

Р Е Н Т Г Е Н

О НОВОМ РОДЕ ЛУЧЕЙ

О НОВОМ РОДЕ ЛУЧЕЙ

ПЕРВОЕ СООБЩЕНИЕ
28 ДЕКАБРЯ 1895 г.

1. Если пропускать разряд большой катушки Румкорфа через трубку Гитторфа, Крукса, Ленарда или другой подобный прибор, то наблюдается следующее явление. Кусок бумаги, покрытой платиносинеродистым барием, при приближении к трубке, закрытой достаточно плотно прилегающим к ней чехлом из тонкого черного картона, при каждом разряде вспыхивает ярким светом: начинает флюоресцировать. Флюоресценция видна при достаточном затемнении и не зависит от того, подносить ли бумагу стороной покрытой или не покрытой платиносинеродистым барием. Флюоресценция заметна еще на расстоянии двух метров от трубки.

Легко убедиться, что причины флюоресценции исходят именно от разрядной трубки, а не от какого-нибудь места проводки.

2. По поводу этого явления проще всего предположить, что черный картон, непрозрачный ни для видимых и ультрафиолетовых лучей солнца, ни для лучей электрической дуги, пронизывается каким-то агентом, вызывающим энергичную флюоресценцию.

В таком случае нужно прежде всего исследовать, обладают ли этим свойством и другие тела.

Легко найти, что все тела проницаемы для этого агента, но в различной степени. Я приведу несколько примеров. Бумага обладает большой проницаемостью*: за переплетенной книгой приблизительно в 1000 страниц я еще вполне свободно различал свечение флюоресцирующего экрана; типографская краска не представляет заметного препятствия. Такова же была флюоресценция за двойной колодой игральных карт. Одна карта, помещенная между трубкой и экраном, производит почти незаметное для глаза действие. — Лист стали также почти незаметен. И если только сложить вместе несколько листов, то на экране ясно видна их тень. — Толстые куски дерева еще проницаемы. Еловые доски толщиной от двух до трех сантиметров поглощают очень мало. — Алюминиевая пластинка около 15 мм толщиной сильно ослабляла, но еще не вполне уничтожала флюоресценцию. — Диски из эбонита толщиной в несколько сантиметров еще пропускают лучи**. — Стеклянные пластинки одинаковой толщины

* Термином «проницаемость» я обозначаю отношение яркости экрана, помещенного непосредственно за каким-нибудь телом, к яркости его в отсутствие этого тела, при неизменности остальных условий.

** Для краткости я буду употреблять выражение «лучи». Для отличия же от других лучей — X-лучи 1.

действуют различно в зависимости от того, содержится в них свинец (флинтглас) или нет. Первые значительно менее проницаемы, чем вторые. — Если держать между разрядной трубкой и экраном руку, то видны темные тени костей в слабых очертаниях тени самой руки. — Вода, сероуглерод и различные другие жидкости были исследованы в слюдяных сосудах. Они поглощают очень слабо. Я не мог найти, чтобы водород был более проницаем, чем воздух. — За пластинками из меди, серебра, свинца, золота и платины, если толщина их невелика, флюоресценция еще ясно заметна. Платина толщиной в 0,2 мм еще проницаема. Серебро и медь проницаемы в более толстых слоях. Свинец толщиной в 1,5 мм совершенно непрозрачен. Вследствие этого он часто употреблялся во время опытов. Кусок дерева квадратного сечения (20×20 мм), одна сторона которого покрыта свинцовыми белилами, ведет себя различно в зависимости от своего положения. Он почти прозрачен, когда X-лучи идут параллельно выкрашенной стороне, и дает густую тень, когда лучи пронизывают краску.

Соли металлов как в твердом виде, так и в растворе можно по их проницаемости расположить в ряд, подобный ряду металлов.

3. Приведенные экспериментальные данные, а также и ряд других приводят к заключению, что проницаемость различных веществ, предполагая слой

одинаковой толщины, обусловлена преимущественно плотностью. Никакие иные свойства не проявляют своего действия, по крайней мере в такой высокой степени, как это.

Следующие опыты показывают, однако, что в поглощении играет роль не одна только плотность. Я исследовал почти одинаковой толщины пластинки из стекла, алюминия, известкового шпата и кварца. Плотность этих веществ почти одинакова. Но было вполне очевидно, что шпат проницаем значительно слабее остальных веществ, проницаемость которых почти одинакова: Я не замечал особенно сильной флюоресценции шпата (см. ниже стр. 31) по сравнению со стеклом.

4. С увеличением толщины проницаемость всех тел уменьшается. Чтобы найти соотношение между толщиной слоя и его проницаемостью, я делал фотографические снимки (см. ниже стр. 31), при которых часть фотографической пластинки была покрыта слоями станиоля со ступенчато возрастающим числом листов. Если в моем распоряжении окажется пригодный фотометр, необходимо будет предпринять фотометрические измерения.

5. Из платины, свинца, цинка и алюминия были провальцованы листы приблизительно одинаковой проницаемости. Нижеследующая таблица содержит толщину листов в миллиметрах, толщину, их, отнесенную к толщине платинового листка, и плотность вещества².

Из этой таблицы видно, что одинаковой величине произведения из толщины на плотность ни в коем случае не соответствует одинаковая проницаемость. Увеличение проницаемости значительно сильнее уменьшения этого произведения.

Т о л щ и н а		Плотность
в мм	относительная	
0,018	1	21,5
0,05	3	11,3
0,1	6	7,1
3,5	200	2,6

6. Флюоресценция платиносиноеродистого бария не есть единственный результат действия X-лучей. Следует упомянуть, что флюоресцируют и другие вещества, например известные под именем фосфоров соединения кальция, затем урановое стекло, обыкновенное стекло, известковый шпат, каменная соль и т. д.

Во многих отношениях особого внимания заслуживает тот факт, что сухие фотографические пластинки чувствительны к X-лучам. Этим свойством можно пользоваться для регистрации многих явлений. При этом значительно уменьшается возможность ошибки. Каждое важное наблюдение, сделанное по-

средством глаза и флюоресцирующего экрана, я контролировал, где это было удобно, с помощью фотографического снимка.

При этом способность лучей проходить, почти не ослабляясь, сквозь тонкие слои дерева, бумаги и стали приходится весьма кстати. Можно производить снимки^{m)} в освещенной комнате, пользуясь пластинкой, заключенной в кассету или в бумажную оболочку. С другой стороны, благодаря тому же свойству, нельзя долгое время держать вблизи разрядной трубки непроявленные пластинки, находящиеся в обычной упаковке из картона и бумаги.

Остается еще под знаком вопроса, является ли химическое воздействие на соли серебра фотографической пластинки непосредственным действием X-лучей. Возможно, что это есть результат действия света флюоресценции, который, как было указано выше, возбуждается в стекле, и, быть может, в желатине³. Впрочем, пленки могут употребляться с таким же успехом, как и пластинки.

Мне еще не удалось доказать экспериментально, что X-лучи вызывают и тепловой эффект. Можно, однако, считать, что это свойство имеется налицо. Действительно, явления флюоресценции доказывают способность X-лучей преобразовываться; в то же время несомненно, что не все падающие на тело X-лучи покидают его опять как таковые же. Сетчатая оболочка глаза нечувствительна к X-лучам.

Помещенный вплотную к разрядной трубке глаз не замечает ничего, хотя из предыдущих опытов и следует, что находящиеся в глазу вещества должны быть прозрачны для X-лучей.

7. Установив проникаемость тел довольно большой толщины, я поспешил исследовать поведение X-лучей при прохождении через призму: отклоняются они ею или нет. Опыты с водой и сероуглеродом в слюдяных призмах с преломляющим углом около 30° не дали никакого отклонения ни на флюоресцирующем экране, ни на фотографической пластинке. Для сравнения при тех же условиях наблюдалось отклонение луча света. Отклоненные изображения были удалены от неотклоненных на расстоянии от 10 до 20 мм. С призмами из эбонита и алюминия с преломляющим углом также в 30° я получил на фотографической пластинке снимки, на которых, как будто, можно было заметить отклонение. Но это было весьма неясно. Во всяком случае если отклонение вообще существует, то оно настолько мало, что показатель преломления X-лучей в указанных веществах мог быть не больше 1,05. С помощью флюоресцирующего экрана мне и в этом случае не удалось обнаружить отклонения.

Опыты с призмами из более тяжелых металлов не дали до сих пор никаких определенных результатов, так как проникаемость их, а вследствие этого и интенсивность прошедших через них лучей очень мала.

Вопрос о том, преломляются ли X-лучи при переходе из одной среды в другую или нет, чрезвычайно интересен. Указанные же опыты не дают на него определенного ответа. К счастью, этот вопрос может быть исследован еще одним методом. Достаточной толщины слой измельченных в порошок различных прозрачных веществ пропускают сквозь себя лишь слабый рассеянный свет. Это происходит вследствие преломления и отражения света на поверхности отдельных частиц. Если порошки так же проницаемы для X-лучей, как взятые в том же количестве однородные вещества, то этим будет доказано отсутствие преломления и правильного отражения.

Опыты производились с измельченной каменной солью, тонким серебряным порошком, полученным электролитическим путем, и цинковой пылью, часто употребляемой в химических исследованиях. Во всех случаях не оказалось никакой разницы между проницаемостью порошка и однородного тела как при наблюдении с помощью флюоресцирующего экрана, так и на фотографической пластинке.

После этих опытов делается само собой понятным, что X-лучи нельзя сконцентрировать с помощью линз. Действительно, большая эбонитовая линза, а также и стеклянная не оказали никакого действия. Тень круглой палки в середине темнее, чем по краям. Тень трубки, наполненной веществом, проницаемость которого меньше проницаемости

материала трубки, в середине светлее, чем по краям.

8. На основании опытов, описанных в предыдущих параграфах, можно заключить, что ни одно из исследовавшихся веществ не дает правильного отражения X-лучей. К тому же результату приводят и некоторые другие опыты. Приводить их здесь я не буду.

Следует, однако, упомянуть, что один опыт приводит на первый взгляд к противоположному выводу. Я подвергнул фотографическую пластинку действию X-лучей в следующих условиях. Пластинка была обращена стеклом к разрядной трубке, а светочувствительный слой ее за исключением одного места был покрыт звездообразно расположенными чистыми пластинками из платины, свинца, цинка и алюминия. От действия света пластинка была защищена черной бумагой. На проявленной пластинке ясно заметно, что под платиной, свинцом и особенно под цинком потемнение значительно сильнее, чем в других местах. Кажется, что указанные три металла отражают X-лучи. Но, так как можно было предполагать существование каких-нибудь посторонних причин усиленного потемнения, я для большей определенности при втором опыте положил между светочувствительным слоем и металлическими пластинками тонкий листок алюминия. Такой листок непрозрачен для ультрафиолетовых лучей и весьма

проницаем для X-лучей. Результат получился в общем тот же самый. Этим доказывается отражение X-лучей от указанных металлов.

Сопоставляя это с тем, что порошки так же проницаемы, как и однородные тела, а тела с шероховатой поверхностью действуют так же, как полированные, мы приходим к заключению, что, хотя правильное отражение, как уже было сказано, не имеет места, все же различные вещества по отношению к X-лучам ведут себя так же, как и мутные среды по отношению к свету ⁴.

Я не мог найти преломления при переходе из одной среды в другую. Это выглядит так как будто бы X-лучи распространяются с одинаковой скоростью во всех телах. Иначе говоря, X-лучи распространяются в некоторой все заполняющей среде, в которой находятся частицы тела. Эти частицы оказывают сопротивление распространению X-лучей, в общем тем большее, чем больше плотность соответствующего вещества.

9. В таком случае возможно, что и распределение частиц в теле оказывает влияние на его проницаемость. Может, например, случиться, что кусок известкового шпата при одинаковой толщине будет обладать разными проницаемостями при просвечивании параллельно оптической оси и перпендикулярно к ней. Однако опыты с известковым шпатом и кварцем дали отрицательный результат ⁵.

10. Известно, что Ленард (Lenard) в своих замечательных исследованиях над пропущенными сквозь тонкий листок алюминия катодными лучами Гитторфа пришел к заключению, что эти лучи есть явление, происходящее в эфире, и что они проникают, рассеиваясь, сквозь все тела. Нечто подобное мы можем сказать также и о наших лучах. В своей последней работе Ленард определил поглощение катодных лучей различными телами. Для воздуха при атмосферном давлении получено было 4,10, 3,40 и 3,10 на 1 см, в зависимости от разрежения газа, содержащегося в разрядной трубке. Судя по разрядному напряжению, которое оценивалось по искровому промежутку, я во время своих опытов имел дело преимущественно с такими же разрежениями и лишь изредка с большими или с меньшими.

С помощью фотометра Л. Вебера (лучшего у меня не было) я сравнил в атмосферном воздухе интенсивность флюоресценции моего экрана на двух расстояниях от разрядной трубки: в 100 см и 200 см. Из трех очень хорошо согласующихся друг с другом опытов я нашел, что интенсивность приблизительно обратно пропорциональна квадрату удаления от трубки. Следовательно, воздух задерживает у проходящих X-лучей значительно меньшую часть чем у катодных лучей. Этот результат находится также в полном согласии с вышеуказанным наблю-

дением, что флюоресценция заметна еще на расстоянии 2 м от разрядной трубки.

Другие тела ведут себя в общем сходно с воздухом: для X-лучей они более проникаемы, чем для катодных лучей.

11. Следующее очень существенное различие в поведении катодных лучей и X-лучей заключается в том, что мне не удавалось, несмотря на все усилия, получить отклонение X-лучей магнитом даже в очень сильных магнитных полях.

Отклонение же магнитным полем было до сих пор характерным признаком катодных лучей. Хотя Герц и Ленард наблюдали различного рода катодные лучи, «различавшиеся друг от друга возбуждением флюоресценции, поглощаемостью и отклонением в магнитном поле», но все-таки заметное отклонение магнитным полем наблюдалось во всех исследованных ими случаях. И я не думаю, что эту характеристику можно оставить без попускающих к тому обстоятельств.

12. Из специально для этой цели поставленных опытов следует вполне ясно, что наиболее сильно флюоресцирующее место стенки разрядной трубки является также и главным исходным пунктом расходящихся во все стороны X-лучей. Итак, X-лучи исходят из того места, где по данным различных исследователей катодные лучи встречают стеклянную стенку. Если внутри трубки отклонить магнитом

катодные лучи, то можно видеть, что X-лучи исходят из другого места, именно из нового места встречи катодных лучей со стенкой трубки.

Точно так же на этом основании X-лучи, не отклоняющиеся магнитом, не могут быть просто катодными лучами, преломленными и отраженными стенкой трубки. По Ленарду даже большая толща стекла вне разрядной трубки не может обуславливать такое изменение отклоняемости.

Поэтому я прихожу к тому результату, что X-лучи не идентичны с катодными лучами, но возбуждаются ими в стеклянных стенках разрядной трубки⁶.

13. Это возбуждение имеет место не только в стекле. Я мог наблюдать его в трубке, закрытой алюминиевой пластинкой толщиной в 2 мм, также и в этом металле. Другие вещества будут исследованы позднее.

14. Я назвал агент, исходящий из стенок разрядной трубки, «лучами», руководствуясь отчасти тем, что при помещении между трубкой и экраном (или фотографической пластинкой) более или менее проницаемого предмета получается [вполне правильная тень.

Я наблюдал, а частью и сфотографировал большое количество таких теневых картин, получение которых доставляет иногда совсем особого рода удовольствие. У меня есть, например, фотография

тени профиля двери, разделяющей две комнаты. По одну сторону двери находилась разрядная трубка а по другую пластинка; фотография тени костей, руки, тени проволоки, намотанной на деревянную катушку, запертого в ящике набора разновесок, компаса, магнитная стрелка которого окружена со всех сторон металлом, куска металла, неоднородность которого делается заметной с помощью X-лучей, и т. д.⁷.

Прямолинейное распространение X-лучей доказывается, далее, фотографией через узкое отверстие, произведенной с помощью завернутой в черную бумагу разрядной трубки. Картина слаба, но безусловно правильна.

15. Я много раз пытался обнаружить интерференцию X-лучей, но, к сожалению, безрезультатно. Возможно, что это было следствием только слабой интенсивности X-лучей.

16. Ведутся опыты, долженствующие определить, влияет ли как-нибудь на X-лучи электростатическое поле, но они еще не закончены.

17. Если поставить вопрос, чем, собственно, являются X-лучи (катодными лучами они быть не могут), то, судя по их интенсивному химическому действию и флюоресценции, можно отнести их к ультрафиолетовому свету. Но в таком случае мы сейчас же сталкиваемся с серьезными препятствиями. Действительно, если X-лучи представляют собой ульт-

трафиолетовый свет, то этот свет должен иметь свойства:

а) при переходе из воздуха в воду, сероуглерод, алюминий, каменную соль, стекло, цинк и т. д. не испытывать никакого заметного преломления;

б) не испытывать сколько-нибудь заметного правильного отражения от указанных тел;

с) не поляризоваться всеми употребительными средствами;

д) поглощение его не зависит ни от каких свойств тела кроме плотности.

Значит, нужно было бы принять, что эти ультрафиолетовые лучи ведут себя совсем иначе, чем известные до сих пор инфракрасные, видимые и ультрафиолетовые лучи.

На это я не мог решиться и стал искать другое объяснение.

Некоторое родство между новыми лучами и световыми лучами, повидимому, существует. На это указывают теневые изображения, флюоресценция и химические действия, получающиеся при обоих видах лучей.

Давно известно, что кроме поперечных световых колебаний в эфире возможны и продольные колебания. Некоторые физики считают, что они должны существовать. Существование их, конечно, пока не доказано с очевидностью, и свойства их поэтому экспериментально еще не изучены.

Не должны ли новые лучи быть приписаны продольным колебаниям в эфире?

Я должен признаться, что все больше склоняюсь к этому мнению, и я позволяю себе высказать здесь это предположение, хотя знаю, конечно, что оно нуждается в дальнейших обоснованиях⁸.

НОВЫЙ РОД ЛУЧЕЙ

ВТОРОЕ СООБЩЕНИЕ

9 МАРТА 1896 г.

Ввиду того, что моя работа должна прерваться на несколько недель, я позволю себе сообщить уже теперь некоторые новые данные.

18. Ко времени моего первого сообщения мне уже было известно, что X-лучи могут разряжать наэлектризованные тела. Я подозреваю, что описанное Ленардом действие на удаленные наэлектризованные тела тоже было обусловлено X-лучами, а не пропущенными без изменения через алюминиевое окошечко катодными лучами. Я, однако, отложил опубликование своих исследований до получения вполне безупречных результатов.

Получить же совершенно безупречные результаты можно только в том случае, если производить наблюдения в пространстве, не только вполне защищенном от электростатических сил, исходящих от трубки, подводящих проводов и индуктора, но и закрытом от воздуха, идущего от трубки.

Для этого я заказал ящик из спаянных цинковых листов таких размеров, чтобы он мог вместить меня и нужные мне приборы. Весь ящик, кроме закрывав-

шегося цинковой дверцей отверстия, непроницаем для воздуха. Большая часть стенки, противоположащей двери, покрыта свинцом. Около помещенной снаружи ящика разрядной трубки цинковая стенка с прилегающим к ней свинцом была прорезана на протяжении 4 см и отверстие герметически закрыто тонким листком алюминия. Через это окошечко X-лучи проникали в ящик для наблюдений.

Я заметил следующее:

а) Помещенные в воздухе тела, заряженные положительно или отрицательно, под действием X-лучей разряжаются. Разряжение происходит тем быстрее, чем больше интенсивность лучей. Последняя определялась по их действию на флюоресцирующий экран или фотографическую пластинку.

В общем безразлично, являются ли наэлектризованные тела проводниками или изоляторами. До сих пор я не нашел также никаких особенных различий в поведении различных тел по отношению к скорости разрядки. Однако не исключено, что слабые различия все же имеют место.

б) Если проводник окружен не воздухом, а каким-нибудь твердым изолятором, например парафином, то действие освещения такое же, как если бы проводить по поверхности изолятора отведенным к земле пламенем.

в) Если эта изолирующая оболочка окружена тесно прилегающим к ней проводником, отведенным к зем-

ле, который, так же как и изолятор, должен быть проницаем для X-лучей, то освещение X-лучами не оказывает на внутренний проводник заметного с помощью моих приборов действия ⁹.

d) Описанные в «а», «b» и «с» наблюдения указывают на то, что освещенный X-лучами воздух приобрел свойство разряжать находящиеся с ним в соприкосновении наэлектризованные тела.

e) Если дело обстоит действительно так и если, кроме того, воздух, после освещения X-лучами, сохраняет некоторое время это свойство, то возможно, что наэлектризованные тела, не будучи освещены X-лучами сами, должны разряжаться, приходя в соприкосновение с освещенным перед этим воздухом.

Различными способами можно убедиться, что это следствие имеет место в действительности. Я приведу один из опытов, хотя и не самый простой.

Я пользовался латунной трубкой шириной в 3 см и длиной в 45 см. На некотором расстоянии от одного из концов часть стенки трубки была вырезана и заменена тонким листком алюминия. С другого конца трубки внутрь вводится изолированный латунный шар. Этот конец трубки был сделан непроницаемым для воздуха.

Между шаром и закрытым концом трубки впаяна боковая трубочка, которая может соединяться с всасывающим воздух прибором. При всасывании воздуха шар омывается воздухом, проходящим на своем

пути по трубке мимо алюминиевого окошечка. Расстояние между окошечком и шаром около 20 см.

Я помещал трубку в цинковом ящике так, что X-лучи проникали сквозь алюминиевое окошко трубки перпендикулярно к ее оси. Изолированный шар находился тогда вне области действия лучей, в тени. Трубка и цинковый ящик были соединены друг с другом, а изолированный шар был соединен с электроскопом Ганкеля.

Тогда оказалось, что X-лучи не влияли на сообщенный шару заряд (положительный или отрицательный), пока воздух в трубке оставался в покое. Но заряд быстро уменьшался, когда с помощью сильного всасывания освещенный воздух подводился к шару. Если, соединив шар с аккумуляторами, поддерживать его при постоянном потенциале и просасывать сквозь трубку освещенный X-лучами воздух, то получается электрический ток так, как будто бы шар был соединен с трубкой дурным проводником.

f) Спрашивается, каким образом воздух может опять потерять свойства, сообщенные ему освещением X-лучами. Теряет ли он их со временем сам, т. е. без соприкосновения с другими телами, — это еще не решено. Наоборот, вполне определено, что кратковременное соприкосновение с каким-нибудь телом с большой поверхностью, которое может и не быть заряженным, уничтожает активность воздуха.

Если вставить в трубку достаточно толстую ватную пробку так, чтобы освещенный воздух должен был проходить через нее перед тем, как достигнуть заряженного шара, то заряд остается неизменным и при просасывании воздуха.

Если поместить пробку перед алюминиевым окошком, то получается такой же результат, как если бы ваты совсем не было. Это доказывает, что не только пылинки являются^{m)}причиной наблюдаемого разряда.

Проволочные сетки действуют так же, как вата. Но для того, чтобы воздух совсем потерял активность, нужно поставить много сеток одну за другой, и ячейки их должны быть очень малы. Если эти сетки не отводить, как до сих пор делалось, к земле, а соединить с источником электричества постоянного потенциала, то получались как раз ожидаемые мною результаты. Но эти опыты еще не закончены.

g) Если помещать наэлектризованные тела не в воздухе, а в сухом водороде, то они точно так же разряжаются X-лучами. Мне казалось, что разрядка в водороде происходит несколько медленнее, чем в воздухе. Но это еще не вполне выяснено, так как при последовательных опытах трудно получить X-лучи одинаковой интенсивности.

Аппарат наполнялся водородом таким образом, что адсорбированный поверхностью тела слой воздуха не мог играть при разрядке очень существенной роли.

h) В сильно разреженном пространстве разрядка тел, подвергаемых непосредственному действию X-лучей, происходит значительно (в одном случае, например, в 70 раз) медленнее, чем в воздухе или водороде при атмосферном давлении ¹⁰.

i) Предприняты исследования поведения смеси хлора и водорода под действием X-лучей.

j) В заключение я хочу обратить внимание на то, что следует относиться с большой осторожностью к результатам тех опытов над разряжающим действием X-лучей, при которых не принималось во внимание воздействие окружающих газов.

19. В некоторых случаях бывает полезно между испускающей X-лучи разрядной трубкой и катушкой Румкорфа включать прибор Тесла (конденсатор и трансформатор). Это имеет следующие преимущества: во-первых, разрядные трубки не так легко пробиваются и слабее греются; во-вторых, по крайней мере при работе с моими самодельными трубками, вакуум держится более продолжительное время, а в-третьих, многие трубки дают при этом интенсивные X-лучи. Применение трансформаторов Тесла дает хорошие результаты при работе с трубками, откачанными слишком слабо или слишком сильно для непосредственной работы с катушкой Румкорфа.

Я позволю себе поднять один естественный вопрос, хотя не могу пока ничего сообщить для его разъяснения. Возможно ли возбуждать X-лучи

непрерывным разрядом при постоянном разрядном потенциале, или же для этого необходимы колебания потенциала?

20. В § 13 моего первого сообщения указано, что X-лучи могут возбуждаться не только в стекле, но и в алюминии. При продолжении исследований в этом направлении не оказалось ни одного твердого тела, которое под действием катодных лучей не возбуждало бы X-лучей. У меня нет никаких оснований предполагать, что и жидкие и газообразные тела не ведут себя точно таким же образом.

Количественные различия в поведении различных тел поддаются наблюдению. Я поставил следующий опыт. На пластинку, одна половина которой была сделана из платины толщиной в 0,3 мм, а другая из алюминия толщиной в 1 мм, падали катодные лучи. Эта двойная пластинка фотографировалась посредством камеры с узким отверстием. Тогда можно было видеть, что с той стороны (передней), на которую падали катодные лучи, платина испускала значительно больше X-лучей, чем алюминий. Наоборот, с задней стороны пластинки испускание платины очень слабо, алюминий же испускает относительно много X-лучей. Последние возникают в передних слоях алюминия и проходят через пластинку.

Для этого легко найти соответствующее объяснение, но сначала следует изучить дальнейшие свойства X-лучей.

Следует, однако, заметить, что указанное явление имеет также и практическое значение. Для возбуждения по возможности интенсивных X-лучей по моим опытам лучше всего годится платина. Я несколько недель с успехом пользуюсь разрядной трубкой следующего устройства^{m)}. Катодом ее является вогнутое зеркало из алюминия, в центре кривизны которого, под углом в 45° к оси зеркала, помещается платиновая пластинка, служащая анодом.

21. В этой трубке X-лучи исходят из анода. Основываясь на опытах с трубками различных конструкций, я пришел к заключению, что для интенсивности X-лучей не имеет значения, является ли место возбуждения лучей анодом или нет¹¹.

Специально для опытов с переменными токами трансформатора Тесла готовится особая трубка. В ней оба электрода будут сделаны в виде вогнутых алюминиевых зеркал, оси которых образуют прямой угол. В общем центре кривизны помещается воспринимающая катодные лучи платиновая пластинка. В дальнейшем будет сообщено о пригодности этой трубки.

НОВЫЙ РОД ЛУЧЕЙ

ТРЕТЬЕ СООБЩЕНИЕ

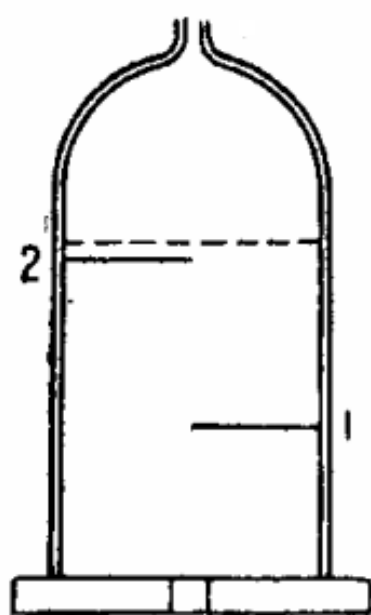
* * * М А Й 1897 г.

1. Если между флюоресцирующим экраном и испускающей интенсивные X-лучи* разрядной трубкой поместить непроницаемую пластинку так, чтобы весь экран был в тени, то, несмотря на это, замечается свечение платиносинеродистого бария. Это свечение наблюдается даже в том случае, когда экран лежит непосредственно на пластинке. На первый взгляд кажется, что пластинка все-таки проницаема. Но если покрыть лежащий на пластинке экран толстой стеклянной пластинкой, то флюоресценция значительно ослабевает. Флюоресценция исчезает совершенно, если, вместо того чтобы брать стеклянную пластинку, окружить экран цилиндром из свинцового листа толщиной в 0,1 см. Цилиндр с одной стороны замыкается непроницаемой пластинкой, а с другой — помещается глаз наблюдателя. Описанное явление

* Все разрядные трубки, о которых говорится в этом сообщении, изготовлены по принципу, указанному в § 20 моего второго сообщения.

может вызываться или отклонением лучей с очень длинными волнами или же тем, что от окружающих разрядную трубку освещенных тел, а именно от воздуха, исходят X-лучи.

Последнее объяснение действительно правильно. Это, между прочим, легко доказывается с помощью следующего прибора. Чертеж изображает стеклянный



колокол с очень толстыми стенками; высота его 20 см, ширина 10 см. Колокол был закрыт толстой пришлифованной цинковой пластинкой. В 1 и 2 помещаются свинцовые диски, сделанные в виде круговых сегментов. Площадь каждого диска немного больше половины сечения колокола. В цинковой пластинке имеется отверстие, закрытое целлулоидной пленкой. Через это отверстие в колокол

проникают X-лучи. Свинцовые диски препятствуют проникновению X-лучей прямым путем в пространство за диском 2. На верхней стороне диска 2 укреплен флюоресцирующий экран, занимающий почти все сечение колокола. На экран не могут попасть ни прямые лучи, ни претерпевшие один раз диффузное отражение от какого-нибудь твердого тела (например стеклянной стенки). Перед каждым опытом колокол наполняется лишенным пыли воздухом.

Если направить X-лучи в колокол прежде всего так, чтобы все они попадали на диск 1, то в 2 не видно никакой флюоресценции. Если же, наклоняя колокол, мы впустим X-лучи в пространство между 1 и 2, то лишь тогда не закрытая диском 2 часть экрана начинает флюоресцировать. Если же соединить колокол с водоструйным насосом, то заметно, что с увеличением разрежения воздуха флюоресценция становится все слабее. Если потом впустить воздух, то интенсивность флюоресценции опять увеличивается.

Я нашел, что соприкосновение с предварительно освещенным X-лучами воздухом само по себе не вызывает заметной флюоресценции платиносинеродистого бария. В таком случае из описанного опыта нужно заключить, что освещенный X-лучами воздух испускает по всем направлениям X-лучи же.

Если бы наш глаз был так же чувствителен к X-лучам, как к видимому свету, то работающая разрядная трубка представлялась бы нам подобной источнику света, горящему в комнате, равномерно наполненной табачным дымом. Возможно, что цвета прямых лучей и лучей, идущих от частиц воздуха, были бы неодинаковы.

Я еще не разрешил вопроса, того же ли рода лучи, исходящие от освещенных тел, как и падающие на них, или нет. Другими словами, является ли причиной этих лучей диффузное отражение или явление, сходное с флюоресценцией¹².

Лучи, идущие из воздуха, также действуют на фотографическую пластинку. Это очень легко доказать. Это действие иногда даже обнаруживается весьма нежелательным для наблюдателя образом. Чтобы избавиться от него, а при больших экспозициях это часто бывает необходимо, нужно заключить фотографическую пластинку в соответственную свинцовую оболочку.

2. Для сравнения интенсивности излучения двух разрядных трубок, а также и для различных других исследований, я употреблял приспособление вроде фотометра Буге (Bouguer). Для простоты я буду называть его тоже фотометром. Устройство его следующее. Посредине длинного стола вертикально поставлен укрепленный досками прямоугольный свинцовый лист. Высота его — 35 см, длина 150 см и толщина — 0,15 см. С каждой стороны листа располагается по разрядной трубке. Трубки можно перемещать вдоль листа.

На одном конце листа помещается флюоресцирующий экран* так, чтобы каждая половина его освещалась.

* При этих, а также и других исследованиях оказалось очень удобным применять фотометр Эдисона (Edison). Он состоит из похожего на стереоскоп футляра, который плотно прикладывается к голове наблюдателя. Картонное дно футляра покрыто платиносиноеродистым барием. Эдисон вместо платиносиноеродистого бария употребляет шеелит. Я, однако, о многих основаниях предпочитаю первое вещество.

щалась только одной трубкой. Для измерения прибор устанавливается на одинаковую яркость свечения обеих половин.

Следует сделать несколько замечаний об употреблении этого прибора. Прежде всего следует заметить, что установка част^{от} бывает очень затруднительной вследствие непостоянства источника лучей. Трубка реагирует на каждую неправильность в прерывании первичного тока. Неправильности же всегда бывают при прерывателе Депреца и, особенно, Фуко. Поэтому рекомендуется несколько раз повторять каждое наблюдение.

Далее я хотел бы указать, от чего зависит яркость флюоресцирующего экрана, освещаемого X-лучами с такой частотой, что глаз наблюдателя уже не воспринимает промежутков освещения. Эта яркость зависит 1) от интенсивности излучения, исходящего от платиновой пластинки разрядной трубки; 2) по всей вероятности, от вида лучей, падающих на экран, так как различные виды лучей (ср. ниже) в различной степени возбуждают флюоресценцию; 3) от удаления экрана от исходного пункта лучей; 4) от поглощения, претерпеваемого лучами по дороге к экрану; 5) от числа разрядов в секунду; 6) от продолжительности каждого разряда; 7) от продолжительности и силы остаточного свечения экрана; 8) от освещения экрана окружающими разрядную трубку телами.

Во избежание ошибок следует всегда иметь в виду, что мы имели бы условия, сходные с нашими, в том случае, если бы вздумали с помощью флюоресценции сравнивать два перемежающихся источника света различного цвета^{m)} причем источники были бы окружены поглощающими оболочками и помещены в мутной — или флюоресцирующей — среде.

3. Согласно § 12 моего первого сообщения, исключительным пунктом X-лучей является то место разрядной трубки, на которое попадают катодные лучи. Отсюда они распространяются «по всем направлениям». Интересно было бы узнать, как меняется с направлением интенсивность лучей.

Для этих опытов лучше всего пригодны шарообразные разрядные трубки с хорошо отшлифованной платиновой пластинкой, на которую под углом в 45° падают катодные лучи. В такой трубке стеклянное полушарие, лежащее над платиновой пластинкой, флюоресцирует всё с равномерной яркостью. Уже из одного этого можно заключить, что большие изменения интенсивности с направлением не имеют места. Таким образом закон испускания Ламберта здесь неприменим. Но эта флюоресценция в большей своей части могла возбуждаться и катодными лучами¹³.

Для точного определения в различных трубках фотометром - исследовалась интенсивность излучения в различных направлениях. Кроме того, для той же цели я экспонировал фотографическую пленку, со-

гнутую полукругом (радиус 25 см), в центре которого помещалась платиновая пластинка разрядной трубки. Вследствие неодинаковой толщины стенок трубки, испускаемые в различных направлениях X-лучи поглощаются стенками различно. Это очень сильно мешает при обоих методах. Удалось, однако, сравнить пронизываемую X-лучами толщину стекла, вставляя тонкие стеклянные пластинки.

Результатом этих исследований является то, что указанная пленка почти до самого края освещается X-лучами равномерно. Только при угле испускания X-лучей в 80° я мог заметить, что освещение начинает ослабевать. Но это уменьшение относительно очень мало, так что главное изменение интенсивности происходит между 89° и 90° .

Я не наблюдал разницы в свойствах X-лучей, испущенных под разными углами¹⁴.

Вследствие описанного распределения интенсивности X-лучей, изображения платиновой пластинки, полученные посредством камеры с узким отверстием или узкой щелью, должны быть тем интенсивнее, чем больше угол, образуемый платиновой пластинкой и экраном или фотографической пластинкой. Угол этот не должен, однако, превышать 80° . С помощью соответствующих приспособлений, позволявших сравнить изображения, одновременно полученные от одной и той же трубки под различными углами, я мог подтвердить это заключение.

Такой же случай распределения интенсивности испущенных лучей мы встречаем в оптике при флюоресценции. Соответственное явление можно наблюдать следующим образом. В четырехугольный сосуд с водой наливают несколько капель раствора флюоресценна и освещают сосуд белым или фиолетовым светом. Тогда наиболее яркая флюоресценция наблюдается по краям медленно опускающихся нитей флюоресцина. Как раз на краях угол испускания света флюоресценции имеет наибольшее значение. Стокс (Stokes) в одном сходном с описанным случае заметил, что возбуждающий флюоресценцию свет поглощается флюоресцирующей жидкостью значительно сильнее, чем свет флюоресценции. Очень интересно, что и катодные лучи, возбуждающие в платине X-лучи, поглощаются ею значительно сильнее, чем сами X-лучи. Это наводит на мысль, что между обоими явлениями — преобразованием света в свет флюоресценции и катодных лучей в X-лучи — имеется некоторое сродство. Пока, однако, это предположение не является необходимым.

Наблюдения над распределением интенсивности в испущенных платиновой пластинкой X-лучах имеют известное значение для техники получения теневых картин. Согласно указанному выше, следует помещать разрядную трубку так, чтобы используемые для получения картины X-лучи покидали платину под возможно большим, не превышающим, однако, 80° ,

углом. В этом случае получаются наиболее резкие картины. Если к тому же платиновая пластинка хорошо отшлифована и трубка устроена таким образом, что косо испущенные лучи не должны проходить более толстый слой стекла, чем перпендикулярные, то не происходит и потери интенсивности¹⁵.

4. «Проницаемость¹⁶⁾ данного тела» я обозначал в моем первом сообщении отношение яркости помещенного непосредственно за телом перпендикулярного к X-лучам флюоресцирующего экрана к яркости его в отсутствие этого тела, при одинаковых прочих условиях. Удельной проницаемостью вещества должна называться проницаемость слоя, толщина которого равна единице; она равна корню степени d из проницаемости, если d означает толщину пронизываемого слоя в направлении X-лучей.

Для определения проницаемости я употреблял со времени моего первого сообщения, главным образом, описанный выше фотометр. Перед одной из одинаково ярко флюоресцирующих половинок экрана помещается пластинка исследуемого вещества — алюминия, станиоля, стекла и т. д. Вследствие этого получается разница яркости обеих половинок экрана. Она выравнивается или некоторым удалением трубки, освещающей незакрытую половину экрана, или приближением второй трубки. В обоих случаях отношение квадратов расстояний платиновой пластинки от экрана до и после смещения трубки дает иско-

мую величину проницаемости исследуемого вещества. Оба способа приводили к единому результату. Вводя после первой вторую пластинку таким же способом, можно найти проницаемость ее для лучей, прошедших уже через одну пластинку.

В описанном методе предполагается, что яркость флюоресцирующего экрана обратно пропорциональна квадрату расстояния от источника X-лучей. Это имеет место только в том случае, если, во-первых, воздух не поглощает и не испускает X-лучей и, во-вторых, яркость света флюоресценции пропорциональна интенсивности освещения. Первое условие, очевидно, не выполняется. Неизвестно, выполняется ли второе условие. Поэтому я посредством опытов, сходных с описанными в § 10 моего первого сообщения, убедился в том, что отклонения от закона пропорциональности настолько малы, что в данном случае их можно не принимать во внимание.

Ввиду того что освещаемые тела опять испускают X-лучи, нужно отметить следующие два факта. Во-первых, с помощью фотометра не могла быть замечена разница в проницаемости алюминиевой пластинки толщиной в 0,925 мм и 31 сложенного вместе алюминиевого листка по 0,0299 мм. толщины ($0,0299 \times 31 = 0,927$). Во-вторых, яркость флюоресцирующего экрана не изменяется заметно, помещать ли пластинку непосредственно перед экраном или на некотором расстоянии от него.

Для алюминия результаты этих исследований проницаемости таковы:

Проницаемость алюминиевых пластинок для перпендикулярно падающих лучей	Трубка			
	2	3	4	5
Первой — толщиной в 1 мм	0,40	0,45	—	0,68
Второй » »	0,55	0,68	—	0,73
Первой » в 2 мм	—	0,30	0,39	0,50
Второй » »	—	0,39	0,54	0,63

Из этих опытов, а также из сходных с ними, сделанных со стеклом и станиолом, мы получаем в первую очередь следующий результат: если представить себе исследуемое тело состоящим из одинаковой толщины слоев, расположенных перпендикулярно к пучку X-лучей, то каждый из слоев более проницаем для пронизывающих его X-лучей, чем предыдущий. Иными словами: удельная проницаемость какого-либо вещества тем больше, чем толще исследуемое тело.

Этот результат находится в полном согласии с тем, что можно наблюдать на упомянутой в § 4 моего первого сообщения фотографии станиоловой шкалы. Согласуется он и с тем обстоятельством, что на фотографических снимках сравнительно резко заметны тени тонких слоев, например тень бумаги, употребляемой для заворачивания пластинок.

5. Если две пластинки из различных веществ одинаково проницаемы, то это равенство уже не должно существовать при изменении толщины пластинок в одинаковом отношении. Проще всего это доказывается с помощью двух рядом помещенных шкал из платины и алюминия. Я пользовался платиновой фольгой 0,0026 мм и алюминиевой фольгой 0,0299 мм толщины. Помещая эту двойную шкалу перед флюоресцирующим экраном или фотографической пластинкой, я, например, в одном случае нашел, что один листок платины так же проницаем, как шесть листков алюминия. Но проницаемость двух платиновых листков была равна проницаемости не двенадцати, а шестнадцати листков алюминия. При употреблении другой разрядной трубки я получил $1\text{Pt} = 8\text{Al}$ и $8\text{Pt} = 90\text{Al}$. Из этих опытов следует, что отношение толщины слоев платины и алюминия, обладающих одинаковой проницаемостью, тем больше, чем меньше толщина исследуемых слоев.

6. Отношение толщин двух одинаково проницаемых пластинок из различного материала зависит от толщины и материала тех тел, например стеклянной стенки разрядной трубки, сквозь которые должны пройти X-лучи до встречи с исследуемыми пластинками.

Чтобы доказать этот результат, не являющийся неожиданным после приведенных в § 4 и 5 фактов,

можно пользоваться приспособлением, которое я называю платино-алюминиевым окном. Мы увидим, что им можно пользоваться и для других целей. Устроено оно следующим образом. На тонком куске бумаги наклеен прямоугольный ($4,0 \times 6,5$ см) кусок платиновой фольги, толщиной в 0,0026 мм. В платине проделано 15 круглых отверстий, расположенных в три ряда. Поперечник каждого отверстия 0,7 см. Эти окошечки покрыты точно подходящими по размерам листками алюминиевой фольги толщиной в 0,0299 мм, аккуратно наложенными друг на друга. В первом окошечке один, во втором два и т. д. и в пятнадцатом, наконец, пятнадцать алюминиевых листков. Если поместить это приспособление перед флюоресцирующим экраном, то можно при не слишком жестких (ср. ниже) трубках вполне определенно указать сколько алюминиевых листков так же проницаемы, как платина. Число это будем для краткости называть номером окна ¹⁶.

В качестве этого номера я получил в одном случае при прямом освещении число 5. Если же поместить перед прибором пластинку из обыкновенного натрового стекла толщиной в 2 мм, то получается номер окна 10.

Таким образом отношение толщины слоев платины и алюминия одинаковой проницаемости уменьшилось вдвое вследствие того, что вместо лучей, идущих непосредственно от разрядной трубки, поль-

зовались лучами, прошедшими через стеклянную пластинку в 2 мм толщины.

Следует упомянуть здесь еще один опыт. Платино-алюминиевое окно было положено на пакет, содержащий 12 фотографических пленок. После экспозиции и проявления, пленка, лежавшая непосредственно под окном, дала номер окна 10. Двенадцатая дала номер 13, а все остальные — в правильной последовательности переход от 10 к 13.

7. Описанные в § 4, 5 и 6 опыты основываются на изменении интенсивности X-лучей, исходящих из одной разрядной трубки, испытываемом ими при прохождении через различные тела. Нужно теперь доказать, что проникаемость одного и того же тела может быть различной для лучей, испущенных различными трубками.

В следующей таблице даны значения проникаемости алюминиевой пластинки, толщиной в 2 мм,

Проницаемость алюминиевой пластинки для перпендикулярно падающих лучей	Трубка					
	1	2	3	4	2	5
Толщина 2 мм	0,0014	0,22	0,30	0,39	0,50	0,59

для X-лучей, возбужденных в различных трубках. Некоторые из этих значений взяты из предыдущей таблицы.

Разрядные трубки отличались одна от другой главным образом не конструкцией и не толщиной стеклянных стенок, а степенью разрежения содержащегося в них газа и разрядным потенциалом, который обуславливается степенью разрежения. Трубка 1 требует наименьшего, трубка 5 наибольшего разрядного потенциала. Для краткости будем говорить: трубка 1 самая мягкая, трубка 5 самая жесткая¹⁷. Во всех случаях употреблялись та же самая катушка Румкорфа, непосредственно соединенная с трубкой, тот же прерыватель и одинаковой силы ток в первичной цепи.

Сходно с алюминием ведут себя и многие другие исследованные мною тела. Все они более проницаемы для лучей более жестких трубок, чем для лучей, испущенных более мягкими трубками*. Этот факт, по-моему, имеет особенное значение.

Отношение толщин одинаково проницаемых пластинок из различных веществ также зависит от жесткости трубки. Это сейчас же можно установить с помощью платино-алюминиевого окна (§ 5). Для очень мягкой трубки получался, например, номер окна 2. А для очень жесткой, но по остальным свойствам одинаковой трубки даже не хватало шкалы, доходящей до № 15. Отсюда следует, что отношение толщин пластинок из платины и алюминия,

* О поведении «ненормальных» трубок см. ниже стр. 70

обладающих одинаковой проникаемостью, тем меньше, чем жестче используемая трубка, или, принимая во внимание сообщенное выше, чем меньше лучи поглощаются.

Различное поведение лучей, испущенных трубками различной жесткости, проявляется, конечно, и в известных уже нам теневых картинах. Если, например, прозвечивать руку очень мягкой трубкой, то получается темная картина, на которой слабо выделяются кости. При пользовании более жесткой трубкой кости резко видны во всех деталях, мягкие же части, напротив, слабы. Если же трубка очень жестка, то и от костей остаются только слабые тени. Из этого следует, что выбор трубки зависит от свойств рассматриваемого предмета.

8. Следует указать еще, что свойства лучей, испущенных одной и той же трубкой, зависят от различных обстоятельств. Исследования с помощью платино-алюминиевого окна показывают, что на свойства эти влияют: 1) характер работы прерывателя Депреца или Фуко у индукторов, т. е. ход тока в первичной цепи; сюда относится и следующее часто наблюдаемое явление: некоторые из быстро следующих друг за другом разрядов возбуждают X-лучи, отличающиеся от других не только особой интенсивностью, но и проникаемостью; 2) искровой промежуток, включаемый перед трубкой во вторичную обмотку; 3) включение трансфор-

матора Тесла; 4) степень разрежения газа в разрядной трубке (как уже было упомянуто); 5) различные еще недостаточно известные процессы внутри разрядной трубки. Некоторые из этих факторов заслуживают более подробного обсуждения.

Возьмем еще не использованную и не откачанную трубку и соединим ее с ртутным насосом. Откачивая и прогревая трубку, мы достигнем некоторой степени разрежения, при которой появятся первые X-лучи. Они заметны по слабому свечению флуоресцирующего экрана. Присоединенный параллельно трубке искровой промежуток дает искры в несколько сантиметров длины. Платино-алюминиевое окно показывает очень низкие помера. Лучи очень сильно поглощаются. Трубка «очень мягкая». Если последовательно с трубкой включить искровой промежуток или приключить трансформатор Тесла, то получаются слабее поглощающиеся и более интенсивные лучи. Я нашел, например, в одном случае, что посредством увеличения включенного перед трубкой искрового промежутка можно повысить номер окна от 2,5 до 10.

Эти наблюдения привели меня к вопросу, нельзя ли, пользуясь трансформатором Тесла, получить X-лучи и при более высоких давлениях. Это, действительно, имеет место: посредством узкой трубки с электродами в виде проволок мне удалось получить X-лучи, когда давление заключенного в трубке воз-

духа равнялось еще 3,1 мм ртутного столба. Если же взять вместо воздуха водород, то давление может быть еще выше. Наименьшее давление, при котором в воздухе еще могут возбуждаться X-лучи, я не мог определить. Оно лежит во всяком случае ниже 0,0002 мм ртутного столба. Таким образом область давления, внутри которой могут образовываться X-лучи, теперь уже очень велика. С дальнейшим откачиванием «очень мягкой» трубки, непосредственно соединенной с индуктором, увеличивается интенсивность лучей, и все большая часть их проходит сквозь освещаемые тела. Помещенная перед флюоресцирующим экраном рука делается более проницаемой, и на платино-алюминиевом окне получают более высокие номера. Для того чтобы разряд шел через трубку, нужно одновременно увеличивать параллельно включенный искровой промежуток. Трубка сделалась жестче.

Если продолжать откачку еще дальше, то трубка делается настолько жесткой, что приходится делать искровой промежуток больше 20 см. Теперь трубка испускает лучи, для которых все тела очень проницаемы: исследованная посредством флюоресцирующего экрана железная пластина, толщиной в 4 см, оказывается еще проницаемой.

Описанное поведение трубки, непосредственно соединенной с ртутным насосом и индуктором, является нормальным. Часто встречаются отклонения от этого

правила, обусловленные самой разрядкой. Вообще говоря, поведение трубок иногда бывает совсем неразрешимым.

Мы предполагали, что повышение жесткости трубки возбуждается продолжением откачки. Оно может происходить и иным образом. Так, например, откачанная от насоса, трубка средней жесткости сама собой делается жестче, если правильно пользоваться ею для возбуждения X-лучей. Под правильной работой подразумевается такая, при которой платина или остается холодной, или лишь слабо нагревается разрядами. К сожалению, это повышение жесткости достигается за счет продолжительности срока службы трубки. Здесь имеет место идущее само собой улучшение вакуума.

Посредством одной такой трубки, сделавшейся очень жесткой, я получил очень хорошую фотографию стволов охотничьего ружья со вставленными в них патронами. На ней можно было ясно и резко видеть все детали патронов и внутренние неправильности дамасских стволов. Расстояние от платиновой пластинки разрядной трубки до фотографической пластинки было 15 см. Продолжительность экспозиции 12 минут. Экспозиция соответственно велика вследствие слабого действия на фотографическую пластинку малопоглощаемых лучей (ср. ниже). Прерыватель Дебреца пришлось заменить прерывателем Фуко.

Было бы интересно сконструировать трубки, позволяющие применять еще более высокие разрядные потенциалы, чем это до сих пор возможно.

Выше было указано, что причиной повышения жесткости отпаянной трубки является улучшение вакуума вследствие разрядов. Это, однако, не единственная причина. Помимо этого имеют место и изменения электродов, которые действуют таким же образом. В чем эти изменения заключаются, я не знаю.

Трубку, сделавшуюся слишком жесткой, можно сделать мягче, впуская в нее воздух, иногда нагревая трубку или меняя направление тока, или, наконец, пропуская через нее очень сильные разряды. Однако в последнем случае трубка большей частью приобретает свойства, отличные от вышеописанных. Так, например, трубка иногда требует очень высокого разрядного потенциала и испускает лучи, дающие сравнительно низкий номер окна и сильно поглощаемые. Мне бы не хотелось дальше рассматривать поведение этих «ненормальных» трубок. Сконструированные Цендером (Zehnder) трубки с регулируемым вакуумом, содержащие кусочек липового угля, оказались мне очень полезными.

Сообщенные в этом параграфе, а также некоторые другие наблюдения привели меня к взгляду, что свойства лучей, испущенных трубкой, снабженной платиновым анодом, обуславливаются главным

образом изменением разрядного тока во времени. Степень разрежения и жесткость имеют значение лишь постольку, поскольку от них зависит форма разряда. Если необходимая для осуществления X-лучей форма разряда каким-либо образом может быть получена, то можно получить X-лучи даже и при относительно высоком давлении.

Следует, наконец, еще заметить, что качество возбуждаемых в трубке лучей совершенно не меняется или меняется очень слабо при заметных изменениях силы первичного тока, предполагая, что прерыватель во всех случаях работает одинаково. Напротив, как показывает следующий опыт, интенсивность X-лучей в известных пределах пропорциональна силе первичного тока. Расстояние экрана из платиносинеродистого бария от разрядной трубки, при котором еще заметно свечение, увеличивалось от 18,1 м до 25,7 м и 37,5 м в то время, как ток в первичной цепи имел значения 8 ампер, 16 ампер и 32 ампера. Квадраты расстояний находятся почти в том же отношении, как соответственные силы тока.

9. Приведенные в последних пяти параграфах результаты непосредственно получаются из сообщенных опытов. Сводя воедино отдельные результаты, мы, пользуясь аналогией между оптическими лучами и X-лучами, приходим к следующим представлениям;

а) Исходящее от разрядной трубки излучение состоит из смеси лучей различной поглощаемости и интенсивности.

б) Состав этой смеси обуславливается главным образом изменением со временем разрядного тока.

в) Лучи, наиболее сильно поглощаемые телом, различны для различных тел.

д) Так как X-лучи образуются посредством катодных лучей и имеют с ними общие свойства (возбуждение флюоресценции, фотографическое и электрическое действие, поглощаемость, обусловленную преимущественно плотностью пронизываемой среды, и т. д.), то можно предположить, что оба явления представляют собой сходные процессы.

Не присоединяясь безусловно к этой точке зрения, я, однако, хочу отметить, что результаты последних параграфов могут устранить одно затруднение, до сих пор противоречившее высказанному предположению. Это затруднение заключается в том, что поглощаемость исследованных Ленардом катодных лучей сильно отличается от поглощаемости X-лучей и законы, выражающие зависимость между поглощением и плотностью различных веществ, различны для катодных лучей и для X-лучей.

Что касается первого пункта, то следует упомянуть о двух обстоятельствах: 1) В § 7 мы видели, что бывают X-лучи весьма различной поглощаемости. Из исследований Герца и Ленарда мы знаем,

что и различные катодные лучи поглощаются различно. Если упомянутая на стр.65 «очень мягкая трубка» испускала X-лучи, незначительно отличавшиеся по поглощению от исследованных Ленардом катодных лучей, то без сомнения, возможны X-лучи с еще большей и, с другой стороны, катодные лучи с еще меньшей поглощаемостью. Поэтому представляется вполне возможным, что при дальнейших опытах будут найдены лучи, по своей поглощаемости представляющие переход от одного рода лучей к другому. 2) В § 4 мы нашли, что удельная проницаемость какого-либо вещества тем больше, чем тоньше просвечиваемый слой. Следовательно, если бы мы в наших опытах брали такие же тонкие пластинки, какие брал Ленард, то мы нашли бы для поглощаемости X-лучей значения, ближе лежащие к данным.

Относительно различного влияния плотности тел на поглощаемость X-лучей и катодных лучей нужно сказать следующее. Это различие получается тем меньше, чем сильнее поглощаются исследуемые X-лучи (§ 7 и 8) и чем тоньше просвечиваемые пластинки (§ 5). Следовательно прибавляется еще одна возможность уничтожить различие в поведении лучей того и другого рода.

Ближе всего друг к другу по поведению относительно поглощения находятся полученные преимущественно в очень жестких трубках катодные лучи

и X-лучи, испущенные очень мягкой трубкой, лучше всего из платины.

10. Кроме возбуждения флюоресценции, X-лучи оказывают, как известно, фотографические, электрические и различные другие действия. Было бы интересно знать, насколько параллельно идут эти свойства при изменении источника лучей. Я должен был ограничиться сравнением первых двух действий.

Для этого опять лучше всего пригодно платино-алюминиевое окно. Одно окно было положено на завернутую фотографическую пластинку, другое помещено перед флюоресцирующим экраном. Оба были помещены на равных расстояниях от разрядной трубки.

Перед тем как достигнуть чувствительного слоя пластинки или платиносинеродистого бария, лучи должны были пройти через в точности одинаковые вещества.

Во время экспозиции я наблюдал экран и определил номер окна. После проявления на пластинке также определялся номер окна, и затем оба номера сравнивались. Результат этих опытов следующий. При применении мягких трубок (номер окна 4—7), не получается никакой разницы. При применении более жестких трубок мне казалось, как будто номер окна на фотографической пластинке был немного, но не больше, чем на единицу, меньше, чем определенный посредством флюоресцирующего экра-

на. Хотя это наблюдение при повторении подтверждалось, но оно не свободно от возражений, так как определение на флюоресцирующем экране высоких номеров окна довольно сомнительно.

Вполне точен, напротив, следующий результат. Поместим на описанном в § 2 фотометре жесткую и мягкую трубку и поставим их на одинаковую яркость флюоресценции экрана. Поставим вместо экрана фотографическую пластинку. После проявления пластинки заметно, что половина ее, освещенная жесткой трубкой, почернела значительно слабее другой половины. Освещения, возбуждающие одинаковую яркость флюоресценции, оказывают различное фотографическое действие.

При обсуждении этих результатов нельзя оставить без внимания то, что ни флюоресцирующий экран, ни фотографическая пластинка не используют падающих лучей полностью. В обоих случаях пропускается насквозь большое количество лучей, которые опять могут вызывать флюоресценцию и фотографические действия. Сообщенный результат относится непосредственно только к тем толщинам светочувствительного слоя и платиносинеродистого бария, с которыми приходится встречаться на практике.

Насколько проникаем, даже для X-лучей от трубки средней жесткости, светочувствительный слой фотографических пластинок, показывает следующий

опыт. 96 пленок, положенных одна на другую, были в течение 5 минут экспонированы на расстоянии 25 см от источника лучей. От излучения воздуха они были защищены свинцовой оболочкой. Фотографическое действие ясно заметно еще на последней пленке, в то время как первая лишь немного передержана. Основываясь на этих и сходных с ними наблюдениях, я запросил некоторые фирмы о пластинках, более пригодных для фотографии X-лучами, чем обычно употребляемые. Присланные пробы не были, однако, пригодны.

Как уже упомянуто на стр. 69, я часто замечал, что очень жесткие трубки, при одинаковых прочих условиях, требуют более длинной экспозиции, чем трубки средней жесткости. Это понятно, если вспомнить сообщенные в § 9 результаты. Именно, все исследованные тела более проницаемы для лучей, испущенных жесткими трубками, чем для исходящих из мягких трубок лучей. Увеличение экспозиции при пользовании очень мягкими трубками объясняется слабой интенсивностью испускаемых ими лучей.

Если, увеличивая ток в первичной цепи, повышать интенсивность лучей (ср. стр. 71), то фотографическое действие возрастает в той же мере, как и интенсивность флюоресценции. В этом и в предыдущем случае, где интенсивность освещения флюоресцирующего экрана изменялась посредством изменения расстояния его от источника лучей, можно было, по

крайней мере, с достаточной точностью считать яркость флюоресценции пропорциональной интенсивности освещения. Это правило нельзя, однако, применять во всех случаях¹³.

11. В заключение я позволю себе упомянуть следующие факты.

При правильно сконструированной, не слишком мягкой, трубке X-лучи исходят преимущественно из пространства в 1 или 2 мм на платиновой пластинке, на которую падают катодные лучи. Но X-лучи излучаются не только в этом месте. Вся пластинка и часть стенки трубки также излучают X-лучи, хотя и в значительно меньшей мере. От катода во все стороны исходят катодные лучи. Интенсивность их очень значительна только вблизи оси вогнутого зеркала. Поэтому там, где платиновая пластинка встречается с этой осью, образуются наиболее интенсивные X-лучи. Если трубка очень жестка, а платиновая пластинка тонка, то и с обратной стороны пластинки исходит много X-лучей, но, как показывает камера с отверстием, опять преимущественно с места, лежащего на оси зеркала¹⁹.

Даже в этих самых жестких трубках можно было посредством магнита отклонить с платиновой пластинки максимум интенсивности катодных лучей. Некоторые опыты, сделанные с мягкими трубками, заставили меня с улучшенными вспомогательными средствами взяться еще раз за вопрос о магнитной

отклоняемости X-лучей. Я надеюсь вскоре сообщить об этих опытах.

Я продолжал упомянутые в моем первом сообщении опыты над проникаемостью пластинок равной толщины, вырезанных в различных направлениях из кристалла. Были исследованы пластинки из известкового шпата, кварца, турмалина, берилла, арагонита, апатита и барита. Теперь тоже нельзя было заметить влияния направления на проникаемость²⁹

Я нашел, что наблюдаемое Г. Брандесом (G. Brandes) явление, будто X-лучи могут вызывать в сетчатой оболочке глаза световое раздражение, действительно подтверждается. В моем журнале наблюдений в ноябре 1895 г. имеется следующая заметка. Находясь в совершенно темной комнате возле деревянной двери, на другой стороне которой была прикреплена трубка Гитторфа, во время прохождения через трубку разряда я замечал слабое свечение, распространенное по всему полю зрения. Так как я наблюдал это явление только один раз, то счел его за субъективное. Оно не повторялось потому, что в дальнейшем употреблялись трубки не Гитторфа, а слабее эвакуированные и не снабженные платиновым анодом. Трубка Гитторфа вследствие высокого разрежения ее содержимого и встречаемого катодными лучами платинового анода дает X-лучи, слабо поглощающиеся и большой интенсивности, что способствует появлению света. Я должен

был заменить трубки Гитторфа другими, так как все они очень скоро пробивались.

С помощью находящихся сейчас в употреблении жестких трубок легко повторить опыт Брандеса. Сообщение следующей постановки опыта заслуживает, может быть, внимания. Перед закрытым или открытым глазом помещается, насколько возможно ближе, металлическая пластинка с щелью, шириной в несколько десятых долей миллиметра. Если приблизить покрытую черным покрывалом голову к разрядной трубке, то после некоторого упражнения можно заметить слабую неравномерно яркую полосу света. Полоса эта, в зависимости от места перед глазом, где находится щель, имеет различную форму: прямую, искривленную или кругообразную. Медленно перемещая щель в горизонтальном направлении, можно все эти формы постепенно переводить одну в другую. Объяснение этого явления легко найти, если обратить внимание на то, что глазное яблоко пронизывается пучком X-лучей, которые могут возбуждать флюоресценцию сетчатки.

С начала моей работы над X-лучами я неоднократно пытался получить в них явление дифракции. Несколько раз с помощью узких щелей я получал явления, вид которых напоминал дифракционную картину. Но, если, изменяя условия опыта, проверить правильность объяснения этой картины посредством дифракции, то каждый раз получался

отрицательный результат. И часто я прямо мог показать, что явление обусловлено совсем другими причинами, а не дифракцией. Я не в состоянии указать ни одного опыта, из которого мог бы достаточно ясно убедиться в существовании дифракции X-лучей ²¹.



П Р И М Е Ч А Н И Я





¹ Нельзя не отметить исключительной осторожности и скромности, которые проявились в этом определении открытого Рентгеном явления. В отличие от всех других авторов, открывавших новые элементы или лучи и стремившихся связать их со своим именем, своим городом или государством, Рентген отметил в своем названии только ограниченность своего знания о новых лучах. Теперь, когда они перестали быть X-лучами не только по своим свойствам (эти свойства с большой полнотой были уже установлены в трех печатаемых здесь статьях самим Рентгеном), но и по своей природе, — их называют рентгеновыми лучами. Одни французы со времени войны предпочитают пользоваться термином X-лучи.

² Характерный пример того, как Рентген умел получать количественные результаты самыми простыми средствами без специальных измерительных приборов. Сложное фотометрическое измерение поглощения при одинаковой толщине заменено подбором толщин, вызывающих равные поглощения.

³ Непосредственное действие рентгеновых лучей на фотографическую пластинку было позже им установлено. Однако и с указанием Рентгеном возможностью вторичного влияния света флуоресценции приходится считаться и бороться в современной рентгенографической технике.

⁴ На этом примере, пожалуй, наиболее ярко сказался экспериментальный талант Рентгена и умение точно формулировать свойства наблюдаемого явления. Трудно придумать более убедитель-

ное доказательство и более правильную формулировку рассеяния рентгеновых лучей. Свойства этого рассеяния, которые послужили исходной точкой для многих областей современной физики, были описаны Рентгеном в дальнейших статьях.

⁵ Здесь мы впервые встречаем упоминание о настойчивых попытках Рентгена обнаружить влияние структуры и асимметрии кристаллов при прохождении сквозь них рентгеновых лучей. Эти опыты более подробно описаны в третьей статье и дали там отрицательный результат, и только в опыте Лауэ 1912 г. привели к современной стадии учения о рентгеновых лучах.

⁶ Несмотря на полное отличие рентгеновых лучей от выпущенных в то время Ленардом в воздух катодных лучей, с полной несомненностью вытекающее из приведенных здесь опытов, работа Рентгена вызвала крайнюю враждебность со стороны Ленарда, обвинявшего его даже в плагиате. Впрочем, в третьей статье Рентген находит примиряющую точку зрения. Эту враждебность Ленард сумел сохранить до самой смерти Рентгена, на протяжении 30 лет.

⁷ Наблюдение неоднородностей металла при помощи рентгеновых лучей могло бы получить для техники такое же значение, как и наблюдение костей руки, описанное в этом же параграфе, получило для медицины. Однако техника только в последние годы начала пользоваться этим приемом для испытания ответственных частей машин, аэропланов, мест сварки и т. п.

⁸ Последняя гипотеза Рентгена оказалась неверной, и, наоборот, справедливее предыдущее предположение, на которое он не мог решиться. Если, однако, вспомнить, что поперечность электромагнитных волн вытекала из явления поляризации света, которого Рентген для своих лучей не заметил и которое только через 12 лет было в слабой степени обнаружено Баркла, то гипотеза Рентгена становится понятной. Она предполагает, что эфир обладает не только упругостью сдвига, но и сжимаемостью. Брэгг вплоть до самых опытов Лауэ защищал положение, что

рентгеновы лучи имеют корпускулярный характер. Явление Лауэ с несомненностью установило идентичность этих лучей с электромагнитными волнами. Но корпускулярная их природа и взгляд на них как на отдельные лучи вовсе выплыли в связи с теорией атомов света. Именно в свойствах рентгеновых лучей эта теория нашла наиболее наглядные проявления. Таким образом сведение рентгеновых лучей к оптическим еще не решило вопроса об их природе, как и о природе света вообще.

⁹ Любопытно сопоставить с этим опытом, ясно показывающим, что рентгеновы лучи делают проводящим воздух, а не изолятор, опыты другого выдающегося экспериментатора Томсона, который, сделав указанную уже здесь Рентгеном ошибку, вывел из своих опытов заключение об ионизации рентгеновыми лучами твердых диэлектриков. Опыты эти были опровергнуты Рентгеном (сравни отдел j второй статьи). Повидимому в результате этих опытов у Рентгена сложилось мнение, что твердые диэлектрики не только не получают такой сильной электропроводности, как воздух, но и совсем не ионизируются. Когда я в 1903 году хотел все же обнаружить этот ожидавшийся мною эффект, то наткнулся на резкое противодействие Рентгена, который был убежден только лишь тогда, когда было установлено повышение электропроводности кварца под действием рентгеновых лучей.

¹⁰ Методы, при помощи которых Рентген исследовал свойства ионизированного воздуха, поражают своей простотой и убедительностью. Они послужили потом и для количественного измерения коэффициента воссоединения ионов и их диффузии.

¹¹ Рентген уже в этой работе выработал основные черты конструкции современных трубок. И материал и форма катода и антикатада были уже здесь указаны Рентгеном, так же как и возможность отделить антикатод от анода. До появления трубок Кулиджа с раскаленным катодом единственным усовер-

шенствованием являлось более энергичное охлаждение антикатаода, достигаемое в разных типах разными способами. Указание на трансформатор Тесла оказалось также весьма целесообразным, хотя и мало использовалось.

¹² Обе возможности, указанные Рентгеном, имеют место. Кроме рассеяния первичных лучей, напоминающего влияние табачного дыма на лучи света, рентгеновы лучи вызывают и флюоресценцию в газе, дающую характеристические лучи атомов газа. Впрочем, как показали опыты Комптона, и простое рассеяние сопровождается изменением (увеличением) длины волны.

¹³ И действительно, свечение трубки вызывают не рентгеновы лучи, а рассеянные вторичные катодные лучи, исходящие из антикатаода. В трубках Кулиджа, где вследствие заряда поверхности стекла вторичные электроны с антикатаода не попадают на стекло, трубка и не светится.

¹⁴ Точное количественное повторение этих опытов составляло предмет диссертации, предложенной Рентгеном его ученику Фридриху. (Во время этого исследования Фридрих по предложению Лауэ и открыл явление интерференции рентгеновых лучей в кристаллах.) Вопрос о зависимости интенсивности лучей от направления тесно связан с теорией торможения, объяснявшей их происхождение.

¹⁵ Этим приемом пользуются в современной спектроскопии рентгеновых лучей.

¹⁶ Это предложение легло в основание конструкции измерителей жесткости. Вместо платины Венельтом употреблялось серебро.

¹⁷ Условия, определяющие «жесткость» лучей, указаны были здесь совершенно правильно. Самые термины «жесткая» и «мягкая» трубка сохранились и до настоящего времени и в медицинской и в лабораторной практике, хотя в определении спектра мы и обладаем теперь точной количественной характеристикой жесткости лучей. Чем меньше длина волны, тем больше жесткость. В связи жесткости с разрядным потенциалом

проявляется основное положение теории квантов, по которому частота рентгеновского импульса пропорциональна энергии вызвавшего его электрона.

¹⁸ Подробное исследование поглощения рентгеновых лучей, изложенное в этом отделе, позволило Рентгену установить ряд совершенно правильных фактов, истинное понимание которых сделалось возможным только с появлением количественной спектроскопии рентгеновых лучей. На непрерывное падение поглощения с уменьшением длины волны накладывается, как показал позже ученик Рентгена Вагнер, внезапное резкое возрастание поглощения (в 5—8 раз), при определенных длинах волн. В частности элементы, входящие в состав фотографической пластинки (Br и Ag), обладают такими порогами поглощения в наиболее употребительной части рентгеновского спектра.

¹⁹ Такая камера с отверстием для наблюдения положения источника рентгеновых лучей не раз потом изобреталась вновь, хотя здесь ясно, что Рентген пользовался ею уже в первых своих исследованиях.

²⁰ Описанные здесь опыты могли бы привести Рентгена к открытию явления Лауэ, наблюдаемого Фридрихом и Книппингом спустя 15 лет. Однако в опытах Рентгена фотографическая пластинка помещалась непосредственно за кристаллом и экспозиция была недостаточной для обнаружения эффекта. Любопытно, что и опыты Фридриха и Лауэ дали сначала отрицательный результат, так как они искали дифракционных пятен от кристалла под прямым углом к первичным рентгеновым лучам, где картина слишком слаба, и только попытка Книппинга поставить фотографическую пластинку также и на пути лучей привела к открытию. Соображения Рентгена далеко не отличались такой определенностью, как те, которыми руководился Лауэ, основывавшийся на опытах Вальтера и Поля, давших длину волны рентгеновых лучей, и на теории кристаллических решеток Эвальда.

Общее в обоих опытах — это ожидание, что правильность в построении кристалла и различие разных направлений должны привести и к правильности и различию в поглощении и рассеянии рентгеновых лучей.

²¹ Как выяснилось впоследствии из подсчетов Зоммерфельда и опытов Вальтера и Поля, длина волны рентгеновых лучей чрезвычайно мала (порядка 10^{-8} см). Поэтому и дифракционная щель для удаchi опыта должна быть гораздо более узкой, чем это мог предполагать и осуществить Рентген. Более совершенными средствами явление дифракции было получено в той же форме, в какой его искал Рентген.