

ИЗ ИСТОРИИ ФИЗИКИ

539.165(09)

ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ*)**М. Мэлли**

Естественная радиоактивность была открыта Анри Беккерелем в начале 1896 г. Но лишь спустя три с половиной года было установлено, что по крайней мере часть этого излучения состоит из материальных частиц. К концу 1899 г. три группы исследователей в разных странах независимо обнаружили, что лучи радия отклоняются при прохождении через магнитное поле. В данной статье рассматриваются причины такой задержки и описываются события, которые сделали возможным одновременное открытие отклонения бета-лучей в магнитном поле в 1899 г. Анализируется также значение этого открытия для дальнейшего развития учения о радиоактивности.

1. ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Первые несколько лет в истории радиоактивности тесно связаны с историей рентгеновских лучей. Последние были открыты в конце 1895 г. Вильгельмом Рентгеном и послужили причиной большой сенсации как в научных кругах, так и среди широкой публики. Когда несколько месяцев спустя Беккерель открыл радиоактивность, он занимался поисками новых источников рентгеновских лучей в фосфоресцирующих веществах **). Сначала Беккерель связывал открытое им излучение с видимым светом, испускаемым в результате фосфоресценции, и установил, что невидимые лучи урана испытывают отражение, преломление и могут поляризоваться ³ ***). Однако эксперименты других исследователей опровергли выводы Беккереля. В конце концов выяснилось, что, подобно другим их свойствам, оптическое поведение лучей Беккереля приближается к поведению рентгеновских лучей. Поэтому, когда в 1896 г. Эрнест Резерфорд обнаружил, что лучи Беккереля состоят из проникающего (бета) излучения и легко поглощаемой составляющей (альфа), он интерпретировал свои данные в свете недавнего открытия вторичных рентгеновских лучей ⁵ ****). К началу 1899 г. все физики считали, что лучи

*) M. Malleу, The Discovery of the Betha Particle, Am. J. Phys. 39, 1454 (1971). Перевод Г. М. Гуревича.

**) Библиография содержится в книгах ¹. Открытие было независимо сделано С. Томсоном ² также в процессе исследования рентгеновских лучей.

***) По-видимому, Беккерель был введен в заблуждение вторичными излучениями (см. ⁴).

****) В то время еще не было показано, что рентгеновские лучи могут отражаться (зеркально), преломляться или поляризоваться. Гамма-лучи не были известны до 1900 г.

Беккереля представляют собой смесь первичных и вторичных рентгеновских лучей неизвестного происхождения. Предполагалось, что источником этих лучей может быть внешнее излучение или сам атом *). Однако вначале самим лучам Беккереля уделяли мало внимания, поскольку их считали побочным явлением, связанным с рентгеновским излучением (см. 7 **)).

Всеобщая апатия в отношении к радиоактивности внезапно прекратилась в 1898 г., когда Марии и Пьеру Кюри удалось получить не вполне чистые образцы двух новых радиоактивных излучателей, которые оказались во много раз мощнее, чем даже чистый уран или торий⁸. Открытие двух новых химических элементов, полония и радия, показало физикам и химикам, что радиоактивность заслуживает тщательного исследования. Явления, наблюдавшиеся на этих веществах, побудили физиков заняться поисками источника их энергии. Кроме того, существование радиевых и полониевых источников позволило поставить ряд экспериментов, которые трудно было бы осуществить, используя слабые излучения урана или тория. Резкий скачок интереса к радиоактивности и приток новых исследователей сделали вероятным, что у кого-нибудь возникнет мысль проверить, как действует магнит на лучи радия и полония.

2. ЭКСПЕРИМЕНТ

Первые эксперименты такого рода были выполнены весной 1899 г. Юлиусом Эльстером (1854—1920) и Хансом Гейтелем (1855—1923) в их лаборатории в Вольфенбюттеле (Германия)⁹. Эльстер и Гейтель пришли к изучению лучей Беккереля от исследования атмосферного электричества. Их эксперименты в этой области показали, что электропроводность воздуха, обусловленная нагретом электродов, и фотоэффект убывают в магнитном поле, если это поле не параллельно направлению разряда. Они объяснили эти результаты тем, что магнит отклоняет ионы газа из области максимального электрического поля, уменьшая тем самым число ионов, достигающих дальнего электрода за любое заданное время (см., например, ¹⁰). Теперь они хотели проверить, как воздействует магнитное поле на проводимость, вызванную лучами Беккереля.

Их предварительные опыты с ураном не дали определенного результата. После этого Эльстер и Гейтель получили от Фридриха Гизеля, химика, работавшего на близлежащей фабрике по производству хинина в Брунсвике, образец радия. Они поместили радий, содержащийся в алюминиевом сосуде, внутри стеклянной трубы на электрод, находившийся под потенциалом 500 в (рис. 1). Другой электрод был соединен с заземленным электрометром. Затем Эльстер и Гейтель откачивали трубу до давления 1 мм рт. ст. (так же, как они делали в более ранних экспериментах) и качественно определяли влияние электромагнита

*) Первое предположение было поддержано супругами Кюри, второе — Дж. Дж. Томсоном, Резерфордом и Эльстером и Гейтелем. Третья гипотеза, в нарушение второго закона термодинамики считавшая источником энергии движение молекул в атмосфере, не получила значительной поддержки (см.⁶).

**) См. также письмо Гизеля супругам Кюри от 22 декабря 1899 г. (Archives de l'Institut du Radium, Paris): «К сожалению, вначале ваше блестящее открытие почти не привлекло нашего внимания, поскольку в результате работ Ле-Боншена (французский психолог, работа которого о «черном свете» оказалась ошибочной) оно казалось не заслуживающим доверия. Даже для очень многих физиков из Мюнхенского научного общества эти работы были совершенно новыми. Я мог бы упомянуть, что даже Рентген не верил в существование лучей Беккереля и только после знакомства со снимками урановокалиевого сульфата, выполненными Эльстером и Гейтелем на пластинках с покрытием из бромистого серебра, вынужден был изменить свое мнение».

на скорость разряда электрометра. Они обнаружили, что разряд, вызываемый лучами радия, заметно замедлялся при включении магнитного поля, подобно тому, что наблюдалось в их прежних экспериментах, и, как и прежде, сделали вывод, что магнитное поле отклоняет ионы газа.

Однако оставалось возможным, что в этом эксперименте сами лучи Беккереля, так же как ионы газа, отклонялись магнитным полем, в результате чего уменьшалась ионизация в пространстве между электродами. Для проверки этой гипотезы Эльстер и Гейтель использовали фосфоресцентный экран, позволявший определить направление прохождения лучей. Чтобы предотвратить попадание на экран частиц атомных размеров, они закрыли трубу на расстоянии около 15 мм от радиового источника воздушнонепроницаемой алюминиевой пластинкой толщиной 1 мм. Как и ожидали Эльстер и Гейтель, магнит не оказывал влияния на положение светящегося пятна, создаваемого на экране лучами радия. Они пришли к выводу, что «...лучи Беккереля при воздействии магнитных сил не испытывают отклонения, которое можно было бы сравнить с отклонением катодных лучей. Таким образом, и в этом отношении — как и по всем другим характеристикам, известным в настоящее время, — они подобны лучам Рентгена» (см. ⁹, стр. 138) *).

Эти результаты недолго оставались единственными. Стефан Мейер, (1872—1949), молодой физик из Венского университета, заинтересовался радиоактивностью после того, как Фридрих Гизель провел демонстрацию радиоактивных свойств радия и полония на заседании Мюнхенского научного общества в сентябре 1899 г. ¹¹.

В то время Мейер изучал магнитные свойства химических элементов. Естественно, он захотел испытать новые вещества. Для этой цели он получил от Гизеля 2 г смеси хлористого радия с хлористым барием и маленький образец полония с примесями, а также небольшие количества препаратов радия и полония — от супругов Кюри.

Мейер выполнил свои эксперименты на радии и полонии совместно с коллегой по университету Эгоном Риттером фон Швейдлером (1873—1948), который по своей прежней работе был знаком с электрическими свойствами газов. Их первые результаты были доложены Венской Академии наук 3 и 9 ноября 1899 г. ¹². После измерений намагниченности Мейер и фон Швейдлер исследовали явление, о котором сообщили Эльстер и Гейтель. Для этой цели они использовали подковообразный электромагнит, который мог создавать поля до 17 000 гс. Они поместили небольшое количество радия, завернутого в бумагу, в открытую заземленную трубу из латуни, которая была соединена с электрометром (рис. 2). При включении магнитного поля наблюдалось уменьшение скорости разряда электрометра, как в экспериментах Эльстера и Гейтеля при низком давлении.

Дальнейшие исследования показали, что, когда радий находился в магнитном поле, а остальные части аппарата — на расстоянии около

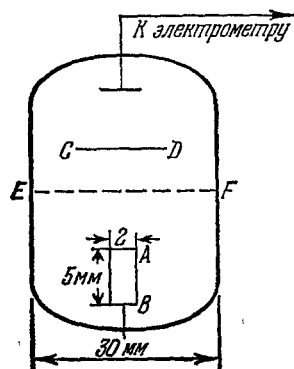


Рис. 1. Экспериментальная установка Эльстера и Гейтеля для изучения влияния магнитного поля на ионизацию, вызываемую лучами радия.

Радий находился в алюминиевом сосуде АВ, поддерживавшемся при потенциале 500 в. CD — фосфоресцентный экран. Воздухонепроницаемая алюминиевая пластинка EF использовалась в последующих экспериментах для изучения воздействия магнитного поля на само излучение.

*) Форма алюминиевого сосуда, содержащего радий, возможно, приводила к концентрации области свечения в центральном пятне. Полярность контактов не указана.

20 см от магнита, разряд происходил еще медленнее. Из этого результата следовало, что магнитное поле должно воздействовать на само излучение, либо отклоняя лучи Беккереля, либо замедляя их испускание. Мейер

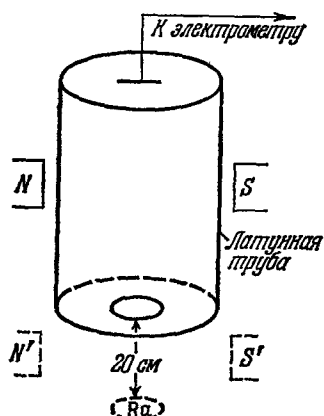


Рис. 2. Эксперимент Мейера и фон Швейдлера с лучами радия.

Во второй части эксперимента магнит (NS) и радий (Ra) перемещали от латунной трубы вниз, как показано на рисунке.

что направление отклонения соответствует испусканию отрицательно заряженных частиц.

Однако результаты австрийских исследователей частично уже не были новыми. 2 ноября 1899 г. редакция «Annalen der Physik and Chemie»

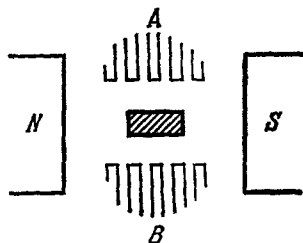


Рис. 3. Изображения A и B отклоненных лучей, полученные Мейером и фон Швейдлером.

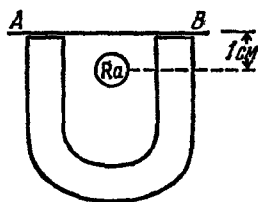


Рис. 4. Эксперимент Гизеля с лучами радия.

Фосфоресцентный экран AB помещался на полюса электромагнита. Радиевый источник (Ra) был расположен примерно на 1 см ниже экрана.

получила статью Гизеля, в которой сообщалось, что ему удалось отклонить лучи радия и полония в магнитном поле ¹³ *). Для Фридриха Гизеля

*) Гизель наблюдал магнитное отклонение 21 октября (см. ^{11а}, стр. 129). Причина аномальных результатов Гизеля для полония, который в этом случае испускает только альфа-лучи (до 1902 г. не было известно, что альфа-лучи тоже могут отклоняться), долго оставалась неясной, но вскоре было установлено (сначала Мейером и фон Швейдлером ^{12а}), что полоний, приготовленный супругами Кюри, не испускает отклоняемых лучей. Кроме того, Гизель обнаружил, что его полоний быстро терял свою способность испускать отклоняемые лучи. В 1906 г. он окончательно установил, что бета-излучатель в его образце полония был идентичен радью Резерфорда (Bi^{210} , период полураспада 5 дней) (см. ¹⁴).

(1852—1927), работавшего в химической промышленности, радиоактивность была своеобразным хобби. Его интерес к радиоактивности явился естественным продолжением его занятий фосфоресценцией и лучами Рентгена *). Он занялся выделением высокоактивных веществ из промышленных руд примерно в то же время, когда в этой области стали работать супруги Кюри. К 1899 г. он уже был в состоянии снабжать других исследователей препаратами радия и полония, а также демонстрировать действие таких препаратов **). Когда Гизелю удалось найти время для самостоятельных экспериментов, он решил проверить данные Эльстера и Гейтеля о поведении лучей Беккереля в магнитном поле.

В этом эксперименте Гизель поместил фосфоресцентный экран на полюса подковообразного электромагнита, а 0,1 г свежеприготовленного полония (с примесями) расположил между полюсами примерно на 1 см ниже экрана (рис. 4). Когда он включил магнит, светящееся пятно, создаваемое лучами на экране, приобрело кометообразный хвост, показывавший, что поле отклонило лучи. Он установил, что направление отклонения зависит от взаимной ориентации источника и полюсов, но не пытался определить знак заряда испускаемых частиц, как это сделали спустя небольшое время Мейер и фон Швейдлер. Аналогичные, хотя и менее резкие, эффекты Гизель наблюдал на образцах радия, в том числе на образце, который он перед этим давал Эльстеру и Гейтелю.

Поскольку ни Эльстер и Гейтель, ни Гизель не приводят значений напряженности поля, трудно установить, какое влияние оказали экспериментальные ограничения на отрицательный результат опытов Эльстера и Гейтеля. Возможно, что после того, как Гизель наблюдал отклонение лучей, испускаемых образцом полония, он был подготовлен к тому, чтобы увидеть такое отклонение также и на радии, в котором эффект, как он отмечал, был менее заметным. Однако, когда Эльстер и Гейтель узнали о результатах Гизеля, Мейера и фон Швейдлера, они получили аналогичные результаты и на своей аппаратуре. Это показывает, что их небольшой магнит создавал поле, достаточное для таких экспериментов (см. ¹⁷). Установка Гизеля, по-видимому, была недостаточно совершенна для постановки более точных опытов с радиоактивным излучением ***).

Тем временем Анри Беккерель (1852—1908) возобновил исследования радиоактивности после полугодового перерыва, связанного с исследованием эффекта Зеемана. Беккерель получил образцы радия и полония от супругов Кюри и, подобно всем другим, кто имел такую возможность, стремился изучить свойства этих новых веществ. Сначала он повторил свои прежние эксперименты по отражению, преломлению и поляризации

*) Из письма Гизеля супругам Кюри от 6 декабря 1899 г. (Archives de l'Institut du Radium, Paris): «Косвенной причиной (моего интереса к радиоактивности) был мой многолетний интерес к изучению фосфоресцентного свечения» (см. доклады Гизеля о рентгеновских лучах и соответствующих фосфоресцентных явлениях ¹⁵).

**) Из письма Гизеля супругам Кюри ²: «Уже в прошлом году, когда появилась ваша работа о радии, я имел возможность продемонстрировать на заседании здешнего научного общества фосфоресценцию экранов под действием небольшого радиоактивного препарата. Задолго до этого я обнаружил, что основная масса активных веществ, содержащегося в моем сырье, обладала химическими свойствами вашего полония и должна была представлять собой новый, более активный элемент». В докладах Брусневского общества не содержится сообщения об этой демонстрации (см. ¹⁶).

***) 12 января 1900 г., по-видимому, в ответ на просьбу супругов Кюри, Гизель писал: «При этих обстоятельствах я усомнился, удастся ли мне при моих собственных скромных возможностях поддерживать магнитное поле достаточно долго, чтобы зарегистрировать на фотопластинке отклонение, о котором вы любезно сообщили мне. Однако я взялся за эту работу». Никаких других сведений об этих экспериментах в переписке, хранящейся в архиве Радиевого института в Париже, не содержится. Однако Мейер приписывал робость Гизеля его некомпетентности как физика (см. ^{11а}, стр. 130 и 132).

излучения. На этот раз его результаты совпали с результатами других исследователей, и ему пришлось признать, что оптическое поведение лучей Беккереля и лучей Рентгена одинаково¹⁸. Затем он сравнил поведение различных фосфоресцентных и флуоресцентных минералов при воздействии на них лучей радия и рентгеновских лучей¹⁹. Беккерель установил, что в ряде случаев эти излучения вызывали совершенно разные эффекты, и сначала предположил, что эти два типа лучей имеют разные длины волн. Однако он также заметил, что лучи радия действуют на определенные минералы так же, как на них действовали катодные лучи в некоторых более ранних экспериментах, проводившихся его отцом. И излучение радия, и катодные лучи увеличивали период фосфоресценции некоторых веществ и окрашивали стекла в фиолетовый цвет. Последний эффект был открыт супругами Кюри. Наиболее вероятно, что именно эти наблюдения привели Беккереля к мысли проверить, отклоняются ли лучи радия или полония в магнитном поле. Хотя он лишь недавно признал, что по своему поведению лучи Беккереля больше похожи на рентгеновское излучение, чем на видимый свет, следует отметить, что он сделал это весьма неохотно. В отличие от большинства других физиков*), Беккерель никогда не принимал теории рентгеновского происхождения радиоактивности.

Статьи Беккереля, посвященные поведению лучей радия и полония в магнитном поле, появились 11 и 26 декабря 1899 г. Он располагал препараты в различных точках в поле электромагнита с регулируемой напряженностью поля (4000—10 000 гс), используя для наблюдений как фосфоресцирующий экран, так и фотопластинки, и получил результаты, аналогичные результатам Гизеля, Мейера и фон Швейдлера²³.

3. ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Итак, спустя три с половиной года после открытия Беккереля ученые в Германии, Австрии и Франции сообщили об отклонении открытых лучей в магнитном поле. Разброс по времени между этими сообщениями составил менее двух с половиной месяцев. Почему же потребовался столь длительный срок, чтобы выполнить такой простой эксперимент? Что определило момент и индивидуальные обстоятельства этого открытия?

В известном смысле ответ на первый вопрос нетруден. До 1898 г. не были открыты мощные радиоактивные источники на основе полония и радия. В 1899 г. их было еще очень трудно достать. Обладателями таких источников были только супруги Кюри в Париже, Гизель в Бруновике и химическая фирма «Де Хаен» в Ганновере²⁴. Уран и торий давали слишком слабое излучение, чтобы их можно было использовать для простых экспериментов по отклонению в магнитном поле, проводившихся в 1899 г. Это излучение не воздействовало на флуоресцентный экран, а для получения фотографий удовлетворительного качества требовались длительные экспозиции, что сильно увеличивало вероятность ошибки**).

*) Хотя Беккерель не указывает на какую-либо прямую связь между экспериментами по фосфоресценции и магнитному отклонению, он отмечает существование такой связи в более поздней работе²⁰. На Беккереля могло также оказать воздействие предположение, сделанное мадам Кюри в начале 1899 г., о том, что лучи Беккереля могут состоять из материальных частиц²¹; он знал, что супруги Кюри уже пытались отклонить лучи урана в магнитном поле²² (см. также записную книжку М. Кюри, Archives de Pierre et Marie Curie, Bibliothèque Nationale, sec. I — II, 20 марта 1898 г.).

**) Бета-лучи урана впервые удалось отклонить в магнитном поле Беккерелью²⁵ в 1900 г. Сконструировав простую экспериментальную установку, Беккерель смог провести успешный эксперимент с полем напряженностью всего лишь 1500 гс. Резерфорд и Грир²⁶ в 1902 г. показали, что торий тоже испускает отклоняемые (бета-) лучи, используя магнитное поле напряженностью 2200 гс.

Но если отвлечься от экспериментальных трудностей, любопытным и одновременно знаменательным представляется тот факт, что до 1899 г. никто не делал настойчивых попыток отклонить лучи Беккереля в магнитном поле. Технические затруднения можно было бы преодолеть (что и было со временем сделано) средствами, имевшимися в распоряжении в 1896 г. Главной причиной задержки экспериментов по магнитному отклонению было то, что до 1899 г. никто всерьез не предполагал, что лучи Беккереля могут содержать материальные частицы. Только в этом году в результате экспериментов с катодными лучами, проведенных Дж. Дж. Томсоном, физики в принципе приходят к идее о возможности прохождение определенных частиц через металлическую фольгу²⁷. Для большинства представление о том, что любая корпускула может проникнуть в твердый металл на миллиметр или глубже, как это было установлено для бета-лучей, казалось нелепым. Как отмечал впоследствии лорд Рэлей, именно по этой причине Томсон и Резерфорд скептически отнеслись к первым сообщениям о том, что лучи Беккереля отклоняются магнитным полем²⁸ (см. также⁵⁶, стр. 253 *). Теория об идентичности лучей Беккереля рентгеновскому излучению утвердилась настолько прочно, что до 1899 г. никто, по-видимому, не исследовал возможной связи лучей Беккереля и катодных лучей, тогда как после 1899 г. журналы по химии и физике изобиловали сообщениями о таких экспериментах **).

Однако к 1899 г. быстро накапливались доказательства существования тел, меньших, чем атомы. Это следовало, в частности, из экспериментов с катодными лучами и из эффекта Зеемана. Радиоактивность все более широко признавали как совершенно новое явление. Все больше ученых начинали заниматься серьезным изучением лучей Беккереля (см. ?) ***). Эти обстоятельства, в сочетании с появлением двух новых радиоактивных элементов, создали условия для постановки в 1899 г. серии экспериментов с лучами радия и полония. Тот факт, что из четырех лиц, поставивших успешные эксперименты по магнитному отклонению, трое были новичками в исследовании радиоактивности, а один был химиком, не является случайным совпадением. Эти люди были менее склонны к предвзятым мнениям, чем те немногие физики, которые работали в этой области. Мы видели, что четвертый, сам Беккерель, никогда не был большим поклонником теории рентгеновского происхождения радиоактивности. Он пришел к открытию через близкую ему область — фосфоресценцию ****). Не было совпадением и то, что трое из четверки принадлежали к национальностям, говорящим по-немецки. Личные контакты сыграли роль в одновременном совершении открытия в Германии и Австрии *****). Гизель был постоянно связан с Эльстером и Гейтелем через их местное научное общество в Брунсвике. Мы знаем, что Гизель снабжал радиоактивными материалами как Эльстера и Гейтеля, так и Мейера и фон

*) См. письмо Резерфорда Эльстеру и Гейтелю от 12 июня 1899 г. (Berlin, Staatsbibliothek Preussischer Kulturbesitz, früher Preussische Staatsbibliothek): «Я был рад узнать, что Вы исследовали влияние магнитного поля на скорость разряда при низких давлениях. Ваши результаты в точности соответствуют теории ионов».

**) Жорж Савьяк намеревался исследовать отклонение вторичных рентгеновских лучей в магнитном поле еще 12 марта 1898 г.²⁹, но в то время он не связывал этот эффект с лучами Беккереля (см.³⁰).

***) Анализ библиографии за эти годы³¹ дает 8 авторов в 1896 г., 16 — в 1897 г., 23 — в 1899 г. и 43 — в 1900 г.

****) Дед Беккереля, Антуан Цезарь Беккерель (1788—1878), и в особенности его отец, Александр Эдмон Беккерель (1820—1891), исследовали фосфоресценцию. Беккерель открыл радиоактивность, проверяя отцовскую коллекцию фосфоресцирующих минералов.

*****) Это документально подтвердил Мейер, который опубликовал часть корреспонденции, относящейся к экспериментам по отклонению в магнитном поле^{12а}.

Швейдлера и что он решился на постановку собственного эксперимента, узнав о результатах своих друзей. Первые исследования Эльстера и Гейтеля в области радиоактивности были стимулированы гипотезой о возможном существовании связи между «гиперфосфоресценцией» и загадкой фотоэлектрического эффекта. Возможно, что фон Швейдлер, который написал несколько статей о последнем явлении, также пришел к радиоактивности от фотоэффекта³². Мейер заинтересовался радиоактивностью под влиянием Гизеля. Он и фон Швейдлер начали свои совместные исследования с повторения опытов Эльстера и Гейтеля. Хотя два физика из Вольфенбюттеля придерживались теории рентгеновского происхождения радиорактивности и получили отрицательные результаты в экспериментах по магнитному отклонению лучей Беккереля, они сыграли в истории открытия ключевую роль.

4. ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

После сообщения об успешных экспериментах работа прогрессировала очень быстро. Пьер Кюри показал, что отклонение испытывает только более проникающее, или бета-излучение³³. Он и Мария Кюри обнаружили, что бета-лучи несут отрицательный заряд³⁴. Эрнсту Дорну в Галле удалось отклонить бета-лучи электрическим полем³⁵. Этот последний результат дал возможность определять отношение заряда к массе для бета-частиц, пропуская их через перекрещивающиеся магнитное и электрическое поля. Первое такое измерение было выполнено Беккерелем, который получил отношение того же порядка величины, как у частиц в катодных лучах³⁶. К середине 1900 г. большинство ученых считали бета-лучи частицами катодных лучей, движущимися с высокой скоростью.

Может показаться, что отождествление частицы бета-излучения с «корпускулой» Дж. Дж. Томсона должно было немедленно обнаружить несостоятельность теории рентгеновского происхождения радиоактивности. Однако на деле открытия 1899 г. вначале усилили позиции этой теории. Поскольку лучи Беккереля содержали корпускулы, можно было ожидать, что вторичное рентгеновское излучение тоже будет содержать их. Этот вывод был подтвержден в апреле 1900 г., когда Пьер Кюри и Жорж Саньяк, один из пионеров изучения вторичных рентгеновских лучей, сообщили, что вторичное рентгеновское излучение действительно несет отрицательный заряд³⁰. Этот результат хорошо согласовался с представлением о лучах Беккереля как о смеси первичных и вторичных рентгеновских лучей.

Тем не менее, открытие того факта, что часть излучения Беккереля составляют материальные частицы, дало пищу для более радикальных гипотез. Бета-лучи, обладавшие наибольшей скоростью, достижимой в то время для материальных частиц, были полезны для изучения теоретически важного эффекта — зависимости отношения e/m от скорости. Исследования Вальтера Кауфмана, который показал, что это отношение убывает примерно в соответствии с электродинамикой токов, привели ряд физиков к постановке вопроса о том, может ли вся масса иметь неэлектродинамическое происхождение³⁷. Более непосредственное отношение к радиоактивности имели идеи, которые привели к представлению о расщеплении атома и превращении элементов. Например, супруги Кюри в 1900 г., как и большинство, считали, что возможно несколько объяснений радиоактивности, однако они отдавали предпочтение «баллистической» гипотезе. Согласно этой гипотезе «...радий непрерывно испускает маленькие отрицательно заряженные частицы. Поддающаяся использованию энергия, имеющая форму потенциальной энергии, понемногу

исчезает. Эта точка зрения ведет к предположению об изменчивости атома»³⁸. В следующем году два других французских физика постулировали, что причиной радиоактивности являются субатомные превращения. Жан Перрен, исследования которого помогли подтвердить существование корпускул Томсона, предложил модель атома, в которой эти отрицательно заряженные частицы обращались вокруг положительно заряженных «солнц» большей массы. Перрен предположил, что наружные «планеты» в наиболее тяжелых атомах настолько легко отделяются от своих «солнц», что эти элементы оказываются спонтанно радиоактивными³⁹. Позднее, в 1901 г., Беккерель разработал для объяснения радиоактивности теорию атомного расщепления, в которой он представлял атом как агрегат томсоновских корпускул и положительно заряженных частиц атомных размеров⁴⁰ *).

Однако к этому времени было сделано много новых поразительных открытий, которые подтвердили теорию атомных превращений более непосредственно, чем рассуждения, основанные на установлении природы бета-частицы **). Случилось так, что именно в Англии, которая отставала в этой области, была разработана теория субатомных превращений. Но открытие бета-частицы было важным поворотным пунктом в новом учении о радиоактивности, которое достигло кульминации в разработке теории Резерфорда — Содди в 1902—1903 гг.⁴¹.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. а) E. W h i t t a k e r, A History of the Theories of Aether and Electricity, N.Y., Harper, 1960, v. 1, p. 357; v. 2, p. 1; б) O. G l a s s n e r, Wilhelm Conrad Roentgen and Early History of the Roentgen Rays, Springfield, Ill., Thomas, 1934.
2. S. P. T h o m s o n, Phil. Mag. 42, 103 (1896).
3. H. B e c q u e r e l, C. R. Ac. Sci. 122, 559 (1896) (получено 9 марта 1896 г.).
4. H. B e c q u e r e l, Rapports presentes au Congres International de Physique, v. 3, P., Gauthier-Villars, 1900.
5. а) E. R u t h e r f o r d, Phil. Mag. 47, 109 (1899) (датировано 1 сентября 1898 г.) (см. перевод: Э. Резерфорд, Избранные научные труды, т. 1, М., «Наука», 1971, стр. 66); G. C. S c h m i d t, Ann. d. Phys. Chem. 65, 141 (1898) (получено 24 марта 1898 г.); б) J. L. H e i l b r o n, Arch. Hist. Exact. Sci. 4, 247 (1968).
6. M. C u r i e, C. R. Ac. Sci. 126, 1101 (1898) (получено 12 апреля 1898 г.); E. R u t h e r f o r d^{5a}, J. E l s t e r, H. G e i t e l, Ann. d. Phys. Chem. 69, 83 (1899) (получено 5 августа 1899 г.); J. J. T h o m s o n, Proc. Cambr. Phil. Soc. 9, 393 (1898) (получено 24 января 1898 г.); Sir W. C r o o k e s, Presidential Address, Rept. Brit. Assoc. Advan. Sci. 68, 26 (1898).
7. L. B a d a s h, Am. J. Phys. 33, 128 (1965).
8. P. C u r i e, M. C u r i e, C. R. Ac. Sci. 127, 175, 1215 (1898) (получено 18 июля и 26 декабря 1898 г.).
9. J. E l s t e r, H. G e i t e l, Verhandl. Deutsch. Phys. Ges. 1, 136 (1899) (заседание 5 мая 1899 г.).
10. J. E l s t e r, H. G e i t e l, Ann. d. Phys. Chem. 37, 315 (1899) (датировано мартом 1899 г.); 39, 167 (1899) (датировано июлем 1899 г.).
11. а) S. M e y e r, Naturwiss. 3, 129 (1899); б) F. G i e s e l, Phys. Zs. 1, 16 (1899) (представлено 24 августа 1899 г.).
12. S. M e y e r, E. v o n S c h w e i d l e r, Anz. Keiserl. Ac. Wiss. Wien 36, а) 309, б) 323 (1899) (получено 3 (б) и 9 (а) ноября 1899 г.); в) Phys. Zs. 1, 90, 113 (1899) (опубликовано 25 ноября и 2 декабря 1899 г.).
13. F. G i e s e l, Ann. d. Phys. Chem. 69, 834 (1899) (получено 2 ноября 1899 г.).
14. F. G i e s e l, Ber. Deutsch. Chem. Ges. 39, 780, 1014 (1906).

*) Выводы Беккереля были сформулированы под влиянием его экспериментов с ураном и ураном-Х.

**) Например, открытие так называемой индуцированной, или наведенной, радиоактивности, радиоактивных эманаций (газов) и радиоактивных осадков, оставляемых этими газами, а также разделение активных и неактивных составляющих радиоактивных элементов, вместе с открытием того факта, что они теряют и соответственно вновь приобретают свою активность.

15. F. Giesel, *Jahresber. Ver. Naturwis. Braunschweig.* 10, 73, 99, 113 (1896) (получено 6 февраля, 19 марта и 22 октября 1896 г.).
 16. F. Giesel, *Ann. d. Phys. Chem.* 69, 91 (1899) (получено 5 августа 1899 г.).
 17. L. Badash, *Centaurus* 11, 236 (1966).
 18. H. Becquerel, *C.R. Ac. Sci.* 128, 771 (1899) (получено 27 марта 1899 г.).
 19. H. Becquerel, *ibid.* 129, 912 (получено 4 декабря 1899 г.).
 20. H. Becquerel, *Recherches sur une Propriété Nouvelle de la Matière*, P., F. Didot et Cie, 1903, p. 126, 129.
 21. M. Curie, *Rev. Gen. Sci.* 10, 41 (1899) (опубликовано 30 января 1899 г.).
 22. H. Becquerel, *C.R. Ac. Sci.* 129, 1205 (1899) (получено 26 декабря 1899 г.).
 23. H. Becquerel, *ibid.* 129, 996, 1205 (1899) (получено 11 и 26 декабря 1899 г.).
 24. E. de Haën, *Ann. d. Phys. Chem.* 68, 902 (1899) (получено 14 июля 1899 г.).
 25. H. Becquerel, *C.R. Ac. Sci.* 130, 1583 (1900) (получено 11 июня 1900 г.).
 26. E. Rutherford, *A.G. Grier, Phil. Mag.* 4, 315 (1902) (см. перевод по ^{5a}, стр. 187).
 27. E. Whittaker, *см. 1a*, v. 1, pp. 360—365.
 28. Lord Rayleigh, *The Life of Sir J. J. Thomson*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1943, p. 133.
 29. G. Sagnac, *L'Eclairage Electrique* 14, 466 (1898).
 30. P. Curie, G. Sagnac, *C. R. Ac. Sci.* 130, 1013 (1900) (получено 9 апреля 1900 г.); *см. 5b*, pp. 251—252.
 31. *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik* 1, 413 (1904).
 32. J. Elster, H. Geitel, *Ann. d. Phys. Chem.* 66, 735 (1898) (получено 26 сентября 1898 г.); J. Elster, *Jahresber. Ver. Naturwiss. Braunschweig.* 10, 149 (1896) (заседание 10 декабря 1898 г.).
 33. P. Curie, *C. R. Ac. Sci.* 130, 73 (1900) (получено 8 января 1900 г.).
 34. P. Curie, M. Curie, *ibid.*, p. 647 (получено 5 марта 1900 г.).
 35. E. Dorn, *Abhandl. Naturforsch. Ges. Halle* 22, 47 (1900) (датировано 11 марта 1900 г.); *Phys. Zs.* 1, 337 (1900) (получено 5 мая 1900 г.).
 36. H. Becquerel, *C. R. Ac. Sci.* 130, 206, 809 (1900) (получено 29 января и 26 марта 1900 г.).
 37. M. Jammer, *Concepts of Mass*, N. Y., Harper and Row, 1964, ch. II (см. перевод: М. Джеммер, *Понятие массы в классической и современной физике*, М., «Прогресс», 1967); *см. также 1a*, v. 2, p. 53.
 38. P. Curie, M. Curie, *см. 4*, p. 79.
 39. J. Perrin, *Rev. Sci.* 15, 46 (1901) (опубликовано 13 апреля 1901 г.).
 40. H. Becquerel, *C. R. Ac. Sci.* 133, 977 (1901) (получено 9 декабря 1901 г.).
 41. E. Rutherford, F. Soddy, *Trans. Chem. Soc.* 81, 321, 837 (1902); *Phil. Mag.* 4, 370 (1902) (см. перевод по ^{5a}, стр. 902); *ibid.*, p. 569 (см. перевод по ^{5a}, стр. 225); 5, 576 (1903).
-