

Гипотеза Планка о квантах

В 1900 году Макс Планк пришел к выводу, что процессы излучения и поглощения электромагнитной энергии нагретым телом или атомом происходят не непрерывно, как это принимала классическая физика, а конечными порциями — квантами.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Квант — минимальная порция энергии, излучаемой или поглощаемой телом.

По теории Планка, энергия кванта E прямо пропорциональна частоте ν света:

$$E = h\nu,$$

где h — так называемая постоянная Планка ($h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с).



Постоянная Планка — это универсальная константа, которая в квантовой физике играет ту же роль, что и скорость света в СТО.

Если λ — длина волны кванта электромагнитного излучения (света), то

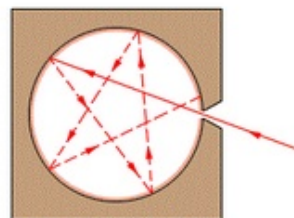
$$\nu = \frac{c}{\lambda},$$

где c — скорость электромагнитных волн (света) этого излучения.

Выходит, что энергия кванта:

$$E = \frac{hc}{\lambda}.$$

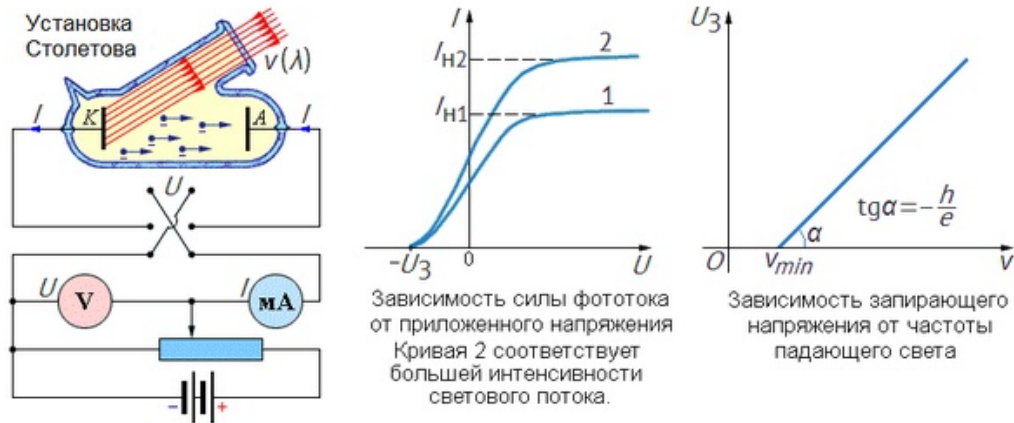
На основе гипотезы о прерывистом характере процессов излучения и поглощения телами электромагнитного излучения Макс Планк получил формулу для спектральной светимости абсолютно черного тела. Формула Планка хорошо описывает спектральное распределение излучения черного тела при любых частотах. Она прекрасно согласуется с экспериментальными данными. Из формулы Планка можно вывести законы Стефана-Больцмана и Вина. Решение проблемы излучения черного тела ознаменовало начало новой эры в физике.



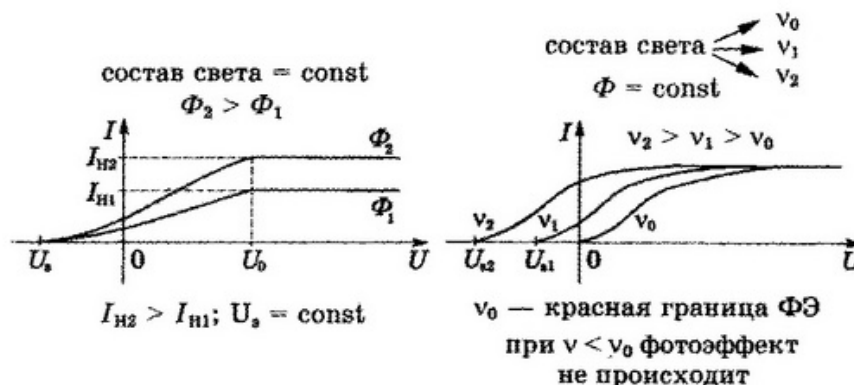
Модель абсолютно-чёрного тела (АЧТ)

Фотоэффект

Фотоэлектрический эффект был открыт в 1887 году немецким физиком Г. Герцем и в 1888–1890 годах экспериментально исследован А. Г. Столетовым. Наиболее полное исследование явления фотоэффекта было выполнено Ф. Ленардом в 1900 году. К этому времени уже был открыт электрон (1897 год, Дж. Томсон), и стало ясно, что **фотоэффект** (точнее, внешний фотоэффект) — явление вырывания электронов из вещества под действием падающего на него света.



В экспериментах использовался стеклянный вакуумный баллон (фотоэлемент) с двумя металлическими электродами, поверхность которых была тщательно очищена. К электродам прикладывалось некоторое напряжение U , полярность которого можно было изменять с помощью двойного ключа. Один из электродов (катод K) через кварцевое окошко освещался монохроматическим светом частотой ν (длины волны λ). При неизменном световом потоке Φ снималась зависимость силы фототока I от приложенного напряжения U . На рисунке изображены типичные кривые такой зависимости, полученные при двух значениях интенсивности светового потока ($\Phi_2 > \Phi_1$), падающего на катод. Кривые показывают, что при достаточно больших положительных напряжениях на аноде A фототок достигает насыщения, так как все электроны, вырванные светом из катода, достигают анода. Тщательные измерения показали, что ток насыщения I_H прямо пропорционален интенсивности Φ падающего света. Когда напряжение на аноде отрицательно, электрическое поле между катодом и анодом тормозит электроны. Анода могут достичь только те электроны, кинетическая энергия которых превышает $|e \cdot U|$. Если напряжение на аноде меньше, чем $-U_3$ фототок прекращается. Измеряя U_3 можно определить максимальную кинетическую энергию фотоэлектронов: $\frac{mV_{max}^2}{2} = eU_3$. К удивлению ученых, величина U_3 оказалась не зависящей от интенсивности падающего светового потока. Тщательные измерения показали, что запирающий потенциал линейно возрастает с увеличением частоты ν света.



Многочисленными экспериментаторами были установлены **четыре закона фотоэффекта**:

1. Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с увеличением частоты света ν и не зависит от его интенсивности.
2. Для каждого вещества существует так называемая *красная граница фотоэффекта*, т. е. наименьшая частота $\nu_{\min}$, при которой еще возможен внешний фотоэффект.
3. Число фотоэлектронов, вырываемых светом из катода за 1 с, прямо пропорционально интенсивности света.
4. Фотоэффект практически безынерционен, фототок возникает мгновенно после начала освещения катода, при условии что частота света $\nu > \nu_{\min}$.

Все эти закономерности фотоэффекта в корне противоречили представлениям классической физики о взаимодействии света с веществом. Согласно волновым представлениям, при взаимодействии с электромагнитной световой волной электрон должен был бы постепенно накапливать энергию, и потребовалось бы значительное время, зависящее от интенсивности света, чтобы электрон накопил достаточно энергии для того, чтобы вылететь из катода. Как показывают расчеты, это время должно было бы исчисляться минутами или часами. Однако опыт показывает, что фотоэлектроны появляются немедленно после начала освещения катода. В этой модели также было невозможно понять существование красной границы фотоэффекта. Волновая теория света не могла объяснить независимость энергии фотоэлектронов от интенсивности светового потока и пропорциональность максимальной кинетической энергии частоте света.

Таким образом, электромагнитная теория света оказалась неспособной объяснить эти закономерности.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта

Теоретическое объяснение наблюдаемых закономерностей фотоэффекта было дано Эйнштейном в 1905 году на основе гипотезы М. Планка о том, что свет излучается и поглощается определенными порциями, причем энергия каждой такой порции определяется формулой $E = h\nu$, где h — постоянная Планка. Эйнштейн сделал следующий шаг в развитии квантовых представлений. Он пришел к выводу, что свет имеет прерывистую (дискретную) структуру. Электромагнитная волна состоит из отдельных порций — *квантов*, впоследствии названных *фотонами*. При взаимодействии с веществом фотон целиком передает всю свою энергию $h\nu$ одному электрону. Часть этой энергии электрон может рассеять при столкновениях с атомами вещества. Кроме того, часть энергии электрона затрачивается на преодоление потенциального барьера на границе металл — вакуум. Для этого электрон должен совершить *работу выхода* $A_{\text{вых}}$ зависящую от свойств материала катода. Наибольшая кинетическая энергия, которую может иметь вылетевший из катода фотоэлектрон, определяется законом сохранения энергии:

$$E = h\nu = A_{\text{вых}} + K_{\text{max}}, \text{ где } K_{\text{max}} = \frac{mV_{\text{max}}^2}{2}.$$

Эту формулу принято называть **уравнением Эйнштейна для фотоэффекта**.

С помощью уравнения Эйнштейна можно объяснить все закономерности внешнего фотоэффекта. Из уравнения Эйнштейна следуют линейная зависимость максимальной кинетической энергии от частоты и независимость от интенсивности света, существование красной границы, безынерционность фотоэффекта. Общее число фотоэлектронов, покидающих за 1 с поверхность катода, должно быть пропорционально числу фотонов, падающих за то же время на поверхность. Из этого следует, что ток насыщения должен быть прямо пропорционален интенсивности светового потока.

Как следует из уравнения Эйнштейна, тангенс угла наклона прямой, выражающей зависимость запирающего потенциала U_3 от частоты ν , равен отношению постоянной Планка h к заряду электрона e : $\operatorname{tg} \alpha = -\frac{h}{e}$. Это позволяет экспериментально определить значение постоянной Планка. Такие измерения были выполнены в 1914 году Р. Милликеном и дали хорошее согласие со значением, найденным Планком. Эти измерения позволили также определить работу выхода $A_{\text{вых}}$

$$A_{\text{вых}} = h\nu_{\min} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}},$$

где c — скорость света в вакууме, $\lambda_{\text{кр}}$ — длина волны, соответствующая красной границе фотоэффекта. У большинства металлов работа выхода $A_{\text{вых}}$ составляет несколько электрон-вольт ($1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$).

Среди металлов наименьшей работой выхода обладают щелочные элементы. Например, у натрия $A_{\text{вых}} = 1,9 \text{ эВ}$ что соответствует красной границе фотоэффекта $\lambda_{\text{кр}} \approx 680 \text{ нм}$. Поэтому соединения щелочных металлов используют для создания катодов в фотоэлементах, предназначенных для регистрации видимого света.

Фотоны: энергия и импульс фотона

Законы фотоэффекта свидетельствуют, что свет при испускании и поглощении ведет себя подобно потоку частиц, получивших название *фотонов*, или *световых квантов*.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Фотон (обозначение γ) — элементарная частица, квант электромагнитного излучения.

При испускании и поглощении свет ведет себя подобно потоку частиц с энергией, зависящей от частоты ν :

$$E = h\nu,$$

где h — постоянная Планка. Эти свойства света были названы *корпускулярными*, а сама частица — *фотоном*.

Фотон движется в вакууме со скоростью c . Фотон не имеет массы, то есть $m = 0$. Из общего соотношения специальной теории относительности, связывающего энергию E , импульс p и массу m любой частицы, $E^2 = (mc^2)^2 + (pc)^2$ следует, что фотон обладает импульсом:

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

Таким образом, учение о свете, совершив виток длительностью в два столетия, вновь возвратилось к представлениям о световых частицах — *корпускулах*.

Но это не был механический возврат к корпускулярной теории Ньютона. В начале XX века стало ясно, что свет обладает двойственной природой. При распространении света проявляются его волновые свойства (интерференция, дифракция, поляризация), а при взаимодействии с веществом – корпускулярные (фотоэффект). Эта двойственная природа света получила название *корпускулярно-волнового дуализма*. Позже двойственная природа была открыта у электронов и других элементарных частиц. Классическая физика не может дать наглядной модели сочетания волновых и корпускулярных свойств у микрообъектов. Движением микрообъектов управляют не законы классической механики Ньютона, а законы квантовой механики.

Гипотеза де Бройля о волновых свойствах частиц

ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Корпускулярно-волновой дуализм (от лат. *dualis* — двойственный) — важнейшее универсальное свойство природы, заключающееся в том, что всем микрообъектам присущи одновременно и корпускулярные, и волновые характеристики.

Так, например, электрон, нейтрон, фотон в одних условиях проявляют себя как частицы, движущиеся по классическим траекториям и обладающие определенной энергией и импульсом, а в других обнаруживают свою волновую природу, характерную для явлений интерференции и дифракции частиц.

Впервые корпускулярно-волновой дуализм был установлен для света. Распространение света в виде потока фотонов и квантовый характер взаимодействия света с веществом подтверждены в многочисленных экспериментах. Однако целый ряд оптических явлений (поляризация, интерференция, дифракция) неопровержимо свидетельствует о волновых свойствах света.

Классическая физика всегда четко разграничивала объекты, имеющие волновую природу (например, свет и звук), и объекты, имеющие дискретную, корпускулярную структуру (например, системы материальных точек). Одно из наиболее значительных достижений современной физики — убеждение в ошибочности противопоставления волновых и квантовых свойств света. Рассматривая свет как поток фотонов, а фотоны как кванты электромагнитного излучения, обладающие одновременно и волновыми, и корпускулярными свойствами, современная физика смогла объединить, казалось бы, непримиримые теории — волновую и корпускулярную. В результате возникло представление о корпускулярно-волновом дуализме, лежащее в основе современной физики (корпускулярно-волновой дуализм является первичным принципом квантовой механики и квантовой теории поля).

Квант света — это не волна и не корпускула в понимании Ньютона. Фотоны — особые микрочастицы, энергия и импульс которых (в отличие от обычных материальных точек) выражаются через материальные характеристики — частоту и длину волны.

Квант света — это не волна и не корпускула в понимании Ньютона. Фотоны — особые микрочастицы, энергия и импульс которых (в отличие от обычных материальных точек) выражаются через материальные характеристики — частоту и длину волны.



В 1924 году французский ученый Луи де Бройль высказал гипотезу о том, что корпускулярно-волновой дуализм присущ всем без исключения видам материи (электронам, протонам, атомам), причем количественные соотношения между волновыми и корпускулярными свойствами частиц те же, что и установленные ранее для фотонов. То есть если частица имеет энергию E и импульс p , то с этой частицей связана волна частотой

$$\nu = \frac{E}{h}$$

и длиной (длиной волны де Бройля)

$$\lambda = \frac{h}{p}.$$

Это знаменитая *формула де Бройля* — одна из основных в физике микромира. Стоит отметить, что длина волны де Бройля тем меньше, чем больше масса частицы m и ее скорость V . Для частиц с $V \ll c$ выполняется

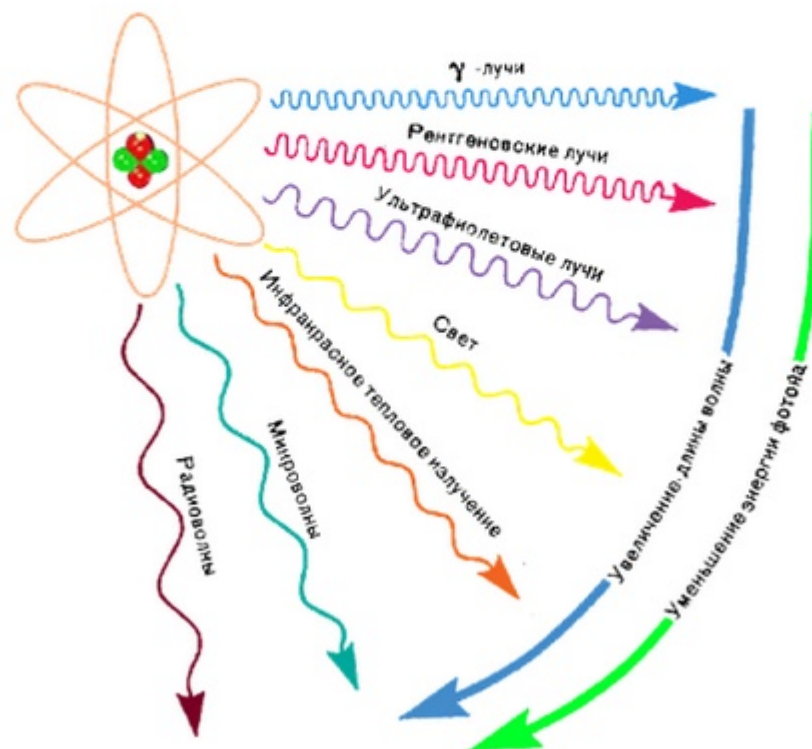
$$\lambda = \frac{h}{mV}.$$

Так, частице массой 1 г, движущейся со скоростью 1 м/с, соответствует волна де Бройля длиной 10^{-18} ангстрем, настолько малой, что это недоступно наблюдателю. Поэтому волновые свойства несущественны в механике макроскопических тел, что полностью отвечает принципу соответствия.

Первое экспериментальное подтверждение гипотезы де Бройля было получено в 1927 году американскими физиками Клинтоном Джозефом Дэвиссоном и Лестером Джермером. Они обнаружили, что пучок электронов, рассеивающийся на кристалле никеля, дает отчетливую дифракционную картину, подобную той, которая возникает при рассеянии на кристалле коротковолнового рентгеновского излучения. В этих экспериментах кристалл играл роль естественной дифракционной решетки. По положению дифракционных максимумов была определена длина волны электронного пучка, которая оказалась в полном соответствии с вычисленной по формуле де Бройля.

Шкала электромагнитных волн

Электромагнитные волны различной частоты ν (длины волны λ) образуют **спектр (шкалу) электромагнитного излучения**. Следует помнить, что $\nu = \frac{h}{\lambda}$.



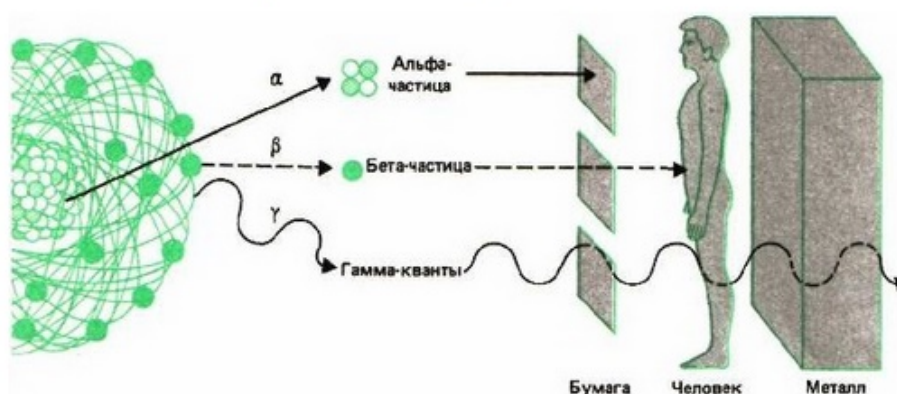
Физика атома и атомного ядра

Представление об атомах как неделимых мельчайших частицах вещества возникло еще в античные времена, но только в XVIII веке трудами А. Лавуазье, М. В. Ломоносова и других ученых была доказана реальность существования атомов. Но вопрос об их внутреннем устройстве даже не возникал, и атомы по-прежнему считались неделимыми частицами. В XIX веке изучение атомистического строения вещества существенно продвинулось вперед. В 1833 году при исследовании явления электролиза М. Фарадей установил, что ток в растворе электролита — это упорядоченное движение заряженных частиц — **ионов**. Фарадей определил минимальный заряд иона, который был назван *элементарным электрическим зарядом*. Его приближенное значение оказалось равным $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.



На основании исследований Фарадея можно было сделать вывод о существовании внутри атомов электрических зарядов. Большую роль в развитии атомистической теории сыграл выдающийся русский химик Д. И. Менделеев, разработавший в 1869 году периодическую систему элементов, в которой впервые был поставлен вопрос о единой природе атомов.

В 1896 году А. Беккерель обнаружил явление испускания атомами невидимых проникающих излучений, названное **радиоактивностью**. В последующие годы явление радиоактивности изучалось многими учеными (М. Склодовская-Кюри, П. Кюри, Э. Резерфорд и др.). Было обнаружено, что атомы радиоактивных веществ испускают три вида излучений различной физической природы (альфа-, бета- и гамма-лучи). Альфа-лучи оказались потоком ионов гелия, бета-лучи — потоком электронов, а гамма-лучи — потоком квантов жесткого рентгеновского излучения.



В 1897 году Дж. Томсон открыл электрон и измерил отношение e/m заряда электрона к массе. Опыты Томсона подтвердили вывод о том, что электроны входят в состав атомов.

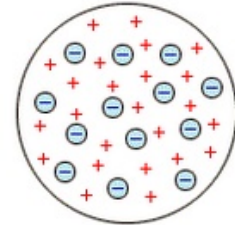
Таким образом, на основании всех известных к началу XX века экспериментальных фактов можно было сделать вывод о том, что атомы вещества имеют сложное внутреннее строение. Они представляют собой электронейтральные системы, причем носителями отрицательного заряда атомов являются легкие электроны, масса которых составляет лишь малую долю массы атомов. Основная часть массы атомов связана с положительным зарядом. Перед наукой встал вопрос о внутреннем строении атомов!



Опыты Резерфорда

Первая попытка создания модели атома на основе накопленных экспериментальных данных (1903 год) принадлежит Дж. Томсону. Он считал, что атом представляет собой электронейтральную систему шарообразной формы радиусом примерно равным 10^{-10} м.

Положительный заряд атома равномерно распределен по всему объему шара, а отрицательно заряженные электроны находятся внутри него. Для объяснения линейчатых спектров испускания атомов Томсон пытался определить расположение электронов в атоме и рассчитать частоты их колебаний около положений равновесия. Однако эти попытки не увенчались успехом. Через несколько лет в опытах великого английского физика Э. Резерфорда было доказано, что модель Томсона неверна.



Первые прямые эксперименты по исследованию внутренней структуры атомов были выполнены Э. Резерфордом и его сотрудниками Э. Марсденом и Х. Гейгером в 1909–1911 годах. Резерфорд предложил применить зондирование атома с помощью α -частиц, которые возникают при радиоактивном распаде радия и некоторых других элементов. Масса α -частиц приблизительно в 7300 раз больше массы электрона, а положительный заряд равен удвоенному элементарному заряду. В своих опытах Резерфорд использовал α -частицы с кинетической энергией около 5 МэВ (скорость таких частиц очень велика – порядка 10^7 м/с, но все же значительно меньше скорости света). α -частицы – это полностью ионизированные атомы гелия. Они были открыты Резерфордом в 1899 году при изучении явления радиоактивности. Этими частицами Резерфорд бомбардировал атомы тяжелых элементов (золото, серебро, медь и др.). Электроны, входящие в состав атомов, вследствие малой массы не могут заметно изменить траекторию α -частицы. Рассеяние, то есть изменение направления движения α -частиц, может вызвать только тяжелая положительно заряженная часть атома. Схема опыта Резерфорда представлена на рисунке.

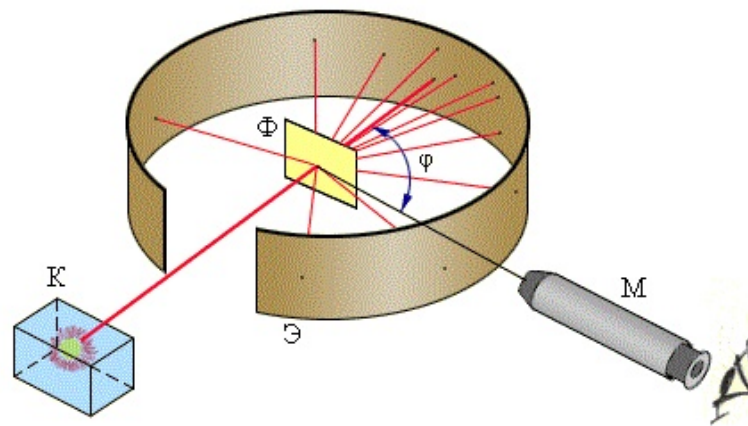


Схема опыта Резерфорда по рассеянию α -частиц: К — свинцовый контейнер с радиоактивным веществом; Э — экран, покрытый сернистым цинком; Ф — золотая фольга; М — микроскоп.

От радиоактивного источника, заключенного в свинцовый контейнер, α -частицы направлялись на тонкую металлическую фольгу. Рассеянные частицы попадали на экран, покрытый слоем кристаллов сульфида цинка, способных светиться под ударами быстрых заряженных частиц. Сцинтилляции (вспышки) на экране наблюдались глазом с помощью микроскопа. Наблюдения рассеянных α -частиц в опыте Резерфорда можно было проводить под различными углами ϕ к первоначальному направлению пучка. Было обнаружено, что большинство α -частиц проходит через тонкий слой металла, практически не испытывая отклонения. Однако небольшая часть частиц отклоняется на значительные углы, превышающие 30° . Очень редкие α -частицы (приблизительно одна на десять тысяч) испытывали отклонение на углы, близкие к 180° .

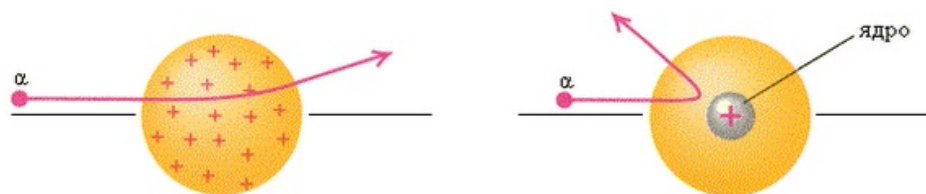


Рисунок иллюстрирует рассеяние α -частицы в атоме Томсона и в атоме Резерфорда.

Этот результат был совершенно неожиданным даже для Резерфорда. Его представления находились в резком противоречии с моделью атома Томсона, согласно которой положительный заряд распределен по всему объему атома. При таком распределении положительный заряд не может создать сильное электрическое поле, способное отбросить α -частицы назад. Электрическое поле однородного заряженного шара максимально на его поверхности и убывает до нуля по мере приближения к центру шара. Если бы радиус шара, в котором сосредоточен весь положительный заряд атома, уменьшился в n раз, то максимальная сила отталкивания, действующая на α -частицу, по закону Кулона возросла бы в n^2 раз. Следовательно, при достаточно большом значении n α -частицы могли бы испытать рассеяние на большие углы вплоть до 180° . Эти соображения привели Резерфорда к выводу, что атом почти пустой, и весь его положительный заряд сосредоточен в малом объеме. Эту часть атома Резерфорд назвал атомным ядром.

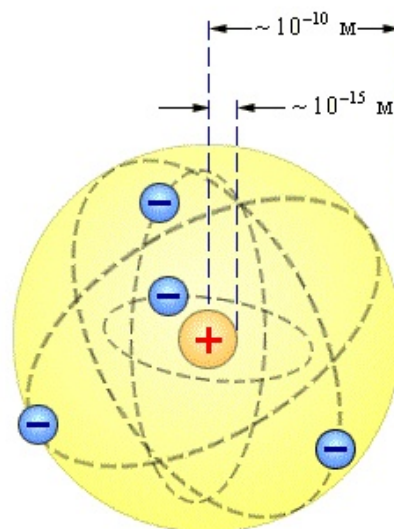
Планетарная модель атома

Опыты Резерфорда и его сотрудников привели к выводу, что в центре атома находится плотное положительно заряженное ядро, диаметр которого не превышает $10^{-14} - 10^{-15}$ м. Это ядро занимает только 10^{-12} часть полного объема атома, но содержит весь положительный заряд и не менее 99,95% его массы. Веществу, составляющему ядро атома, следовало приписать колоссальную плотность порядка 10^{15} г/см³.

Заряд ядра должен быть равен суммарному заряду всех электронов, входящих в состав атома. Впоследствии удалось установить, что если заряд электрона принять за единицу, то заряд ядра в точности равен номеру данного элемента в таблице Менделеева. Опираясь на классические представления о движении микрочастиц, Резерфорд предложил планетарную модель атома.

Согласно этой модели, в центре атома располагается положительно заряженное ядро, в котором сосредоточена почти вся масса атома. Атом в целом нейтрален. Вокруг ядра, подобно планетам, под действием кулоновских сил со стороны ядра вращаются электроны. Находиться в состоянии покоя электроны не могут, так как они упали бы на ядро.

Планетарная модель атома, предложенная Резерфордом, несомненно, явилась крупным шагом вперед в развитии знаний о строении атома. Она была совершенно необходимой для объяснения опытов по рассеянию α -частиц, однако оказалась неспособной объяснить сам факт длительного существования атома, т. е. его устойчивость. По законам классической электродинамики, движущийся с ускорением заряд должен излучать электромагнитные волны, уносящие энергию. За короткое время (порядка 10^{-8} с) все электроны в атоме Резерфорда должны растратить всю свою энергию и упасть на ядро. То, что этого не происходит в устойчивых состояниях атома, показывает, что внутренние процессы в атоме не подчиняются классическим законам.



Квантовые постулаты Бора

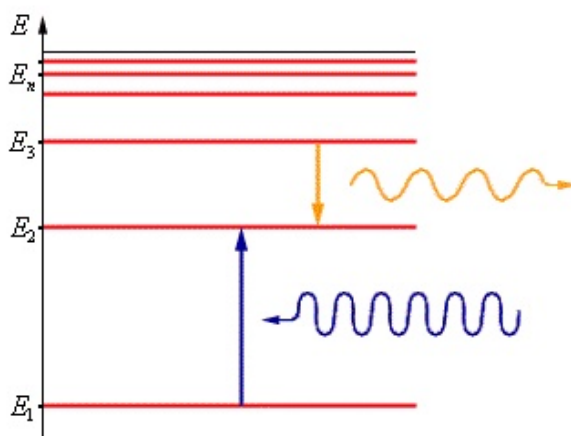
Планетарная модель атома, предложенная Резерфордом, – это попытка применения классических представлений о движении тел к явлениям атомных масштабов. Она оказалась несостоятельной. Классический атом неустойчив. Электроны, движущиеся по орбите с ускорением, должны неизбежно упасть на ядро, растратив всю энергию на излучение электромагнитных волн. Следующий шаг в развитии представлений об устройстве атома в 1913 году сделал выдающийся датский физик Н. Бор. Проанализировав всю совокупность опытных фактов, Бор пришел к выводу, что при описании поведения атомных систем следует отказаться от многих представлений классической физики.



Бор сформулировал постулаты, которым должна удовлетворять новая теория о строении атомов.

Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний) гласит: атомная система может находиться только в особых стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия E_n . В стационарных состояниях атом не излучает.

Согласно первому постулату Бора, атом характеризуется системой энергетических уровней, каждый из которых соответствует определенному стационарному состоянию. Механическая энергия электрона, движущегося по замкнутой траектории вокруг положительно заряженного ядра, отрицательна. Поэтому всем стационарным состояниям соответствуют значения энергии $E_n < 0$. При $E_n \geq 0$ электрон удаляется от ядра, т. е. происходит ионизация. Величина $|E_1|$ называется *энергией ионизации*. Состояние с энергией E_1 называется *основным состоянием атома*. Энергетические уровни атома и условное изображение процессов поглощения и испускания фотонов показаны на рисунке.



Этот постулат находится в явном противоречии с классической механикой, согласно которой энергия движущегося электрона может быть любой. Он находится в противоречии и с электродинамикой, так как допускает возможность ускоренного движения электронов без излучения электромагнитных волн.

Второй постулат Бора (правило частот) формулируется следующим образом: при переходе атома из одного стационарного состояния с энергией E_n в другое стационарное состояние с энергией E_m излучается или поглощается квант, энергия которого равна разности энергий стационарных состояний:

$$E_n - E_m = h \cdot \nu,$$

где h — постоянная Планка. Отсюда можно выразить частоту излучения:

$$\nu = \frac{E_n - E_m}{h}.$$

Второй постулат Бора также противоречит электродинамике Максвелла, так как частота излучения определяется только изменением энергии атома и никак не зависит от характера движения электрона.

Теория Бора при описании поведения атомных систем не отвергла полностью законы классической физики. В ней сохранились представления об орбитальном движении электронов в кулоновском поле ядра. Классическая ядерная модель атома Резерфорда в теории Бора была дополнена идеей о квантовании электронных орбит. Поэтому теорию Бора иногда называют полуклассической.

Элементарные частицы

Все микрочастицы обладают волновыми свойствами. Их поведение описывается законами квантовой физики.

Они обладают очень малой массой, в связи с чем была введена **атомная единица массы** (а.е.м.):

$$\Delta m = 1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

Основные элементарные частицы представлены в следующей таблице:

Название	Обозначение	Год открытия	Кто открыл	Масса
Электрон	${}^0_{-1}e$	1897	Томсон	$m_e = 5,5 \cdot 10^{-4} \Delta m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Протон	1_1p	1919	Резерфорд	$m_p = 1,007 \Delta m = 1,673 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Нейтрон	1_0n	1932	Чедвик	$m_n = 1,008 \Delta m = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

Заряд нейтрона равен 0 (нейтральная частица), заряд протона равен $+e$ (положительный заряд), заряд электрона равен $-e$ (отрицательный заряд), где $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ — элементарный заряд.

МАССА ПРОТОНА ИЛИ НЕЙТРОНА В 1836 РАЗ
БОЛЬШЕ МАССЫ ЭЛЕКТРОНА



ПОЭТОМУ ПРАКТИЧЕСКИ ВСЯ МАССА АТОМА
СОСРЕДОТОЧЕНА В ЕГО ЯДРЕ

Скорость света в вакууме $c = 3 \cdot 10^8$ м/с

Один электронвольт $1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. Это кинетическая энергия, которую приобретает электрон, проходя ускоряющую разность потенциалов в 1 вольт.

Один мегаэлектронвольт $1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-13}$ Дж

Единица энергии $\Delta mc^2 = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \cdot (3 \cdot 10^8 \text{ м/с})^2 = 14,94 \cdot 10^{-11} \text{ Дж} = 931,5 \text{ МэВ}$

Заметим, что $m_p = 1836m_e$ и $m_n = 1839m_e$ то есть $m_p \approx m_n$

Элементарные частицы лежат в фундаменте всех основных частиц природы. Например, атомные ядра состоят из нуклонов — протонов и нейтронов.

Строение атомного ядра

Для характеристики атомных ядер вводится ряд обозначений. Число протонов, входящих в состав атомного ядра, обозначают символом Z и называют **зарядовым числом, или атомным номером** (это порядковый номер в периодической таблице Менделеева). Заряд ядра равен Ze , где e — элементарный заряд. Число нейтронов обозначают символом N .

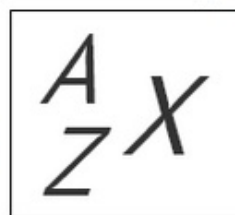
Обозначение ядра:

Z - число протонов (заряд ядра)

N - число нейтронов

A - число нуклонов (массовое число)

X - химический символ элемента



Общее число нуклонов (т. е. протонов и нейтронов) называют **массовым числом** A :

$$A = Z + N.$$

Ядра химических элементов обозначают символом ${}_Z^AX$, где X — химический символ элемента.

Например, ${}_1^1\text{H}$ — ядро водорода (1 протон), ${}_2^4\text{He}$ — ядро атома гелия, или α -частица (2 протона и 2 нейтрона), ${}_8^{16}\text{O}$ — ядро кислорода (8 протонов и 8 нейтронов), ${}_{92}^{238}\text{U}$ — ядро урана (92 протона и 146 нейтронов).

Ядра одного и того же химического элемента могут отличаться числом нейтронов (заряд Z одинаковый, массовое число A — разное). Такие ядра называют **изотопами**.

У большинства химических элементов имеется несколько изотопов.

У водорода 3 изотопа: ${}_1^1\text{H}$ — протий, ${}_1^2\text{H}$ — дейтерий, ${}_1^3\text{H}$ — тритий.

Два основных изотопа урана: ${}_{92}^{238}\text{U}$ и ${}_{92}^{235}\text{U}$.

Химические элементы в природных условиях обычно представляют собой смесь изотопов.