

**Э. Резерфорд**  
**СОРОК ЛЕТ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ**  
**(1940 г.)**

**I. История радиоактивности**

Я намерен прочесть две лекции: первую — о развитии представлений о радиоактивности и вторую — о современных воззрениях на структуру атомов. Я полагаю, что Комитет, организовавший эти лекции по истории современной науки, поступил очень разумно, избрав в качестве отправной даты 1895 год, ибо именно этот год отмечен в истории как рубеж, отделяющий то, что мы называем старой, или классической, физикой, от новой, или современной, физики. Именно в том году Рентген сделал свое далеко идущее открытие — X-лучи, открытие, которое как само по себе, так и по следствиям оказало огромное влияние на прогресс науки. Мне самому посчастливилось в тот переходный 1895 год начать работу в Кавендишской лаборатории с Дж. Дж. Томсоном, и прежде всего я хочу рассказать немного о взглядах ученых того времени.

Рассмотрим вкратце, то, в чем мы, физики, были тогда уверены. Прежде всего, существовала знаменитая электромагнитная теория Максвелла, которая устанавливала связь между светом и электрическими колебаниями, так что свет считался не чем иным, как формой электрических волн, распространяющихся в пространстве. Отсюда следовало, что атомные спектры, такие, например, как яркие спектральные линии, испускаемые водородом при воздействии электрического разряда, представляют собой типы электрического колебания и поэтому, видимо, образуются в результате колебания некоторого электрического заряда. В связи с этим многие теоретики, как, например, Лоренц и Лармор, считали, что в атоме должны находиться электрические вибраторы, хотя сначала они и не представляли себе, как эти вибраторы заряжены — положительно или отрицательно.

Другой общепринятой теорией была кинетическая теория газов, в которой предполагалось, что свойства газов могут быть объяснены движением молекул, и, как вам известно, на основе определенных экспериментальных результатов можно было вычислить число молекул в кубическом сантиметре газа и оценить размер и вес атомов. Однако сделанные тогда различными специалистами численные оценки время от времени значительно изменялись, и мы могли только очень приблизительно вычислить массу или размер атома. Причина этой неопределенности частично связана с тем, что расчеты по кинетической теории были очень грубы и неполны, а частично с тем, что экспериментальные данные были не очень надежны.

Многие из вас не будут удивлены, услышав, что мы верили в кинетическую теорию и молекулярное строение вещества. Однако имеется один вопрос, который теперешние молодые ученые легко забывают, и состоит он в том, что атомная структура электричества в то время тоже в основном считалась правильной. Верно, конечно, что в то время не

существовало однозначных экспериментов, ведущих к такому представлению, но оно принималось как результат знаменитых выводов, сделанных много лет назад Фарадеем из экспериментов по электролизу. Большая заслуга в широком распространении этих идей принадлежит ученому Джонстону Стони из Дублина, которого я знал лично. Именно он был тем, кто увидел, что должна существовать фундаментальная единица заряда, переносимая атомом водорода при электролизе воды, и для этого заряда он придумал слово «электрон», применяемое теперь во всем мире.

Рассмотрим теперь уровень знаний в тех областях химии, которых мы будем сегодня касаться. В результате проведенных в течение столетий усердных работ химики преуспели в разделении и очистке подавляющего большинства элементов, и возникло представление о том, что атомы данного типа вещества все сделаны по одному образцу. Атомы были неизменяемы и неразрушаемы, и такими они должны были оставаться навечно или до тех пор, пока будет существовать наука химия. И хотя от старого представления об атоме, как о твердом «биллиардном шаре», в конце прошлого столетия полностью отказались, химики все еще были уверены, что с точки зрения имеющихся в их распоряжении методов атомы неизменны и определению неразрушаемы. Случалось, что кто-нибудь воображал, что превратил один тип атома в другой, но всегда можно было доказать, что он ошибся.

Тогда же было развито замечательное обобщение, известное как периодический закон, на основе которого свойства элементов связывались с их положением в ряду по атомным весам. Наиболее мыслящие из химиков инстинктивно чувствовали, что этот закон соответствует представлению о том, что все атомы либо схожи по своей структуре, либо каким-то образом все сделаны из более элементарного материала. Но эти представления были очень смутны, и истинное значение периодического закона было понято лишь через 10 или 15 лет.

Теперь я подошел к началу моего рассказа. Возможно, лишь некоторые из вас отчетливо себе представляют ту необыкновенную сенсацию, которую вышло открытие Рентгеном X-лучей в 1895 г. Оно заинтересовало не только ученых, но и простых людей, которые были потрясены возможностью увидеть собственные внутренности и кости. Все лаборатории мира использовали свои старые круковские трубки для получения X-лучей и Кавендишская лаборатория не представляла исключения. Эти старые круковские трубки показывали, что катодные лучи обладают способностью вызывать яркую фосфоресценцию в целом ряде веществ; кроме того, было замечено, что X-лучи, по-видимому, испускаются из точек падения этих катодных лучей. Это навело многих на мысль, что X-лучи, возможно, связаны некоторым образом с фосфоресценцией и что, быть может, фосфоресцирующие вещества могут испускать X-лучи. Многие исследователи на континенте экспериментировали в этом направлении, в том числе и Анри Беккерель в Париже. Его отец, профессор, очень интересовался фосфоресценцией, в частности измерением ее продолжительности, и его тоже интересовали довольно необычные свойства, наблюдаемые в урановых

соединениях. Анри помогал своему отцу в работе, и еще за 15 лет до того, т. е. в 1880 г., развлекался тем, что выращивал кристаллы бисульфата урана и калия, которые восхитительно сверкали после того, как их выставляли на свет. В своих поисках зависимости между фосфоресценцией и X-лучами Беккерель помещал множество фосфоресцирующих веществ, обернутых черной бумагой, над фотопластинкой, но результаты были полностью отрицательными. Тогда ему пришло в голову испытать свои кристаллы солей урана. Сначала он экспонировал эти кристаллы на свету, чтобы заставить их фосфоресцировать, а затем заворачивал в черную бумагу и помещал над фотопластинкой. После выдержки в течение нескольких часов и проявления был обнаружен отчетливый фотоэффект. Эксперимент был повторен, причем между урановой солью и фотопластинкой был помещен осколок тонкого стекла, чтобы исключить эффекты, связанные с возможными испарениями, однако фотоэффект был получен снова. Сначала Беккерель предположил, что испускание лучей, которые способны проникнуть сквозь черную бумагу, каким-то образом связано с фосфоресценцией, но затем он показал, что эффект наблюдается и тогда, когда урановая соль предварительно хранилась в течение нескольких недель в темноте, так что не было даже признаков фосфоресценции. Затем он заметил, что все соли урана и сам металл обладают свойством испускать излучение, проникающее сквозь черную бумагу. Так он открыл явление, которое мы теперь именуем *радиоактивностью*.

Теперь мы назовем всем нам знакомое имя — Мария Кюри. Она начала исследовать активность различных веществ, изучая скорость, с которой радиация разряжает помещенные вблизи наэлектризованные тела. Она установила, что урановая смолка и некоторые другие минералы производят больший эффект, чем чистый уран, и пришла к выводу, что эти минералы должны содержать некое вещество, обладающее большей активностью, чем уран. Поэтому она сделала химический анализ этого минерала, последовательно проводя обычные процессы химического разделения, причем на каждой стадии оставляла ту часть, которая обладала большей радиоактивностью. Она обнаружила два особенно активных вещества: одно, похожее химически на висмут, она назвала полонием, другое, химически похожее на барий, — радием.

Содержание радия в любых радиоактивных минералах чрезвычайно мало, порядка 1 части на 10 000 000, но, оперируя тоннами исходных минералов, М. Кюри смогла приготовить достаточно чистый бромид радия, чтобы определить атомный вес радия и показать, что он имеет определенный спектр, т. е., иными словами, чтобы показать, что радий ведет себя химически, как обычный элемент.

Благодаря Гизелю, химику хининной фабрики в Брауншвейге, впервые в продаже появились препараты почти чистой радиевой соли. Говорят, не знаю, насколько это верно, будто ему удалось выделить радий чуть раньше, чем М. Кюри. Но, поскольку он использовал разработанную ею методику и его работа явилась прямым следствием работ М. Кюри, он с истинно научным

благородством отказался претендовать на приоритет в этом деле. Как бы там ни было, его труд имел важные последствия, так как его заинтересованность в этих веществах привела к тому, что рыночная цена чистого бромида радия составляла 1 фунт стерлингов за 1 мг. Я приобрел 30 мг, и Рамзай сделал то же. Немного позднее радий стоил уже 12 фунтов стерлингов за 1 мг.

Открытие радия имело огромное значение для науки, главным образом вследствие того, что его активность столь велика (более чем в миллион раз выше, чем урана), что нельзя было уже считать это небольшим второстепенным эффектом. Тот факт, что радий обладает длительной жизнью (1600 лет) и легко выделяется химически, тоже увеличивает его значение.

Интересно оглянуться назад и представить себе, что произошло бы, если бы радиоактивность урана была открыта раньше. Элемент, впоследствии названный ураном, был открыт более столетия назад, в 1789 г., Клапротом, и, если бы он поместил это вещество вблизи электроскопа, то мог бы заметить, что оно разряжает электричество. По моему мнению, на этом бы все и закончилось. Люди сказали бы, что это любопытно, но не сделали бы отсюда никаких выводов. Никто бы не задался вопросом, как этот эффект произошел. Для науки характерно, что открытия происходят преимущественно тогда, когда общественная мысль к ним подготовлена.

Теперь, я надеюсь, мне позволено будет рассказать о моем знакомстве с сущностью радиоактивности. Когда я поступил в Кавендишскую лабораторию в 1895 г., я начал работу по ионизации газов X-лучами. Я прочел статью Беккереля, и мне захотелось узнать, не одинаковы ли по своей природе ионы, образующиеся от излучения урана и от X-лучей, и, в частности, меня заинтересовало мнение Беккереля о том, что его излучение есть что-то промежуточное между светом и X-лучами. Поэтому я приступил к систематическому исследованию излучения и установил, что существует два его типа: одно создает интенсивную ионизацию и поглощается в нескольких сантиметрах воздуха, а другое производит менее сильную ионизацию, но более проникающее. Я назвал их соответственно  $\alpha$ - и  $\beta$ -лучами: когда же в 1898 г. Вийяр открыл еще более проникающий вид излучения, он назвал его  $\gamma$ -лучами.

В 1898 г. я приехал в Мак-Гиллский университет в Монреале и там встретился с Р. Оуэнсом, новым профессором электротехники, который прибыл одновременно со мной. Оуэнс получал стипендию, которая обязывала его проводить некоторые физические исследования; он спросил, не могу ли я ему предложить тему, которую он мог бы исследовать для оправдания этой стипендии. Я предложил ему исследовать с помощью электроскопа торий, радиоактивность которого была тем временем открыта Шмидтом. Я помогал ему в проведении экспериментов, и мы обнаружили некоторые очень странные явления. Оказалось, что радиоактивное воздействие окиси тория может проходить сквозь дюжину листов бумаги, положенных поверх этой окиси, но задерживается тончайшей пластинкой слюды, как будто излучается что-то, способное диффундировать сквозь поры бумаги. Тот факт, что прибор был очень чувствителен к движению воздуха, поддерживал эту

диффузионную гипотезу. Затем мы провели эксперименты, в которых воздух проходил над окисью тория, а потом попадал в ионизационную камеру. Эти опыты показали, что активность может переноситься воздухом. Однако когда поток воздуха прекращался, активность в ионизационной камере не сразу исчезала, а уменьшалась постепенно по экспоненциальному закону. Я назвал это газообразное вещество, которое может диффундировать сквозь бумагу, переноситься воздухом и в течение некоторого времени сохранять свою активность, исчезающую по характерному закону, «эманацией тория».

Я установил, что эта эманация обладает чрезвычайно своеобразным свойством делать радиоактивными тела, над которыми она проходит. Казалось, что это свойство, скорее всего, обусловлено осаждением некой материальной субстанции, а не какой-либо активностью, возникшей в самих этих телах под действием излучения, так как тогда количество осажденного вещества должно увеличиваться при приложении электрического поля. В те времена многие получали неповторяющиеся и странные результаты, помещая предметы вблизи радиоактивных веществ; по-видимому, все это могло объясняться наличием таких же эманации, как обнаруженная нами у тория.

Прежде чем считать такое объяснение правильным, необходимо было выяснить истинную природу эманации. Это было очень трудно, так как доступное количество ее всегда было очень мало. С самого начала Содди и я предположили, что это, должно быть, инертный газ вроде гелия, неона или аргона, так как нам никак не удавалось заставить ее соединиться с каким-либо химическим веществом. Мы смогли грубо оценить ее молекулярный вес путем сравнения скорости ее диффузии и других газов с известным молекулярным весом. Используя свойство эманации разряжать электроскоп в качестве меры наличного ее количества, нам удалось, имея в своем распоряжении очень малое количество эманации, измерить эту скорость диффузии. Мы пришли к заключению, что ее атомный вес должен быть примерно равен 100. Затем мы постарались определить, образуется ли эманация непосредственно из тория или же из какого-то промежуточного продукта. Применяя химические методы, мы смогли отделить промежуточное вещество, из которого образуется эманация, и назвали его «торий X».

Примерно в то же время Рамзай заметил, что в большинстве радиоактивных минералов присутствует гелий и что он представляет собой другой газообразный продукт превращений. Впоследствии я сам смог показать, что гелий обуславливается накоплением  $\alpha$ -частиц.

До 1903 или 1904 г. количество радия было очень ограничено, и большей частью имевшегося в мире радия располагали супруги Кюри, которые выделили его из урановой смолки путем долгого и трудного процесса. Одно из первых сделанных ими наблюдений заключалось в том, что температура радия весом около 100 мг выше температуры окружающего воздуха. Они подсчитали, что 1 г радия должен выделять тепло со скоростью около 100 кал/час. Этот эксперимент всех взбудоражил, ибо даже мысль о существовании какого-либо вещества, температура которого выше температуры окружающего воздуха, была нестерпима для старомодных

физиков, и тогда всеобщее распространение получило представление о том, что радий обладает своеобразным свойством действовать в качестве термодинамической машины, использующей тепло воздуха. Я был твердо убежден в том, что тепловой эффект неизбежно есть следствие излучения  $\alpha$ - и  $\beta$ -частиц и что он уменьшается со временем точно так же, как и активность. Впоследствии мы смогли разобраться в причинах тепловых эффектов радиоактивных тел и показать, что в этом процессе нет ничего загадочного. Мы смогли показать, что теплота при этих радиоактивных превращениях может выделяться в огромных количествах. Эти количества, подсчитанные на единицу массы, оказались в миллионы раз больше тех, которые были получены с помощью химических реакций, и мы смогли показать, что это характерно для всех радиоактивных превращений.

Теперь я хочу немного остановиться на экспериментальных доказательствах природы  $\alpha$ -частиц. Различными экспериментами и с помощью разных сотрудников мне удалось показать, отклоняя  $\alpha$ -частицы в магнитном поле, что эти частицы есть атомы гелия, несущие два положительных заряда; мы смогли также измерить их скорость. Примерно в то же время (1903 или 1904 г.) Брэгг и Климан сделали свой весьма интересный и важный анализ ионизационной кривой  $\alpha$ -лучей, показав, что ионизация изменяется вдоль их пути весьма характерным образом. Теперь кривая, описывающая форму такого изменения, известна как «кривая Брэгга».

Я хочу рассказать также о двух важных открытиях, являющихся в большой степени заслугой Содди. Я говорю об открытии закона смещения и открытии изотопов среди радиоактивных элементов.

Исследуя химические свойства радиоактивных веществ, Содди заметил, что часто имеется простое соотношение между положениями в периодической таблице исходных и конечных элементов, участвующих в радиоактивных превращениях. Прежде чем он смог убедиться в общности такого вывода, необходимо было определить химические свойства всех известных радиоактивных элементов, что было далеко не простой задачей, так как многие из них имелись в ничтожных количествах. Такую же работу провел Ган; в результате широкое обобщение, теперь известное как «закон смещения», было сделано почти одновременно А. Расселом, Фаянсом и Содди. Этот закон просто утверждает, что, если вещество испускает  $\alpha$ -частицу, оно перемещается вниз на два места в периодической таблице, а когда оно испускает  $\beta$ -частицу, то оно поднимается в таблице на одно место вверх. Очевидно, что это связано с тем фактом, что  $\alpha$ -частица несет два положительных заряда, а  $\beta$ -частица — один отрицательный заряд.

В отношении изотопов положение было следующим. Многие исследователи при разделении определенных радиоактивных тел натолкнулись на невероятное, почти непреодолимое затруднение. Содди очень заинтересовался этим явлением и обнаружил несколько радиоактивных веществ, которые он не смог разделить. Эти вещества были совершенно различными и обладали характерными радиоактивными свойствами, однако их нельзя было разделить с помощью химических операций. Он обратил

также внимание, что в периодической таблице для большой группы радиоактивных элементов даже нет места, и предположил, что существуют элементы, неотделимые с химической точки зрения, но обладающие с точки зрения радиоактивности различными свойствами. Содди назвал соответствующие элементы такого рода изотопами, и так было положено начало большой области исследований, огромный вклад в которую внес Астон, о чем он расскажет сам в своей лекции.

## II. Развитие наших представлений о структуре атома

В сегодняшней лекции я попытаюсь рассказать очень кратко о развитии наших представлений о частицах, образующих атом, и его структуре.

Одной из наиболее важных частиц в атоме является электрон, и я попытаюсь прежде всего очень коротко изложить вам, как изменились наши представления об электроне за последние 40 лет. Это было в 1897 г., когда из экспериментов, проведенных в основном нашим руководителем Дж. Дж. Томсоном, вытекало, что так называемые катодные лучи Крукса состоят из потока частиц очень малой массы, движущихся с очень большой скоростью. Я полагаю, что мы вправе приписать преимущественную роль в этом открытии Дж. Дж. Томсону, поскольку он был первым, кто отклонил эти частицы, как в электрическом, так и в магнитном полях, и первым понял, что электрон должен быть составной частью всех атомов, а также придумал методы определения числа электронов в атоме. В первых же экспериментах было обнаружено, что отношение заряда к массе электрона более чем в одну или две тысячи раз превышает таковое же для водорода, легчайшего из известных атомов; одновременно было показано, что электроны в откачанной трубке могут обладать огромными скоростями, приближающимися даже к скорости света. Итак, масса электрона оставалась неизвестной, известно было лишь *отношение* заряда к массе, но все указывало на то, что электрон очень легок и подвижен. Скотсмен и Сазерленд в Мельбурне высказали очень интересное предположение, что этот легкий электрон, возможно, не что иное, как движущийся единичный электрический заряд, не обладающий связанной с ним материальной массой. Еще в 1881 г. Дж. Дж. Томсон показал, что сфера радиуса  $a$ , обладающая зарядом  $e$ , по-видимому, имеет дополнительную массу  $2/3(e^2/a)$ , что соответствует тому факту, что при движении этой сферы энергия должна переходить в окружающее ее электромагнитное поле. Сазерленд отметил, что если предположить радиус  $a$  достаточно малым, не обязательно считать, что электрон обладает вообще какой-либо «обычной» массой. Если это справедливо, то радиус электрона будет равен около  $2 \cdot 10^{-13}$  см. Это была заманчивая идея, и ученые попытались проверить ее справедливость.

Такие теоретики, как Абрахам, Хевисайд и Сирл, здесь, в Кембридже, пытались выяснить, как кажущаяся масса, обусловленная зарядом, должна зависеть от скорости. Разные исследователи приходили к различным результатам, так как в основу клали различные начальные предположения, но при сравнительно больших скоростях результаты были примерно

одинаковыми. У всех получалось, что масса должна увеличиваться со скоростью и становиться бесконечной при приближении к скорости света. Тем временем стали доступными небольшие количества радия, а поскольку он испускает электроны, движущиеся со скоростью, очень близкой к скорости света, то стало возможно провести экспериментальную проверку этих теорий. В 1902 г. это сделал Кауфман, и полученные им результаты в пределах точности эксперимента находились в согласии со всеми теориями.

Эти эксперименты привлекли очень большое внимание и привели многих к неправильному выводу, что поскольку масса электрона, видимо, полностью обусловлена его зарядом, то и вся масса не что иное, как проявление электрического заряда. Согласно этому представлению, масса атома водорода, в 1850 раз большая массы электрона, просто объяснялась тем, что этот атом содержит 1850 электронов. Однако такое положение сохранялось недолго. В 1905 г. Эйнштейн, исходя из соображений относительности, показал, что масса тела должна изменяться со скоростью и что независимо от того, заряжено или не заряжено тело, изменение массы одно и то же. Любое тело независимо от того, из чего оно состоит, должно подчиняться закону Эйнштейна, и все эксперименты, по-видимому, указывают на справедливость этого закона. Эксперименты Кауфмана согласуются как со следствиями релятивистской, так и старой электрической теорий, так что уже нельзя было больше допускать, что масса электрона полностью обусловлена его зарядом. Единственный способ определения радиуса  $a$  электрона заключался в допущении, что масса электрона полностью обусловлена его зарядом, после чего использовалось приведенное выше выражение, поэтому еще раз ясно, что оценки размера электрона не существовало. Вполне вероятно, что радиус электрона порядка  $10^{-13}$  см, и недавно Борн развил теорию, которая приводит к величине такого порядка, но рано судить о том, насколько эта теория верна.

Нас вполне удовлетворяло в течение 10 или 15 лет представление об электроны, как о сферическом распределении заряда, возможно, с некоторой «обычной» массой. Однако в 1925 г. для объяснения некоторых неясностей в спектрах водорода и гелия Уленбек и Гоусмидт предположили, что электрон к тому же обладает магнитным моментом, и так как они понимали, что моментом должен обладать вращающийся сферический заряд, то высказали предположение о «вращающемся электроны». Вскоре после этого, в 1930 г., Дирак развил общую теорию, в которой объединялись релятивизм и волновая механика, и он смог объяснить тонкую структуру спектра, не постулируя специально понятие «вращающегося электрона». Вначале это выглядело, как если бы идея «вращающегося электрона» была неверна, но потом Дирак пришел к выводу, что согласно его теории электрон ведет себя так, как будто обладает магнитным моментом, поэтому и не было нужды постулировать это отдельно. Во всяком случае, он не может себя вести иначе.

Далее, интересно уделить внимание определению электронного заряда  $e$ , так как эта величина тесно связана с вычислениями атомных величин. Первые эксперименты были осуществлены Таунсендом в Кавендише в

1897 г., когда я уже был там. Он обнаружил конденсацию облачка на водороде, полученном при электролизе и пробулькивающим через воду. Оказалось, что это облачко заряжено, и Таунсенд следующим образом определил величину заряда одной капли. Вес всего облачка измерялся путем осаждения его и взвешивания на весах. Средний вес каждой капли определялся измерением скорости падения облачка на основе закона Стокса. Отсюда рассчитывалось число капель. Так как суммарный заряд, переносимый облачком, тоже мог быть измерен, то оказалось возможным определить величину заряда одной капли. Этот метод не дал точного значения заряда электрона, так как многие капли были многократно заряжены, но он интересен тем, что практически включал все идеи, которые в дальнейшем применялись при точных измерениях заряда.

В 1908–1913 гг. Дж. Дж. Томсон применил метод, при котором облачко образовывалось при расширении, и его вес определялся по известному коэффициенту расширения. Вильсон приложил электрическое поле, так что заряженные капли могли либо оставаться в равновесии, либо двигаться вниз или вверх. В 1908 г. Гейгер и я подсчитали число  $\alpha$ -частиц, испущенных определенным количеством ради я, а затем определили общий заряд, который они перенесли. Мы получили  $4,65 \cdot 10^{-10}$  эл.-стат. ед. значительно больше величины  $3,4 \cdot 10^{-10}$  эл.-стат. ед., выведенной Томсоном, но мы не считали наш метод вполне точным.

В этой связи забавную историю однажды рассказал мне Планк. Когда он впервые выдвинул свою квантовую теорию света, люди не очень охотно ей доверяли, отчасти потому, что согласно этой теории заряд электрода должен быть равен  $4,7 \cdot 10^{-10}$ , тогда как общепризнанной величиной считалась  $3,4 \cdot 10^{-10}$ . У самого Планка вызывало сомнение это противоречие но, когда Гейгер и я обнародовали величину  $4,65 \cdot 10^{-10}$ , Планк уверовал в справедливость собственной теории.

Величина заряда, как вы знаете, была точно измерена Милликеном между 1910 и 1917 гг. Сейчас имеются некоторые сомнения в том, действительно ли его результаты настолько точны, как это первоначально считалось, но я не хочу здесь разбирать этот вопрос.

Теперь я перехожу к очень интересному открытию последнего времени. Многие полагали, что в правильно построенной Вселенной должна быть определенная степень симметрии, и там, где имеется отрицательный электрон, должен иметься и положительный электрон такой же малой массы. Хотя положительный электрон часто искали, его не могли обнаружить до 1931 г.. В том году Андерсон в Калифорнии фотографировал следы космических частиц, прошедших через туманную камеру Вильсона. Камера находилась в сильном магнитном поле, и Андерсон обнаружил, что некоторые следы искривлены в одном направлении, а другие — в противоположном, т. е. одни были следами положительных частиц, а другие — отрицательных. Полученные другие данные свидетельствовали о том, что массы обеих частиц очень малы, порядка массы электрона. Андерсону удавалось очень редко получать фотографии этих следов, однако в 1933 г.

Блэкетт и Оккиалини в Кавендишской лаборатории разработали метод, при котором космические лучи, проходя через прибор, так сказать, «сами себя фотографировали». Благодаря этому методу стало возможным получать много фотографий следов положительных электронов, или «позитронов», как их теперь называют.

Блэкетт интерпретировал эти результаты на основе теории, развитой Дираком в 1931 г. В этой теории предполагалось существование положительных электронов, однако жизнь их должна быть очень короткой, ибо они соединяются с первым попавшимся отрицательным электроном, и это приводит к излучению энергии. В некотором смысле Дирак предсказал положительный электрон до его открытия, однако это предсказание не было явно высказано в теории. Как теория, так и эксперимент указывали на то, что при соответствующих условиях энергия очень коротковолнового излучения, подобная имеющейся, например, в космическом излучении, может исчезать и приводить к образованию пары электронов — одного положительного и одного отрицательного. Наиболее легко это происходит в сильном электрическом поле, окружающем тяжелые ядра, и возможно только в том случае, если квантовая энергия излучения превышает  $1 \text{ Мэв}$ , что эквивалентно массе электронной пары.

Теперь вернемся к рассмотрению вопроса об атомной структуре. В 1895 г. Ленард поставил свой известный опыт, в котором он направил электроны сквозь тонкое окно в разрядной трубке, в которой они образовывались, и так стало возможным наблюдать их вне трубки. Поскольку электроны могли легко проникать сквозь окно, он сделал вывод, что атомы окна должны иметь очень открытую структуру и между ними должны быть сравнительно большие промежутки. Он предположил, что в атомах должны быть сферы положительного электричества, связанные как-то с отрицательными зарядами. Год или два спустя Дж. Дж. Томсон детально разработал эту мысль и подсчитал, как отрицательные электроны будут распределены в сфере положительного заряда. Он сумел объяснить таким путем основной принцип периодической таблицы.

Поскольку мои личные интересы были тесно связаны со следующей стадией развития, то я изложу ее более подробно; мне хотелось бы использовать этот пример, чтобы показать, как часто вы натываетесь на факты случайно. Очень давно я наблюдал рассеяние  $\alpha$ -частиц, а Гейгер в моей лаборатории подробно его изучал. Он обнаружил, что на тонких листках тяжелых металлов рассеяние обычно невелико, порядка  $1^\circ$ . Однажды Гейгер пришел ко мне и сказал: «Не считаете ли Вы, что пора бы молодому Марсдену, которого я обучаю радиоактивным методам, начать небольшое исследование?» Я думал так же, а поэтому ответил: «Почему бы не поручить ему посмотреть, не могут ли некоторые  $\alpha$ -частицы рассеяться на большой угол?» Скажу вам по секрету, что я не предполагал, что они так могут рассеяться, поскольку известно было, что  $\alpha$ -частицы — это очень быстрые массивные частицы, обладающие чрезвычайно большой энергией. Можно убедиться, что если большое рассеяние есть результат накопления некоторого

числа малых рассеяний, то вероятность рассеяться назад для  $\alpha$ -частицы очень мала. Помню, что через 2 или 3 дня ко мне пришел весьма возбужденный Гейгер и сказал: «Нам удалось наблюдать  $\alpha$ -частицы, возвращающиеся назад...». Это было самым невероятным событием, которое мне пришлось пережить. Это было почти столь же невероятно, как если бы вы выстрелили 15-дюймовым снарядом в листок папиросной бумаги, а он вернулся бы назад и угодил бы в вас. Поразмыслив, я понял, что это обратное рассеяние должно быть результатом однократного столкновения а когда я произвел расчеты, то увидел, что невозможно получить величину того же порядка, разве что вы рассматриваете систему, в которой большая часть массы атома сконцентрирована в малом ядре. Вот именно тогда у меня родилось представление об атоме с малым массивным центром, несущим заряд. Я математически вычислил, какому закону должно подчиняться рассеяние, и нашел, что число частиц, рассеивающихся под данным углом, должно быть пропорционально толщине рассеивающей фольги, квадрату заряда ядра и обратно пропорционально четвертой степени скорости. Этот вывод в дальнейшем был проверен Гейгером и Марсденом в серии великолепных экспериментов.

Теперь давайте посмотрим, какие выводы можно было сделать на этом этапе. При рассмотрении вопроса о том, насколько близко к ядру может подойти  $\alpha$ -частица, чтобы рассеяться на угол  $90^\circ$ , я смог показать, что ядро должно иметь очень малые размеры. Я также оценил величину заряда и получил, что она должна быть примерно в 100 раз больше заряда электрона  $e$ . Точной оценки сделать было невозможно, но все указывало на то, что ядро водорода должно иметь заряд  $e$ , заряд гелия  $2e$  и т. д. Гейгер и Марсден исследовали рассеяние на различных элементах и установили, что степень рассеяния изменяется как квадрат атомного веса. Этот вывод был неточным, но вполне достаточным; он показывал, что заряд ядра приблизительно пропорционален атомному весу.

К тому времени в нашей лаборатории преобладало представление о том, что заряд и атомный номер связаны между собой, и как раз тогда Мозли начал свои знаменитые опыты с X-лучами. Он показал, что рентгеновские спектры элементов изменяются регулярно и одинаково при переходе от одного элемента к следующему, причем все рентгеновские спектры элементов подобны, но сдвигаются по частоте при переходе от элемента к элементу. Согласно ядерной теории, рентгеновский спектр предположительно связан с движением электронов близ ядра, и экспериментальные результаты Мозли приводила к выводу, что характеристики рентгеновских спектров элементов зависят от квадрата целого числа, которое изменяется на единицу при переходе от одного элемента к следующему. Мозли предположил, что атомный номер соответствует заряду ядра, и, начиная с алюминия 13, он смог объяснить свойства рентгеновских лучей, испускаемых элементами вплоть до золота; в 1932 г. ряд этот был расширен до урана.

Эта теория сразу же пока зала, каких элементов недостает в периодической таблице и куда следует обратить внимание для отыскания

новых элементов. Тогда стало ясно, что атомный вес, который химики считали раньше важнейшим показателем в периодической системе, должен быть заменен атомным номером и свойства всех элементов должны объясняться в зависимости от их номера. Существенный вопрос о тождественности атомного номера и заряда ядра был экспериментально проверен Чадвиком после войны.

Это ядерное представление сразу же в общем виде объясняет существование изотопов: ядерный заряд управляет расположением электронов, а оно, в свою очередь, определяет химические свойства. Таким образом, мы должны предположить, что изотопы — это вещества с тем же самым зарядом, но с другой массой ядра. Как известно, ли полностью подтверждено последующими работами Астона.

Теперь мы подошли к вопросу, с которым связано имя Нильса Бора: «Как расположены электроны во внешней части атома?» Я считаю первоначальную квантовую теорию спектра, выдвинутую Пиром, одной из наиболее революционных из всех когда-либо созданных в науке; и я не знаю другой теории, которая имела бы больший успех. Он был в то время в Манчестере и, твердо уверовав в ядерную структуру атома, которая твердо выяснилась в экспериментах по рассеянию, старался понять, как надо расположить электроны, чтобы получить известные спектры атомов. Основа его успеха лежит во внесении в теорию совершенно новых идей. Он внес в наши представления идею кванта действия, в также идею, чуждую классической физике, о том, что электрон может вращаться по орбите вокруг ядра, не испуская излучения. Выдвигая теорию ядерного строения атома, я вполне отдавал себе отчет в том, что согласно классической теории электроны должны падать на ядро, а Бор постулировал, что по некоторым неизвестным причинам этого не происходит, и на основе этого предположения он, как вы знаете, сумел объяснить происхождение спектров. Применяя вполне разумные допущения, он шаг за шагом решил вопрос о расположении электронов во всех атомах периодической таблицы. Здесь было много трудностей, так как распределение должно было соответствовать оптическим и рентгеновским спектрам элементов, но в конце концов Бор сумел предложить такое расположение электронов, которое показало смысл периодического закона,

В результате дальнейших усовершенствований главным образом внесенных самим Бором, и видоизменений, произведенных Гейзенбергом, Шредингером и Дираком, изменилась вся математическая теория, и были введены идеи волновой механики. Совершенно независимо от этих дальнейших усовершенствований и рассматриваю труды Бора как величайший триумф человеческой мысли.

Чтобы осознать значение его работ, следует рассмотреть хотя бы только необычайную сложность спектров элементов и представить себе, что в течение 10 лет все основные характеристики этих спектров были поняты и объяснены, так что теперь теория оптических спектров настолько завершена,

что многие считают это исчерпанным вопросом, подобно тому как это было несколько лет назад со звуком.

Теперь мы должны перейти к рассмотрению последующих идей о структуре самого ядра. В 1919 г. Я показал, что при бомбардировке  $\alpha$ -частицами легкие элементы могут разрушаться с испусканием протона, т. е. ядра водорода. Поэтому мы предположили, что протон должен быть одной из структурных единиц, из которых состоит ядра других атомов, а теоретики старались объяснить свойства ядра комбинациями протонов и отрицательных электронов. Однако очень трудно объединить медленный и тяжеловесный протон с легким и подвижным электроном в таком ограниченное пространстве, как ядро и, когда Чадвик открыл существование незаряженной частицы – нейтрона, этот вопрос нашел, по-видимому, свое теоретическое решение. Тогда стало возможным предположить, что ядра атомов состоит из комбинации протонов и нейтронов, так что, например, кислород с зарядом 8 и массой 16 обладает 8 протонами и 8 нейтронами. Это была очень простая идея, значение которой состояло в том, что составляющие ядро частицы обладали одинаковой массой. Однако встал вопрос, как объяснить тот факт, что отрицательный электрон часто вылетает из ядра при радиоактивных превращениях и что положительный электрон проявляется при некоторых искусственных превращениях? В ответ на это теоретики предположили, что в ограниченном пространстве ядра, где силы взаимодействия между частицами огромны, протоны превращаются в нейтроны, и наоборот, Например, если нейтрон теряет отрицательный электрон, он переходит в протон, а если протон теряет положительный электрон, он становится нейтроном, так что в первом случае может испускаться отрицательная частица, а во втором — положительная. Электроны и позитроны не существуют в свободном состоянии в ядре, они связаны с нейтроном или протоном в зависимости от обстоятельств и могут высвободиться лишь при определенных условиях, когда происходят большие изменения энергии внутри ядра.

Я попытался дать общую характеристику тех основных представлений, с которых мы начали исследование этой проблемы 40 лет назад, а также того пути, по которому эти представления развивались. Я старался также показать, что никто не делает внезапных открытий. Наука продвигается вперед шаг за шагом, и труд любого человека зависит от труда его предшественников. Если до вас дошел слух о внезапном, неожиданном открытии, как говорится, гром среди ясного неба, можете быть уверены, что оно созрело в результате влияния одних людей на других, и именно это взаимное влияние открывает необычайные возможности прогресса науки. Успех ученых зависит не от идей отдельного человека, а от объединенной мудрости многих тысяч людей, размышляющих над одной и той же проблемой, и каждый вносит свою небольшую лепту в великое здание знания, которое постепенно воздвигается.

*Background to Modern Science, Cambridge, 1940, p. 47–74*