стало заурядным.

Это же самое действие света, создание катодных лучей, колебание атомов и высвобождение из них квантов, также связано и с фосфоресценцией (50, с. 671), а потому, возможно, и с флуоресценцией, и, может быть, со всеми фотохимическими эффектами. Помня об обнаруженной нами связи преобразования энергий из внутренней области атомов с фотоэлектрическим эффектом, мы не должны удивляться, если в будущем столкнемся с явлениями такого же типа, действующими как источники энергии, не привнесенной извне.

Следует также отметить, что исследования, проведенные как Кюри и Саньяком (37), так и Дорном (42), говорят о том, что X-лучи, как и ультрафиолетовый свет, тоже влияют на образование катодных лучей. Это свойство согласуется с их способностью делать газы электропроводящими и вызывать фосфоресцентные и фотохимические эффекты.

Не успели мы показать, что ультрафиолетовый свет подходит для образования самых медленных лучей, как было найдено решение проблемы образования самых быстрых лучей. В то время уже были известны лучи, испускаемые ураном и радием; Беккерель, Пьер и Мария Кюри продолжали работать над своим открытием. Применив к этим новым лучам вышеописанные методы, разработанные для катодных лучей из разрядных трубок, удалось показать, что новые лучи частично представляют собой катодные лучи (34; 36; 41)*, причем, что удивительно, такие катодные лучи, скорость которых близка к скорости света или равна ей (43). Таким образом, атом радия позволил достичь того, чего не могла выдержать ни одна разрядная трубка - причем он это делает достаточно самопроизвольно - хотя следует признать, что в процессе этого он полностью разрушается (51; 54).

Когда таким образом стал доступен полный диапазон скоростей от полного покоя до скорости света, стоило более подробно исследовать поведение материи по отношению к облучению.

Из замутненности всех веществ, включая воздух, для катодных лучей мы заключили, что каждая молекула или атом действует на эти лучи как отдельное препятствие, которое в большей или меньшей степени отклоняет их от траектории их движения. Как

Тем не менее, значение действия ультрафиолетового солнечного света в верхних слоях атмосферы (35, с. 504) для метеорологии, судя по всему, все еще не получило должной оценки. И по-прежнему не ясно, является ли ионизация воздуха, вызванная катодными лучами и впервые обнаруженная у алюминиевого окошечка (18), влиянием присутствующего там света или вообще прямым воздействием катодных лучей.

* Это та часть уранового или радиевого излучения, которая обыкновенно обозначается как бета.

нам следует представить это отклонение? Давайте, прежде всего, исследуем такой вариант, что может быть, кванты лучей, встречая молекулы вещества, отклоняются так же, как при столкновении отклоняются друг от друга молекулы газа. Может ли быть так, что катодный луч в газе ограничивается той длиной, которую с помощью кинетической теории газов можно легко и точно вычислить как среднюю длину свободного пробега очень маленьких частиц между молекулами газа. Однако такие длины траекторий очень малы; например, в водороде при давлении в 40 мм рт. ст. они составляют около двух сотых миллиметра. За пределами этой столь короткой траектории луч вообще не смог бы распространяться в этом газе, то есть почти мгновенно произошла бы диффузия. Однако, как показали мои более ранние наблюдения (18b), опубликованные в виде диаграмм, газы ни в коем случае не являются настолько мутными. Даже воздух при полном атмосферном давлении оказался гораздо прозрачнее, чем мы уже наблюдали (рис. 6), а более легкий водород, разреженный до обозначенного давления в 40 мм. рт. ст., еще более прозрачен; на рисунке 11 изображена траектория луча в водороде, как она видна на флуоресцентном экране.

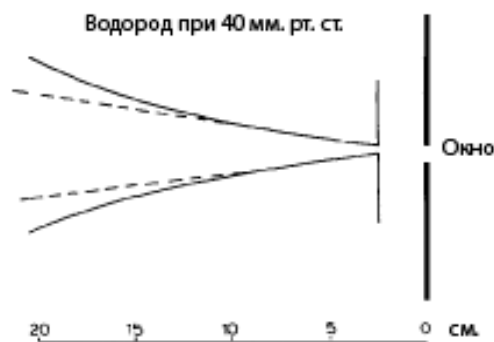


Рис. 11

Пунктирные линии показывают степень распространения прямолинейного света в тех же условиях. Мы видим, что даже на расстоянии десяти сантиметров от окошечка катодный луч практически не отклоняется от этого прямолинейного распространения, и только за пределами этой длины он распространяется намного шире. Однако длина в 10 см. в 5000 раз превышает длину траектории свободного пробега, равную 0,02 мм. Тогда из этого следует, что в данном случае излучающие кванты должны были пройти сквозь 5000 молекул водорода, прежде чем произошло первое заметное изменение направления. Нам было удивительно наблюдать, как мы превзошли старую непроницаемость материи. Каждый атом вещества занимает пространство,

непроницаемое для других атомов*; но для мельчайших электрических квантов все типы атомов являются легко проницаемыми структурами, которые словно состоят из мельчайших компонентов с огромным множеством промежутков.

Каковы же эти мельчайшие составляющие атомов? Согласно закону пропорциональности поглощения лучей массе; вещества, мы уже пришли к выводу, что они одинаковы во всех атомах, но присутствуют в них в разном количестве. Теперь мы можем узнать дальнейшие подробности. Мы можем использовать кванты, составляющие катодные лучи, в качестве мелких пробных частиц, которым мы позволяем проникать внутрь атомов, и таким образом обеспечивать нас нужной нам информацией.

Первую и самую заметную вещь, которая происходит с ними в процессе этого пересечения, т. е. отклонения от прямолинейной траектории движения, мы уже обсудили как *диффузию лучей*. Насколько нам известно, катодные лучи претерпевают подобное отклонение исключительно под действием электрических и магнитных сил. Предположить существование магнитных сил внутри атомов означало бы допустить существование в атомах подвижного электричества, а, следовательно, опять таки электрических сил. Значит, диффузию катодных лучей в материи мы должны рассматривать как доказательство *существования электрических сил во внутренней области атомов*. Величину этих сил можно оценить, рассматривая степень отклонения вместе со временем пролета частицы, которое зависит от скорости квантов и, конечно же, от размера атомов. Если мы будем брать все более и более медленные лучи, то время пролета частицы станет длиннее, и, соответственно, более сильной станет происходящая диффузия (19, с. 30; 46; с. 480). Таким образом, мы обнаруживаем внутри атомов напряженность электрического поля такой необыкновенной величины, какую мы никогда не сможем воспроизвести с помощью известных нам средств, так как достаточное сопротивление отсутствует даже у лучших изоляторов: поля такой напряженности, по сравнению с которой напряженность, возникающая во время самых неистовых штормов, ничтожно мала (47). Тогда силовые эффекты атома радия перестают казаться столь удивительными, но тем больше мы должны удивляться тому, что большинство окружающих нас атомов ведет себя так спокойно и раскрывает какую-то часть скрытой в них силы лишь тогда, когда подвергается фотоэлектрическому или подобному ему действию.

Дальнейшее количественное изучение диффузии катодных лучей в различных материалах обещает дать ценную информацию о точной природе электрических полей в атомах. А сейчас мы должны обратиться ко второму явлению, которое несколько проще

*Во всяком случае при нормальных скоростях движения молекул. Для очень высоких скоростей, которые имеют место в случае с альфа-частицами излучения радия, взаимную проницаемость даже целых атомов, несмотря на то, что она, вероятно, сопровождается их распадом, нельзя назвать невозможной в свете тех концепций, к которым мы пришли при рассмотрении структуры атомов. Последние исследования Брэгга и Клеемана обещают пролить свет на данный вопрос.

определить численно и которое вполне может произойти при таком зондировании атомов. Может случиться так, что квант, успешно пройдя через тысячи атомов, наконец, останавливается в одном из них и не испускается им сразу же. Это явление называется *поглощением катодных лучей*. Я дал количественное определение этого эффекта для всего диапазона имеющихся скоростей этих лучей и получил следующее (47).

Поглощение, подобно диффузии, возрастает с уменьшением скорости луча. Этого также следовало ожидать, если поглощение, как и диффузия, является следствием воздействия электрических силовых полей, существующих внутри атомов, и если эти силовые поля сосредоточены вокруг некоторых центров в атомах, вблизи которых их напряженность выше, чем на более отдаленном расстоянии, так же, как напряженность магнитного поля сосредоточена около двух полюсов. Квант излучения, пересекающий такие поля с подвижными центрами, останавливается только тогда, когда попадает в те области этих полей, которые, встречаясь на его пути, имеют достаточно высокую напряженность; в противном случае квант пройдет через все поле и лишь в большей или меньшей степени отклонится от своей первоначальной траектории. Таким образом, полное сечение атома - область, которую атом подставляет под действие луча, состоит из двух частей, поглощающей и пропускающей, причем первая из них - которую я для краткости называю поглощающим сечением - известна из моих измерений в квадратных сантиметрах. Это сечение обеспечивает единицу измерения размера тех областей силовых полей атома, напряженность которых превышает соответствующий уровень, достаточный для остановки кванта, движущегося с некоторой определенной скоростью. Чем медленнее движется квант, тем большие области силового поля атома действуют как поглощающие сечения. Для самых медленных лучей я нашел, что поглощающее сечение не только становится равным полному сечению атома или молекулы - полное сечение, известное из кинетической теории газов - но даже немного его превышает. Это равносильно прямому доказательству существования электрических силовых полей как внутри атомов и молекул, так и на определенном расстоянии вокруг них. Вероятно, правильно будет отождествить эти внешние электрические силы молекул с силами сопротивления, упругости, сцепления и молекулярного притяжения, короче говоря, с *молекулярными силами* вообще, которые были известны уже давно, хотя и не сразу рассматривались как имеющие электрическую природу. Мнение Берцелиуса о том, что *химические силы* атомов имеют электрическую природу, теперь будет поддерживаться с все увеличивающимися на то причинами, и по мере продолжения настоящего исследования следует надеяться на то, что появятся такие концепции электрических силовых полей в атомах, которые обеспечат лучшую и более полную картину их химического поведения, нежели та, которую дает простая концепция числа фиксированных валентных позиций с электрическими зарядами.

Интересен переход не только к самым низким, но и к самым высоким скоростям. По мере возрастания скорости луча поглощающее сечение сжимается; в конце концов, останавливаются только те кванты, траектория движения которых проходит через самые напряженные области внутренних силовых областей, близкие к их центрам. По этой самой причине самые быстрые лучи также способны дать ответ на вопрос, имеют ли эти центры особый непроницаемый характеристический объем, или, в общем говоря: есть ли в атомах, помимо силовых полей, что-то еще, что удерживает наши пробные частицы. То, что происходит при проведении эксперимента с самыми быстрыми лучами, лучше всего проиллюстрировать на примере. Представим блок размером в кубический метр самого твердого и тяжелого вещества из всех нам известных, скажем, платины. Во всем этом блоке мы находим непроницаемый для лучей характеристический объем, не превышающий, самое большее, один кубический миллиметр. Помимо этой крошечной доли, мы обнаруживаем, что оставшаяся часть нашего блока пуста, как небо. Нам следовало бы удивиться той незначительной степени, в какой, на самом деле, заполнено пространство в материи! В пространстве, занятом материей, мы нашли лишь силовые поля, подобные тем, которые могут также формироваться и в свободном эфире. Каковы же тогда основные составляющие всех атомов, к которым нас привела зависимость поглощения катодных лучей от массы? Ясно, что они, подобно целым атомам, также находятся в силовых полях. Поэтому я назвал эти основные составляющие всей материи «динамидами».

Являясь составляющими электрически нейтральных атомов, динамиды также будут рассматриваться как электрически нейтральные, вследствие чего обладающие теми же количествами отрицательного и положительного электричества, что и центры их полей. Тогда мы можем утверждать: материя - все осязаемые, весомые вещества, которые нас окружают, - состоит, в конечном счете, из равных количеств отрицательного и положительного электричества. Ранее упомянутые сведения, полученные из явления Зеемана, фотоэлектрического эффекта и вторичного катодного излучения, которые мы сейчас рассмотрим, показывают, что отрицательное электричество содержится в атомах в виде точно таких же квантов, которые мы обнаружили в катодных лучах и которые исследователь с тех пор не раз встречал самих по себе, отдельно от материи. Положительное электричество, напротив, кажется чем-то, гораздо более характерным для атомов материи; как уже подчеркивалось ранее, это электричество было обнаружено исключительно в атомах. Из наших данных по заполнению пространства следует, что для отрицательных квантов характеристический объем, непроницаемый для частиц того же рода, должен быть чрезвычайно маленьким. Этот вывод согласуется с ранее упомянутыми экспериментами Кауфмана. Вероятный характеристический объем

положительного электричества, при условии, что он также не является чрезвычайно малым, следует рассматривать как полностью проницаемый для отрицательных квантов.

При таком строении материи несложно понять и третье явление, которое имеет место при пересечении атома и о котором мне еще предстоит рассказать. Вследствие отталкивающей силы, которую квант пересекающего атом луча прикладывает к другим принадлежащим этому атому отрицательным квантам, он способен вызвать огромное возмущение внутри атома, в результате которого квант, принадлежащий атому, может из него вылететь*. Этот процесс называется *вторичным катодным излучением*. Мы позволили одному катодному лучу - первичному - проникнуть в атом, и вместо него появились два луча: первичный и вторичный** (46, с. 481).

Скорость вторичных лучей - как и скорость катодных лучей, созданных в результате фотоэлектрического эффекта - очень мала, даже когда скорость первичных лучей высока. *Количество* вторичного излучения, т. е. вероятность эмиссии квантов из атомов во время их пересечения лучом, максимально при некотором оптимуме скорости первичных лучей; как быстрые, так и более медленные первичные лучи менее эффективны, а при достаточно низкой скорости первичных лучей - ниже 1/200 скорости света - вторичное излучение вообще отсутствует (44, с. 188 и далее; 46, с. 474 и далее; 49). Все это несложно понять, так как если первичный квант приближается к атому слишком медленно, он обладает слишком маленькой энергией, чтобы вызвать адекватное возмущение внутри атома, а если он приближается слишком быстро, то проведет в атоме слишком мало времени, чтобы вызвать какой-либо эффект.

Имея столь низкую скорость, вторичное излучение должно подвергаться сильному поглощению окружающими его молекулами материала. В газах, где молекулы находятся в свободном состоянии, молекула, поглотившая вторичный квант, начнет действовать как *подвижный носитель отрицательного электричества*, а молекула, из которой этот вторичный квант вырвался, будет иметь избыток *положительного электричества* и, таким образом, будет являться носителем положительного электричества. Однако миграция таких носителей - знанием которых мы обязаны беспрестанным усилиям Аррениуса, а после него, в частности, Дж. Дж. Томсона - составляет электропроводность в газах*** и во вторичном катодном излучении мы, таким образом,

* Из атома также могут вылететь два и более кванта (46, с. 485).

**Судя по всему, нередко допускают, что вторичное излучение представляет собой исключительно результат поглощения первичного излучения; однако, исходя из моих наблюдений, у меня сформировалась совсем иная концепция (46, с. 474 и далее).

***На мой взгляд, убежденность в том, что электричество в газах переносят молекулы или их группы, подтверждают три последовательных этапа, а именно: (i) тщательное изучение одного из первых случаев электризации газа, когда оказалось, что пыль - которая сначала рассматривалась как

нашли и в процессе тщательных наблюдений адекватным образом подтвердили механизм, посредством которого катодные лучи придают газу свойство электропроводности (46, с. 474)*. Этот случай проводимости, наведенной и поддерживаемой катодными лучами, также должен иметь место во многих газовых разрядах, в которых появляются достаточно быстрые катодные лучи; следовательно, в обычной разрядной трубке, которую мы вначале использовали в качестве первого генератора катодных лучей.

В других случаях механизм приобретения газами свойства электропроводности, судя по всему, является абсолютно таким же: квант вылетает из одной молекулы, его поглощает другая молекула; это происходит под влиянием на газы ультрафиолетового света, как уже было упомянуто ранее, а также в пламени (45), но причина, лежащая в основе вылетания кванта, различна в каждом случае (53, с. 242).

В заключение мне хотелось бы поблагодарить вас за внимание.

единственный или, в любом случае, основной носитель электрических разрядов в газах - не имеет к ним никакого отношения. Это был случай электричества водопада (16); (ii) первые измерения скоростей миграции носителей электричества в газах в различных случаях проводящих газов, которые проводили очень быстро друг за другом множество различных исследователей, прежде всего, Резерфорд (26); (iii) первые, в сущности, безупречные измерения абсолютного электрического заряда отдельных носителей электричества в газах в различных случаях, выполненные Дж. Дж. Томсоном (31). В свете простых соображений кинетики газов из (ii) и (iii) был вычислен размер носителей электричества в газах, который оказался равным размеру молекул или групп молекул.

*Этот механизм отличается от механизма образования ионов в жидких электролитах, где он заключается в расщеплении электрически нейтральных молекул на два атома или две группы атомов с противоположным зарядом. В других отношениях аналогия между электропроводностью в газах и жидкостях тоже нарушается в самых характерных моментах. Величина заряда носителя в газе и его знак, в отличие от ионов в жидких электролитах, не определяется химической природой этого носителя, и вследствие этого электролиз - который является столь типично химическим видом разложения - в газах не происходит вообще (53, с.236). Поэтому я решил больше не останавливаться на этой аналогии, несмотря на эвристическую полезность, которую она имела в самом начале данной работы, и именно поэтому я всегда старался не называть носители электричества в газах ионами, а электропроводность в газах электролитической.

*Chronological list of publications**

- (1860) 1. M. Faraday, *Experimental Researches in Electricity* (from 1820 onwards).
- (1869) 2. W. Hittorf, "Über die Elektrizitätsleitung der Gase" (The electrical conductivity of gases), *Pogg. Ann. Physik*, Vol. 136.
- (1873) 3. J. C. Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*.
- (1876) 4. E. Goldstein, "Über elektrische Entladungen in verdünnten Gasen" (Electrical discharges in rarified gases), *Monatsber. Berl. Akad.* Also continued in the volumes of the same journal for 1880 and 1881.
- (1879) 5. W. Crookes, *Strahlende Materie oder der vierte Aggregatzustand* (Radiating matter or the fourth state of aggregation). (German translation published in Leipzig.) Also *Phil. Trans. Roy. Soc.*, Vol. 170.
- (1881) 6. H. Helmholtz, "On the modern development of Faraday's conceptions of electricity" *J. Chem. Soc.*, Vol. 39; *Wiss. Abhandl.*, Vol. 3, p. 52.
- (1883) 7. H. Hertz, "Versuche über die Glimmentladung". (Experiments on the glow discharge). (a) *Wied. Ann. Physik*, Vol. 19. Also (b) *Ges. Werke* (Collected works), Vol. 1, p. 242.
- (1887) 8. H. Hertz, "Über einen Einfluss des ultravioletten Lichtes auf die elektrische Entladung" (An effect of ultraviolet light on electrical discharge), *Sitz.-ber. Berl. Akad.*, 9th June. In more detail in *Wied. Ann. Physik*, Vol. 31.
- (1887-1888) 9. H. Hertz, *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft* (Researches on the propagation of electrical force).
- (1888) 10. O. Heaviside, "On electromagnetic waves", *Phil. Mag.*, Ser. 5, Vols. 25 and 26. Further: "On the electromagnetic effects due to the motion of electrification through a dielectric", *Phil. Mag.*, Ser. 5, Vol. 27 (1889); "A charge suddenly jerked into motion", "Sudden stoppage of charge", *The Electrician*, May 1, 1891. Also *Electrical Papers*, Vol. 2, pp. 375, 504, and *Electromagnetic Theory*, Vol. 1, p.54.
- 11. W. Hallwachs, "Über den Einfluss des Lichtes auf elektrostatisch geladene Körper" (The effect of light on electrostatically charged substances), *Wied. Ann. Physik*, Vol. 33.
- (1889) 12. P. Lenard and M. Wolf, "Zersduben der Körper durch das ultraviolette Licht" (Pulverization of substances under the action of ultraviolet light), *Wied. Ann. Physik*, Vol. 37.
- (1890) 13. A. Schuster, "The discharge of electricity through gases", *Proc. Roy. Soc.*, Vol. 47. (Received 20th March.)
- 14. A. Righi, "Sulle traiettorie percorse nella convezione foto-elettrica, ..." (The trajectories described in photoelectric convection), *Atti Accad. Naz. Lincei*, Vol. 6 [2]. (Received 3rd August.)
- (1892) 15. H. Hertz, "Über den Durchgang von Kathodenstrahlen durch dünne Me-

* The position of a publication in this sequence has been determined by its date of submission to a learned society or by its date of receipt by a journal editor. Where no such dates were available, the date of publication, as far as can be determined, has been taken.

- tallschichten" (The passage of cathode rays through thin metal layers), *Wied. Ann. Phys.*, Vol. 45. Also *Ges. Werke* (Collected works), Vol. 1, p. 355.
- 16. P. Lenard, "Über die Elektrizität der Wasserfälle" (Waterfall electricity), *Wied. Ann. Physik*, Vol. 46.
 - 17. H. Helmholtz, "Elektromagnetische Theorie der Farbenzerstreuung" (Electromagnetic theory of colour dispersion). (a) *Sitz.-ber. Berl. Akad.*, 15th December - (b) *Wied. Ann. Physik*, Vol. 48. - (c) *Wiss. Abhandl.*, Vol. 3, p. 505.
 - (1894) 18. P. Lenard, "Über Kathodenstrahlen in Gasen von atmosphärischem Druck und im äussersten Vakuum" (Cathode rays in gases at atmospheric pressure and in the highest vacuum). (a) *Sitz.-ber. Berl. Akad.* for 12th January 1893. - (b) In more detail, *Wied. Ann. Physik*, Vol. 51.
 - 19. P. Lenard, "Über die magnetische Ablenkung der Kathodenstrahlen" (The magnetic deflection of cathode rays), *Wied. Ann. Physik*, Vol. 52.
 - 20. H. Hertz, *Die Principien der Mechanik in neuem Zusammenhange dargestellt* (The principles of mechanics displayed in a new context.)
 - (1895) 21. P. Lenard, "Über die Absorption der Kathodenstrahlen" (The absorption of cathode rays), *Wied. Ann. Physik*, Vol. 56. (Published in October issue.)
 - 22. W. C. Röntgen, "Über eine neue Art von Strahlen" (A new type of ray), *Sitz.-ber. Würzburger Phys. Med. Ges.*, for December. Reprinted in *Wied. Ann. Physik*, Vol. 64.
 - (1896) 23. A. Righi, "Sulla propagazione dell'elettricità nei gas attraversati dai raggi di Röntgens" (The propagation of electricity in gases traversed by X-rays), *Mem. Accad. Sci. Bologna*, Ser. 5, Vol. 6 (Submitted 31st May.)
 - 24. P. Zeeman, "On the influence of magnetism on the nature of the light emitted by a substance", *Comm. Phys. Lab. Leiden*, transl. from: *Verslag. Kongl. Ned. Akad. Wetenschap.*, 31st October.
 - (1897) 25. J. J. Thomson, "Cathode rays", *Phil. Mag.*, Ser. 5, Vol. 44. (Published in October issue.)
 - 26. E. Rutherford, "The velocity and rate of recombination of the ions of gases exposed to Röntgen radiation", *Phil. Mag.*, Ser. 5, Vol. 44. (Published in November issue.)
 - 27. P. Lenard, "Über die elektrische Wirkung der Kathodenstrahlen auf atmosphärische Luft" (The electrical effect of cathode rays on the air of the atmosphere), *Wied. Ann. Physik*, Vol. 63. (Published 11th December.)
 - (1898) 28. P. Lenard, "Über die elektrostatischen Eigenschaften der Kathodenstrahlen" (The electrostatic properties of cathode rays), *Wied. Ann.*, Vol. 64. (Received 2nd January.)
 - 29. E. Wiechert, "Experimentelle Untersuchungen über die Geschwindigkeit und die magnetische Ablenbarkeit der Kathodenstrahlen" (Experimental studies on the velocity and magnetic deflectability of cathode rays), *Nachr. Kgl. Ges. Wiss. Göttingen* (Submitted on 19th March.)
 - 30. P. Lenard, "Über das Verhalten von Kathodenstrahlen parallel zu elektrischer Kraft" (The behaviour of cathode rays parallel to electrical force), *Wied. Ann. Physik*, Vol. 65. (Received 1st May.) Also published in *Math. Naturw. Ber. Ungarn*, Vol. 16.
 - 31. J. J. Thomson, "On the charge of electricity carried by the ions produced by

- Röntgen rays" *Phil. Mag.*, Ser. 5, Vol. 46. (Published in December issue.) Continued and subsequently corrected in *Phil. Mag.*, December issue 1899, and March issue 1903.
- (1899) 32. P. Lenard, "Erzeugung von Kathodenstrahlen durch ultraviolettes Licht" (Production of cathode rays by ultraviolet light), *Sitz.-ber. Kaiserl. Akad. Wiss. Wien* for 19th October. Reprinted in *Ann. Physik*, Vol. 2.
- (1900) 33. V. Bjerknes, *Vorlesungen über hydrodynamische Fernkräfte nach C. A. Bjerknes' Theorie* (Lectures on the hydrodynamic distant forces in accordance with C. A. Bjerknes' theory).
- 34. H. Becquerel, "Contribution à l'étude du rayonnement du radium" (Contribution to the study of the radiation from radium), and "Déviation du rayonnement du radium dans un champ électrique" (Deflection of radium radiation in an electrical field), *Compt. Rend. (Paris)* for 29th January and 26th March, respectively.
 - 35. P. Lenard, "Über Wirkungen des ultravioletten Lichtes auf gasförmige Körper" (Effects of ultraviolet light on gaseous substances), *Ann. Physik*, Vol. 1. (Received 6th February.)
 - 36. P. and M. Curie, "Sur la charge électrique des rayons déviables du radium" (The electrical charge of deflectable radium rays), *Compt. Rend. (Paris)* for 5th March.
 - 37. P. Curie and G. Sagnac, "Électrisation négative des rayons secondaires produits au moyen des rayons Röntgen" (Negative electrification of secondary rays produced by means of X-rays), *Compt. Rend. (Paris)* 130, for 9th April.
 - 38. E. Demarcay, "Sur le spectre du radium" (The radium spectrum), *Compt. Rend. (Paris)* 131, for 25th July.
 - 39. M. Curie, "Sur le poids atomique du baryum radifère" (The atomic weight of radiferous barium), *Compt. Rend. (Paris)* 131, for 6th August. Also "Sur le poids atomique du radium" (The atomic weight of radium), same journal 21st July, 1902.
 - 40. P. Lenard, "Über die Elektrizitätszerstreuung in ultraviolet durchstrahlter Luft" (Scattering of electricity in air irradiated with ultraviolet light), *Ann. Physik*, Vol. 3. (Received 17th August.)
 - 41. E. Dorn, "Elektrostatische Ablenkung der Radiumstrahlen" (Electrostatic deflection of radium rays), *Abhandl. Naturforsch. Ges. Halle*, Vol. 22.
 - 42. E. Dorn, "Versuche über Sekundärstrahlen" (Experiments on secondary rays), *Arch. Néerl. Sci. (Haarlem)*, Ser. 2, Vol. 5.
- (1901) 43. W. Kaufmann, "Die magnetische und elektrische Ablenkbarkeit der Becquerelstrahlen und die scheinbare Masse der Elektronen" (The magnetic and electrical deflectability of Becquerel rays and the apparent mass of electrons), *Nachr. Kgl. Ges. Wiss. Göttingen*, Vol. 8, for 8th November.
- (1902) 44. P. Lenard, "Über die lichtelektrische Wirkung" (The photoelectric effect), *Ann. Physik*, Vol. 8. (Received 17th March.)
- 45. P. Lenard, "Über die Elektrizitätsleitung in Flammen" (Electrical conductivity in flames), *Ann. Physik*, Vol. 9. (Received 18th August.)
- (1903) 46. P. Lenard, "Über die Beobachtung langsamer Kathodenstrahlen mit Hilfe der Phosphoreszenz und über Sekundärenstehung von Kathodenstrahlen" (The observation of slow cathode rays by means of phosphorescence, and the secondary occurrence of cathode rays), *Ann. Physik*, Vol. 12. (Received 28th June.)

- 47. P. Lenard, "Über die Absorption von Kathodenstrahlen verschiedener Geschwindigkeit" (The absorption of cathode rays of various velocities), *Ann. Physik*, Vol. 12. (Received 30th July.)
- 48. E. Warburg, "Über die Ozonisierung des Sauerstoffs durch stille elektrische Entladungen" (The ozonization of oxygen by silent electrical discharges), *Sitz.-ber. Berl. Akad.* for 11th November.
- (1904) 49. P. Lenard, "Über sekundäre Kathodenstrahlung in gasförmigen und festen Körpern" (Secondary cathode radiation in gaseous and solid substances), *Ann. Physik*, Vol. 15. (Received 22nd August.)
- 50. P. Lenard and V. Klatt, "Über die Erdalkaliphosphore" (The alkaline-earth phosphors), *Ann. Physik*, Vol. 15. (Received 22nd August.) Extracts also published in the *Mat. Naturw. Ber. Ungarn*, Vol. 22.
- 51. E. Rutherford, "Slow transformation products of radium", *Phil. Mag.*, Ser. 6, Vol. 8. (Published in November issue.)
- (1905) 52. A. Becker, "Messungen an Kathodenstrahlen" (Measurements on cathode rays), *Ann. Physik*, Vol. 17. (Inaugural dissertation submitted to the Kiel Philosophical Faculty on 1st March.)
- 53. P. Lenard, "Über die Lichtemissionen der Alkalimetaldämpfe und Salze und über die Zentren dieser Emissionen" (The photo-emissions of alkaline metal vapours and salts, and the centres of these emissions), *Ann. Physik*, Vol. 17. (Received 13th April.)
- 54. F. Himstedt and G. Meyer, "Über die Bildung von Helium aus der Radiumemanation" (The formation of helium from the emanation of radium), *Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg i. B.*, for May. Also *Ann. Physik*, Vol. 17.
- (1906) 55. W. Kaufmann, "Über die Konstitution des Elektrons" (The constitution of the electron), *Ann. Physik*, Vol. 19. (Received 3rd January.)

It is not without interest to see from this list how, during the years 1887-1894, the subject under discussion has suddenly, as it were, become the field of more abundant and more successful activity. The years prior to that period, with the exception of the fundamental work by Faraday and Maxwell, are marked by only sporadic and isolated symptoms of that activity, the years thereafter and down to the present by its increasingly fruitful pursuit.