

Э. Резерфорд

Избранные научные труды

**Строение атома и искусственное превращение
элементов**

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 53
ББК 22.3
Э1

Э1 **Э. Резерфорд**
Избранные научные труды: Строение атома и искусственное превращение элементов / Э. Резерфорд – М.: Книга по Требованию, 2023. – 536 с.

ISBN 978-5-458-32881-4

В 1971 г. мировая научная общественность отмечала 100-летие со дня рождения Эрнеста Резерфорда и 75 лет со дня открытия радиоактивности. К этой дате приурочено издание «Избранных научных трудов» Э. Резерфорда, первая часть которых под названием «Радиоактивность» вышла ко дню юбилея. Настоящая книга — это вторая часть «Избранных научных трудов» великого ученого. В нее включены работы по строению атома и искусственноому превращению элементов. Эти исследования в основном были проведены Резерфордом в Манчестерском университете, а затем продолжены в Кембридже. Из публичных выступлений Резерфорда в издание включены Нобелевская лекция (1908 г.), выступление в Ливерпуле при вступлении на пост Президента Британской ассоциации (1909 г.), Бейкерянская лекция (1920 г.), речь, произнесенная в 1929 г., когда Резерфорд был Президентом Королевского общества (с 1926 по 1930 г.), а также последнее выступление ученого — лекции «Современная алхимия» и «40 лет в развитии физики». В конце книги помещена статья о научной деятельности Э. Резерфорда, которую для настоящего издания написал академик П. Л. Капица, а также его воспоминания о великом ученом.

ISBN 978-5-458-32881-4

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2023
© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2023

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригиналe, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1971 г. мировая научная общественность отмечала 100-летие со дня рождения Эрнеста Резерфорда и 75 лет со дня открытия радиоактивности. К этой дате приурочено издание «Избранных научных трудов» Э. Резерфорда, первая часть которых под названием «Радиоактивность» вышла ко дню юбилея.

Настоящая книга — это вторая часть «Избранных научных трудов» великого ученого. В нее включены работы по строению атома и искусственноному превращению элементов. Эти исследования в основном были проведены Резерфордом в Манчестерском университете, а затем продолжены в Кембридже. В книгу вошли также работы по выяснению природы α -частицы, проведенные Резерфордом в Монреале (Канада). Они послужили как бы завершением 10-летней работы над проблемой радиоактивности, за решение которой он был удостоен Нобелевской премии в 1908 г. Из публичных выступлений Резерфорда в издание включены Нобелевская лекция (1908 г.), выступление в Ливерпуле при вступлении на пост Президента Британской ассоциации (1909 г.), Бейкерианская лекция (1920 г.), речь, произнесенная в 1929 г., когда Резерфорд был Президентом Королевского общества (с 1926 по 1930 г.), а также последние выступления ученого — лекции «Современная алхимия» и «40 лет в развитии физики». В конце книги помещена статья о научной деятельности Э. Резерфорда, которую для настоящего издания написал академик П. Л. Капица, а также его воспоминания о великом ученом.

Глубочайшее уважение к личности Эрнеста Резерфорда и широкий интерес к его трудам и достижениям особенно ярко проявились в дни празднования в нашей стране его 100-летнего юбилея.

Труды Резерфорда позволяют как бы проникнуть в творческую лабораторию ученого и увидеть процесс научного творчества с неизбежными

трудностями, надеждами и достижениями. С другой стороны, как отметил П. Л. Капица в своем вступительном слове на юбилейном резерфордовском коллоквиуме, «изучение ранних работ такого большого ученого, как Резерфорд, ... имеет большой интерес, так как показывает генезис его творческих качеств. Эти работы теперь почти забыты, поскольку методы, которыми они были сделаны, теперь устарели и количественные результаты теперь во много раз точнее. Но какой важный материал они дают, чтобы видеть, как проявлялся творческий гений Резерфорда!»

Г. Н. Флёров, Ю. М. Ципенюк

СУЩЕСТВОВАНИЕ ТЕЛ МЕНЬШЕ АТОМОВ *¹

За последние несколько лет получено довольно много данных о появлении при различных условиях тел, которые ведут себя так, как будто их масса составляет лишь малую часть массы химического атома водорода. Насколько известно в настоящее время, эти малые частицы всегда связаны с отрицательным электрическим зарядом. Поэтому их назвали «электронами». Независимо от того, каким путем их получили, они всегда имеют одинаковый заряд, равный, по-видимому, заряду, переносимому ионом водорода при электролизе воды.

Мы сделаем краткий исторический обзор развития наших знаний в этой области, которые, весьма возможно, в ближайшем будущем коренным образом изменят наши взгляды на строение вещества.

Фарадей показал, что при прохождении тока через проводящий раствор количество вещества, отложенное или выделенное на электродах, зависит только от количества электричества, которое прошло через раствор. Количества вещества, отложенные на электродах при прохождении единицы электричества в различных растворах, химически эквивалентны друг другу. Сейчас принято считать, что прохождение тока через раствор обусловлено движением заряженных носителей, или ионов. В электрическом поле отрицательные ионы перемещаются к положительному электроду, а положительные — к отрицательному.

Вес водорода W , выделившегося при прохождении Q кулонов электричества, определяется выражением

$$W = ZQ,$$

где $Z = 10^{-4}$ — вес водорода, выделившегося при прохождении одной электромагнитной единицы электричества.

* Trans. Roy. Soc. Canada, 1902, ser. III, 8, 79—86.

¹ Краткое изложение доклада, зачитанного на 3-й сессии Королевского общества Канады, где обсуждалось доказательство существования частиц, размеры которых меньше атома. Эксперименты, иллюстрирующие положения теории, любезно продемонстрированы собранию Мак-Леннаном из университета Торонто.

Пусть e — заряд иона; m — масса каждого иона; n — число ионов водорода, составляющих вес W . Тогда

$$W = nm,$$

$$Q = ne.$$

Следовательно,

$$\frac{e}{m} = \frac{Q}{W} = \frac{1}{Z} = 10^4.$$

Это число выражает отношение заряда иона к его массе в электромагнитной системе единиц.

До настоящего времени не делалось никаких предположений об истинных значениях заряда и массы иона. Грубую оценку значений этих величин можно получить на основе кинетической теории газов, но, как мы увидим позже, это базируется не на истинном значении массы, а только на отношении e/m .

Вильям Крукс первый привлек внимание к замечательному явлению, которое возникает при электрическом разряде в тщательно откаченной трубке. Когда давление газа в трубке ниже некоторого определенного, из катода испускается особый сорт лучей. Эти «катодные» лучи распространяются прямолинейно и вызывают яркое фосфоресцирующее свечение на стенках трубы, а также на многих веществах, поставленных на их пути. Крукс показал, что траекторию этих лучей можно искривить магнитом. С помощью сильного магнитного поля можно заставить эти лучи выписывать спирали вокруг направления линий магнитного поля. Крукс установил, что лучи оказывают сильное тепловое действие при соударении и значительное механическое давление на лопасти, помещенные на их пути.

Для объяснения этих явлений долгое время имели хождение две конкурирующие теории. Немецкая школа физиков считала, что катодные лучи представляют собой какие-то волны эфира. Английская точка зрения, выраженная Круксом, заключалась в том, что в действительности это выбрасываемые частицы, перемещающиеся с огромной скоростью. Последняя точка зрения позволяла просто объяснить большинство эффектов, наблюдавшихся Круксом. Фосфоресценция, нагрев и механические явления были обусловлены бомбардировкой материальными частицами, вырываемыми из катода сильным электрическим полем. Искривление траектории лучей магнитным полем объяснялось тем, что движущийся заряд ведет себя как ток. Наличие двух соперничающих теорий стимулировало большое число исследований разряда в вакуумных трубках.

Герц пытался установить, отклоняются ли лучи сильным электрическим полем, но не смог получить какого-либо определенного результата. В 1895 г. Ленард показал, что катодные лучи способны проходить через тонкие окна из стекла и слюды или через металлическую фольгу. Таким способом ему удалось исследовать катодные лучи вне вакуумной трубки.

Он доказал, что поглощение лучей веществом не зависит от его химического состава, а только от его плотности. Это справедливо независимо от того, в каком состоянии находится вещество — в твердом, жидком или газообразном. Результаты по поглощению катодных лучей и тот факт, что они могут проходить через твердое вещество, заставили сделать вывод, что если эти частицы представляют собой испускаемые материальные частицы, то они должны быть так малы, чтобы проходить через «поры» вещества, или, другими словами, в отношении этих частиц вещество должно весить себя, как грубое сито.

В 1895 г. Перрен показал, что лучи переносят с собой отрицательный заряд. Это был веский аргумент в поддержку гипотезы Крукса.

Открытие рентгеновских лучей весьма стимулировало исследования разряда в вакуумных трубках. Было найдено, что рентгеновские лучи способны создавать заряженные носители, или ионы, в газе, через который они проходят, а это делало вероятным предположение, что подобные носители существуют и в вакуумной трубке.

Опыты, проведенные Дж. Дж. Томсоном, очень много дали для выяснения природы катодных лучей и заложили основу всей будущей работы по этому вопросу. Он обнаружил, что лучи представляют собой отрицательно заряженные частицы, перемещающиеся с огромной скоростью, причем их размеры, вероятно, малы по сравнению с молекулой.

Эти результаты получены из опыта следующим образом.

Пусть e — заряд частицы катодных лучей; m — масса частицы; v — скорость частицы; n — число частиц в отдельном разряде.

Механическая энергия одной частицы выражается как $\frac{1}{2} mv^2$ и при ударе частицы о металлическую поверхность большей частью переходит в тепло. Энергия W в отдельном разряде измерялась по повышению температуры специально сконструированной термопары при попадании на нее катодных лучей. Следовательно, $W = \frac{1}{2} ntv^2$. Количество электричества $Q = ne$, переносимое отдельным разрядом, измерялось электрометром.

Разделив второе выражение на первое, получаем

$$\frac{e}{m} = \frac{Qv^2}{2W}.$$

Другое соотношение между e , m и v получается из наблюдения кривизны ρ траектории лучей, когда перпендикулярно направлению лучей прикладывается однородное магнитное поле H . Заряд e , двигаясь со скоростью v , ведет себя, как ток силы ev . Сила, действующая на частицы со стороны магнитного поля, равна Hev и перпендикулярна как направлению поля, так и направлению лучей. Под действием этой силы лучи вынуждены двигаться по искривленной траектории. Из динамики известно, что сила, которая заставляет тело двигаться по окружности радиуса ρ , выражается как mv^2/ρ и равна приложенной силе Hev .

Следовательно,

$$Hev = \frac{mv^2}{\rho}, \text{ или } \frac{e}{m} = \frac{v}{H\rho}.$$

Мы уже показали, что

$$\frac{e}{m} = \frac{Qv^2}{2W}.$$

Из этих двух уравнений получаем

$$v = \frac{2W}{\rho HQ} \text{ и } \frac{e}{m} = \frac{2W}{\rho^2 H^2 Q}.$$

Подставляя численные значения H , e и Q , приближенно получаем

$$\frac{e}{m} = 10^7 \text{ и } v = 10^{10} \text{ см/сек.}$$

Таким образом, мы установили для исследуемых частиц значение e/m почти в 1000 раз больше, чем то же самое отношение, полученное для водорода при электролизе воды. Если заряды в обоих случаях одинаковые, то масса носителей в катодных лучах составляет только $1/1000$ часть массы атома водорода. Скорость этих частиц очень велика — сравнима со скоростью света — и гораздо больше любой скорости вещества, ранее наблюдавшейся в физике.

Теория, из которой выведены эти результаты, вероятно, может вызвать возражения, но полученные значения подтверждены другим независимым способом.

Если лучи представляют собой заряженные частицы, то их траектории должны меняться при прохождении через электростатическое поле. Герц получил отрицательные результаты, однако Дж. Дж. Томсон, изменив экспериментальные условия, сумел показать, что лучи отклоняются и что неудача Герца объясняется маскирующим влиянием проводящего газа, через который двигались частицы. Электростатическое отклонение позволило Томсону простым методом измерить скорость частиц и отношение e/m . Лучи пропускались между пластинами заряженного конденсатора в присутствии магнитного поля. Сила и направление поля были выбраны таким образом, чтобы траектория лучей не искривлялась. По данным такого эксперимента было найдено, что значения скорости и отношения e/m те же, что и определенные первым способом.

Дж. Дж. Томсон нашел также, что отношение e/m не зависит от природы газа в вакуумной трубке и что из различных веществ, по-видимому, возникают частицы одного и того же размера. Однако этот результат, возможно, объясняется тем, что во всех случаях разряд переносится водяным паром, следы которого всегда имеются в вакуумных трубках.

Таким образом, теория испускания катодных лучей получила полное подтверждение, и важность этой работы была сразу признана континентальными физиками.

Ряд опытов проделали де Кудр, Ленард, Кауфман и другие, которые подтвердили и расширили результаты Томсона.

Однако всегда оставалось сомнение, что теория, из которой выводятся результаты, быть может, неприменима и в действительности частицы не имеют такой огромной скорости.

Это последнее сомнение полностью устранил Вихерт, показав с помощью непосредственного измерения времени, необходимого, чтобы лучи прошли от одной точки до другой, что скорость частиц одного порядка с полученной предыдущими исследователями уже описанными методами. На основании предположений кинетической теории Таунсенд установил, что заряд иона в газе и иона в электролите один и тот же. Дж. Дж. Томсону удалось блестящим методом определить действительное значение заряда и доказать, что этот заряд один и тот же независимо от того, в каком газе возникает ион. Он определил также отношение e/m для электронов, возникающих в двух других случаях. После работы Герца об электрических волнах было известно, что с чистой поверхности металла под действием ультрафиолетового света стекают отрицательные заряды. Каким-то образом ультрафиолетовый свет создает отрицательно заряженные ионы на поверхности металлической пластины. При атмосферном давлении эти ионы равны по размерам ионам, создаваемым в газе рентгеновскими или беккерелевыми лучами, но показано, что при низких давлениях они подобны катодным лучам. Наблюдая отклонение этих ионов магнитным полем при их движении в сильном электрическом поле, Дж. Дж. Томсон показал, что отношение e/m для этих носителей то же, что и для катодных лучей, созданных в вакуумной трубке. Таким же образом он показал, что и для отрицательных частиц, испускаемых угольной нитью лампы накаливания, получается то же самое отношение e/m .

Итак, мы видим, что «электроны», возникающие при самых разнообразных условиях, все одного и того же размера, а их масса составляет около $1/1000$ массы атома водорода.

До сих пор мы рассматривали электроны, созданные посредством света, тепла и электрического разряда, однако имеется очень веское доказательство, что такие электроны всегда присутствуют в веществе и в некоторых условиях могут проявлять свое присутствие.

В 1896 г. Зеeman открыл, что яркие линии в спектрах многих веществ смещаются под действием сильного магнитного поля, приложенного к источнику света. Позднее эксперименты показали, что при определенных условиях одна из *D*-линий натрия, например, преобразуется под действием магнитного поля в триплет. При этом свет этих линий поляризован определенным образом. Эти результаты служили прямым подтверждением теории, развитой Лоренцом, который предполагал, что свет обусловлен вращением или колебанием электронов в молекуле. Уравнения, описывающие зависимость длины волны света от магнитного поля, включают отношение e/m . Из изменения длины волны световых колебаний можно вывести величину этого отношения. Было еще раз обнаружено, что значе-

ние e/m составляет около 10^7 . Это показывает, что свет, по всей вероятности, вызывается вращением или колебанием электронов в молекуле и что масса электрона гораздо меньше массы самого атома. Эти электроны не только действительно присутствуют в веществе, но в некоторых случаях самопроизвольно испускаются из него.

Беккерель показал, что радиоактивные вещества — уран и радий — испускают лучи, отклоняемые магнитным полем. Автор недавно обнаружил, что торий — другое постоянное радиоактивное вещество — обладает тем же свойством. Было найдено, что эти лучи во всех отношениях аналогичны быстрым катодным лучам — они отклоняются магнитным и электрическим полями и переносят отрицательный заряд. Беккерель показал также, что частицы движутся со скоростью, не очень отличающейся от скорости света, а отношение e/m равно примерно 10^7 .

Многие электроны, испускаемые радиоактивными веществами, имеют гораздо большую скорость, чем катодные лучи в вакуумной трубке. Наивысшая скорость, наблюдалась для последних, составляет около трети скорости света, тогда как Кауфман недавно обнаружил, что скорость некоторых электронов, испускаемых радием, составляет около 95% скорости света.

Эксперименты со столь быстрыми носителями сейчас чрезвычайно важны, ибо они должны пролить некоторый свет на вопрос, какова же масса электрона — кажущаяся или реальная. По существующей электромагнитной теории кажущаяся масса быстро движущегося заряженного тела с возрастанием скорости увеличивается. Если бы носители перемещались со скоростью света, кажущаяся масса была бы бесконечной. Еще не решено, какая часть кажущейся массы по своей природе электрическая. Возможно, окажется, что вся масса электрона в целом имеет электрическое происхождение. Если это так на самом деле (а это не кажется невероятным)¹, то это послужит очень сильным аргументом в поддержку того взгляда, что всякая масса имеет электрический характер.

Таким образом, оказывается, что электроны, созданные электрическим разрядом, накаленной угольной нитью, ультрафиолетовым светом, а также электроны, присутствующие в раскаленных парах натрия или самопроизвольно испускаемые радиоактивными веществами, все одинаково имеют одно и то же отношение e/m . Поскольку заряды в каждом случае одни и те же, должны быть одними и теми же массы электронов, созданных столь различными способами. Оказывается, что электрон — это наименьшая известная нам конечная единица массы. Выдвинута точка зрения, что все вещество состоит из электронов. С этой точки зрения атом водорода, например, очень сложная структура, состоящая, возможно, из

¹ За последний месяц Кауфман и Абрагам опубликовали важные результаты, относящиеся к этому вопросу. Кауфман показал, что кажущаяся масса электрона возрастает с увеличением скорости именно так, как предсказывает электромагнитная теория. Он вывел, что кажущийся диаметр электрона равен 10^{-13} см и что его масса по своей природе, вероятно, целиком электромагнитна.

тысячи или более электронов. Различные элементы различаются числом и расположением электронов, которые составляют атом. Следовательно, мы имеем разновидность модифицированной гипотезы Проута, по которой электроны — это элементарные частицы, из которых состоит все вещество.

Физическое существование электронов в настоящее время признано многими учеными, и большое число выдающихся физиков математически развивает логические результаты этой идеи. Мне следует упомянуть только нескольких из наиболее выдающихся ученых: Друде, Фогт, Рике (в Германии), Лоренц и Зееман (в Голландии), Пуанкаре и Беккерель (во Франции), Дж. Дж. Томсон, Шустер, Лодж и лорд Кельвин (в Англии), — чтобы показать, что эта точка зрения поддерживается талантливейшими физиками.

Точка зрения, по которой атом представляет собой сложную совокупность, а не простую сущность, как сначала предполагалось, ни в коем случае не подрывает основу химической теории. Все, что нам следует предположить, — это то, что химический атом есть наименьшее количество вещества, которое принимает участие в химических соединениях, и что удаление электрона есть субатомное изменение, полностью отличное от обычной химической реакции, хотя химическая реакция может в некоторых случаях сопровождаться эмиссией электронов.

Имеются и другие весьма веские доказательства сложной структуры атомов элементов, основанные на отличных от обсуждаемых в этой статье точках зрения. Необычайно сложный спектр элементов с большим атомным весом сам по себе служит сильной поддержкой той точки зрения, что атом представляет собой очень сложную структуру.

ЗАРЯД, ПЕРЕНОСИМЫЙ α - И β -ЛУЧАМИ РАДИЯ*

В Бейкерианской лекции [1] я привел описание некоторых экспериментов по измерению заряда, переносимого α -лучами, проведенных с целью определения числа α -частиц, испускаемых в 1 сек данной массой радия. Применяемый метод ясен из рис. 1. Определенное малое количество чистого бромида радия было растворено в воде, раствор наносился однородным слоем на металлическую пластину A , а затем высушивался. В процессе растворения и выпаривания высвобождается эманация радия и примерно через 3 час возбужденная активность практически исчезает, а активность, измеренная по α -лучам, уменьшается до $1/4$ своего равновесного

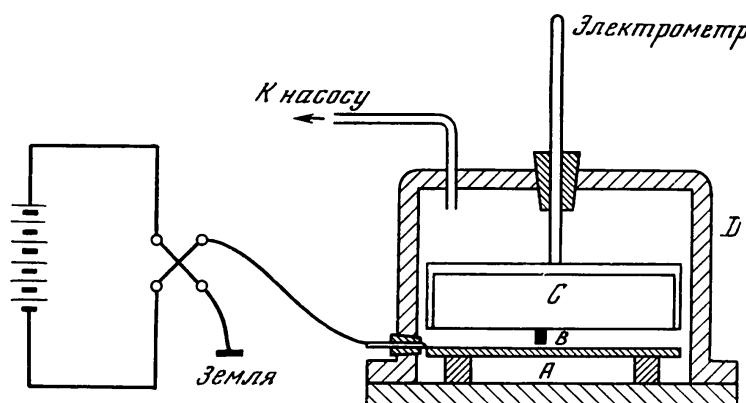


Рис. 1

значения. Чтобы избежать возможного усложнения опыта присутствием β -лучей, эксперименты проводились с радием, величина активности которого по возможности была ближе к этому минимальному значению. Через 3 час после извлечения эманации β -лучи практически исчезают; β -активность постепенно восстанавливается и примерно за 4 дня возрастает до половины максимального значения.

Вторая изолированная пластина B устанавливалась параллельно нижней пластине A на расстоянии нескольких миллиметров от нее. Пластины

* Philos. Mag., 1905, August, ser. 6, X, 193—208. Краткое описание результатов, вошедших в эту статью, было опубликовано в письме в «Nature» 2 марта 1905 г.