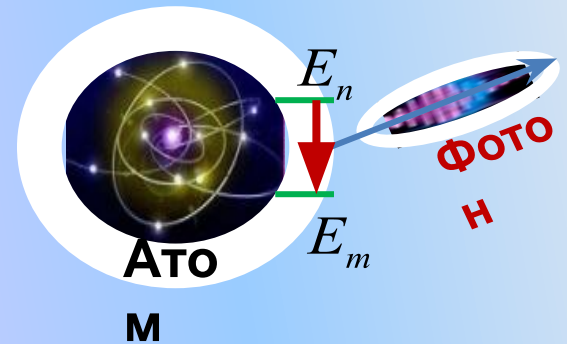


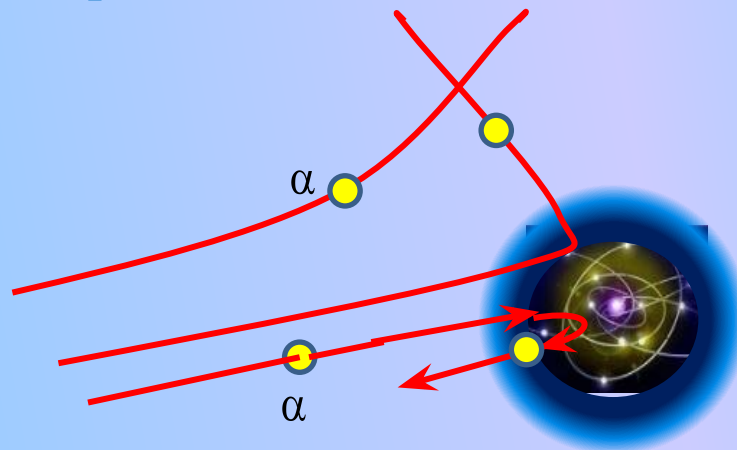


Физик а атома



Атом водорода и

водородоподобные ионы



Излучение атомарного водорода

- Оптические спектры
- и строение атомов

Спектральные серии

формула Бальмера

строение атома

по постулатам Н. Резерфорда и Н. Бора.

$$\hbar \omega$$

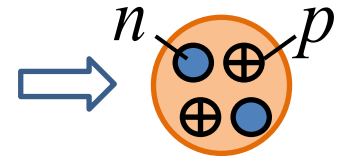
Теория атома Н. Бора с квантованием момента импульса электрона в стационарных



Радиоактивность. Альфа-частицы

Открытие радиоактивности: в 1896г. (Франция А.Беккерель).
 Некоторые радиоактивные элементы (**уран, радий**, и др.) обладают способностью испускать быстрые заряженные альфа-частицы, которые при столкновениях могут проникать внутрь атомов и давать сведения об их внутреннем устройстве.

Альфа-частицы – ядра атома гелия ${}^4_2\text{He}^{++}$, состоящие из двух **протонов** и двух **нейтронов**.



Заряд частицы $q_\alpha = 3,2 \cdot 10^{-19}$

Частицы имеют скорость $v_\alpha \approx 10^7$ м/с

и кинетическую энергию $T_\alpha \approx (4 \text{ эВ})$

Элементарный заряд и

массы:
 $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$

$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$, $m_n = 1,67 \cdot 10^{-27}$, $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$

ОПЫТЫ

Резерфорда

Альфа-частицы проходили через фольгу, отклоняясь на разные углы θ (происходило их рассеяние).

Толщина фольги составляла $\approx 0,1 \text{ мкм}$.

Рассеянные частицы попадали на экран, покрытый сульфидом цинка ZnS , и вызывали вспышки света, которые фиксировались визуально с помощью микроскопа

Чтобы узнать, как устроен атом, надо прозондировать его быстрыми заряженными альфа-частицами и по распределению рассеянных частиц

по углам определить его

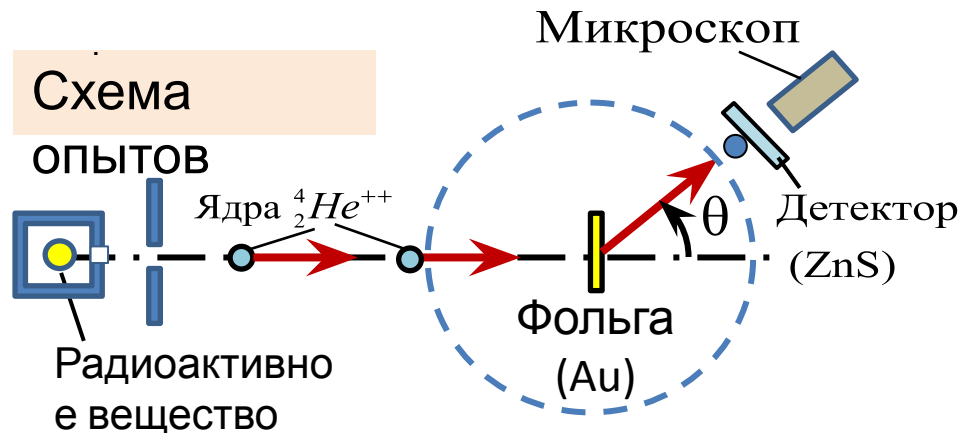
Резерфорд на основе результатов опытов разработал теорию рассеяния альфа-частиц и получил формулу для распределения рассеянных частиц по углам

которая подтвердилась при измерениях в экспериментах.

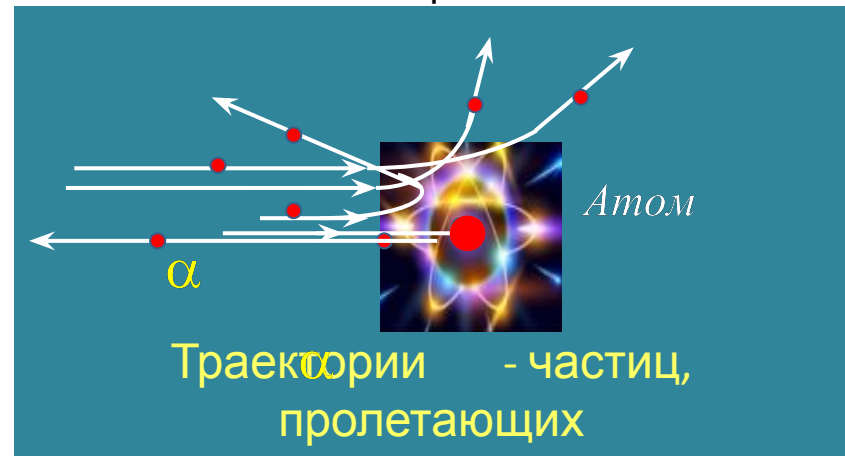
$$\frac{dN_{\theta}}{N} \propto \frac{d\Omega}{\sin^4(\theta/2)}$$

Схема

ОПЫТОВ



Зондирование фольги альфа-частицами.



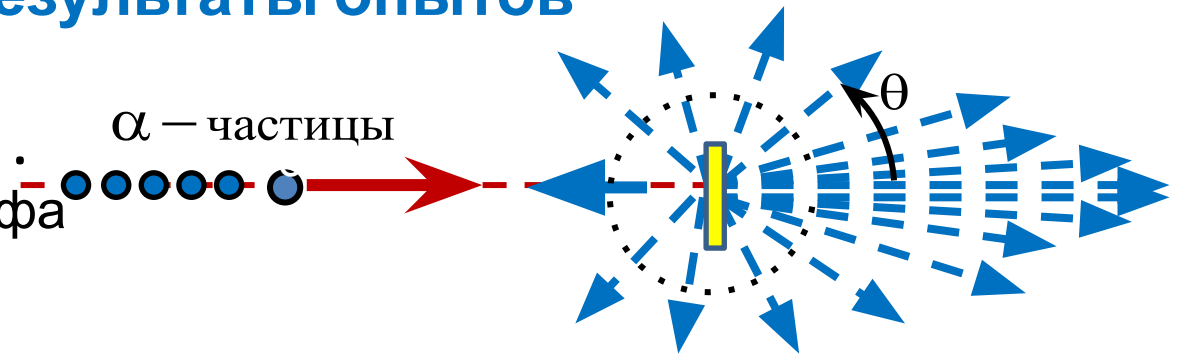
на разных расстояниях от ядра

Траектории - частиц, пролетающих

(Формула Резерфорда)

Результаты опытов

1). Большинство α – частиц проходило через фольгу, отклоняясь на малые углы θ .
 Оказалось, что из 10^4 альфа-частиц лишь одна отклоняется на 10^0



Вывод \Rightarrow . Большая часть объема занята легкими частицами – электронами.

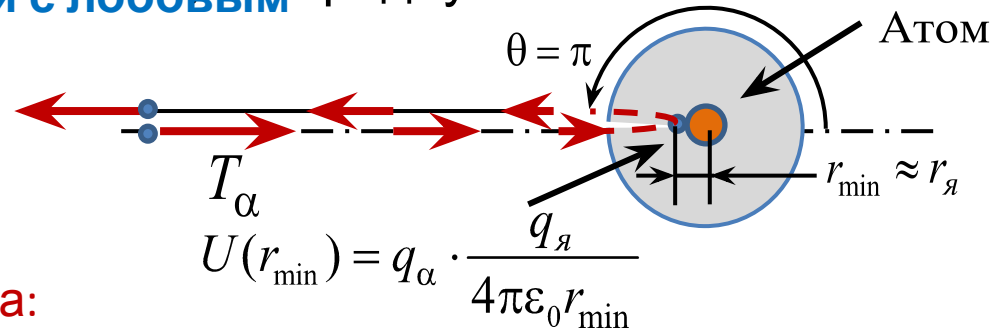
2). Изредка встречаются и альфа-частицы, отклоняющиеся на тупые углы вплоть до 180° .

Вывод \Rightarrow Атомы имеют массивное положительно заряженное ядро,

радиус которого значительно меньше, чем радиус атома.
Оценка радиуса ядра из ситуации с лобовым столкновением.

α – частица, приближаясь к ядру, попадает в тормозящее электрическое поле ядра. Её кинетическая энергия уменьшается и в точке поворота r_{\min}

В точке поворота:



$$U(r_{\min}) = q_{\alpha} \cdot \frac{q_{\text{я}}}{4\pi\epsilon_0 r_{\min}}$$

когда T_{α} обращается в нуль. Из закона сохранения энергии

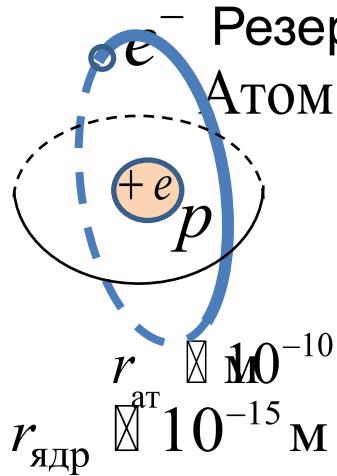
$$T_{\alpha} = U(r_{\min})$$

следует \Rightarrow

$$r_{\text{я}} \approx 1 \cdot 10^{-14}$$

Ядерная (планетарная) модель атома по Резерфорду

Проблемы:



Атом – стабильное (устойчивое) образование. E, r, v

Величины не должны изменяться. Но **электрон – заряженная частица, которая движется в атоме с ускорением.** По законам электродинамики **электрон должен излучать** электромагнитные волны и тем самым ~~терять свою энергию.~~

$$1) -\frac{\partial E}{\partial t} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2e^2}{3c^3} a_{ц.стр.}^2$$

Излучение по законам электродинамики

$$a_{ц.стр.} = \frac{1}{m_e} \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2}$$

Центростремительное ускорение электрона

$$2) E = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{2r}$$

Энергия электрона в атоме Резерфорда

Атом Резерфорда не может быть устойчивым!

Электрон, находясь на круговой орбите с радиусом $r \approx 10^{-10}$ м, падает на ядро через время $t = \frac{r^3 m_e c}{(4\pi\epsilon_0)^2 e^4} \approx 10^{-10}$ с

Другое важное возражение против планетарной модели заключается в том, что она допускает **непрерывный спектр излучения** атомами. А из опытов следует, что **спектр излучения, характерный для каждого атома, состоит из отдельных**



Оптические спектры и строение атомов

Свет, испускаемый атомами в газообразном состоянии, имеет **линейчатый спектр**, в котором спектральные линии

объединены в **серии излучения**.

Спектральные серии в излучении атомарного водорода

Обобщенная формула Бальмера:
$$\lambda = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$R = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ c}^{-1}$$

Постоянная Ридберга

В сериях сохраняется одна и та же закономерность в спектре, что иллюстрируется на приведенных спектрограммах



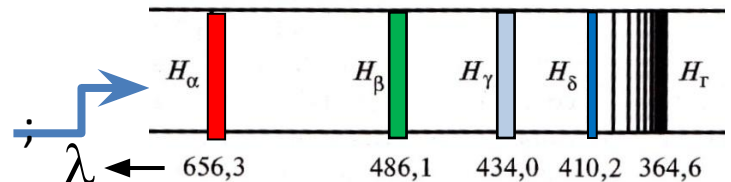
Для каждой серии число m фиксируется, число n принимает значения:

$$n = m + 1, m + 2, m + 2, \dots$$

Серия Т. Лаймана (1906г) $m = 1, n = 2, 3, 4, \dots$;

Серия И. Бальмера (1885г) $m = 2, n = 3, 4, 5, \dots$;

Серия Ф. Пашена (1908г) $m = 3, n = 4, 5, 6, \dots$.



Атом Нильса Бора

Датский физик-теоретик в 1913 г. разработал **первую квантовую теорию атома**, которая опиралась на **модель атома Резерфорда**, **закономерности в атомных спектрах** и гипотезу Планка о квантовании энергии осциллятора и введении постоянной h в теорию теплового излучения.

К тому времени сложилась ситуация, в которой законы классической

Линейчатые спектры свидетельствовали о дискретности энергетических состояний атома.

Планетарная модель атома Резерфорда оказалась неустойчивой.

Кроме того, комбинируя константы e , m_e , $1/4\pi\epsilon_0$, относящиеся к электрону в атоме, **нельзя получить величину, имеющую размерность длины**. Это означает, что в классической механике атом невозможен – электрон не может двигаться стационарно.

Положение изменилось с появлением постоянной Планка, имеющей размерность момента импульса. Величина, имеющая размерность длины, равна $\frac{h}{m_e v} = \frac{h}{m_e e v} = 0,53 \cdot 10^{-10}$ (характерный размер атома)

Самым простым атомом является атом водорода, имеющий единственный электрон. Масса протона в 1840 раз больше массы электрона. **В первом приближении** можно считать орбиты электрона **круговыми орбитами**, **скорость мала по сравнению со скоростью света**, а **ядро неподвижным**.



Постулаты Н. Бора

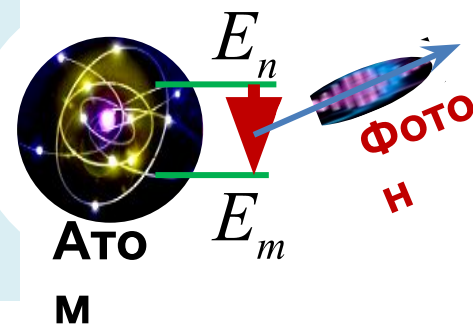
1). О существовании стационарных состояний и квантовании момента импульса. В атоме существует дискретный набор **стационарных** (разрешенных) орбит радиусов r_n и **момента импульса электрона** p

в этих состояниях принимает целочисленные значения, кратные \hbar :
 $r_n \cdot p_n = n \hbar$, где $n=1, 2, 3, \dots$ (для круговых орбит)

Находясь на стационарной орбите, электрон имеет неизменное значение энергии и, вопреки законам классической электродинамики, не излучает энергию.

2). О поглощении и испускании квантов излучения.

Излучение или поглощение кванта излучения (фотона) происходит при переходе из одного стационарного состояния в другое путем **квантового скачка** при соблюдении закона сохранения энергии:





Энергия электрона в атоме

○ **Потенциальная энергия** принимает отрицательные значения, равные произведению заряда электрона (- e) на потенциал положительного заряженного ядра на расстоянии r от него до электрона:

$$U(r) = (-e) \cdot \varphi(r) = (-e) \cdot \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze}{r}$$

○ **Полная энергия электрона в атоме**

тоже отрицательна . Это означает, что он

$$E = \frac{p^2}{2m_e} + U = \frac{p^2}{2m_e} + \left(-\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r} \right)$$

находится в электрическом поле притяжения к ядру.

Теория Н.Бора атома водорода

и иона гелия



$$E_{кин} = E + U = \frac{m_e V_n^2}{2} - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_n} \quad (1)$$

$$m_e \frac{V_n^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze \cdot e}{r_n^2} \quad (2)$$

$$r_n \cdot m_e V_n = n \hbar, \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (3)$$

$$E_n = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Ze^2}{2r_n} \quad (4)$$

$$r_B = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2}{m_e Ze^2} n^2 = r \frac{n^2}{Z} \quad (5)$$

$$E_n = -\frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \cdot \frac{Z^2 e^4}{2r_B} \cdot \frac{1}{n^2} \quad (6)$$

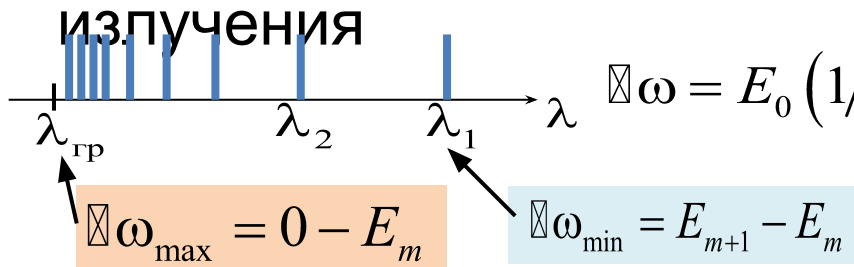
Атом водорода,

$Z=1: m=1, r_1 = n_B \approx 53 \text{ пм}, V_1 = 2,2 \cdot 10^6 \text{ В} / \text{м}, E_1 = -13,6 \text{ эВ}$

Ион гелия He^+ ,

$Z=2: m=1, r_1 = 26 \text{ пм}, V_1 = 4,4 \cdot 10^6 \text{ В} / \text{м}, E_1 = -54,4 \text{ эВ}$

Объяснение закономерностей в спектральных сериях излучения



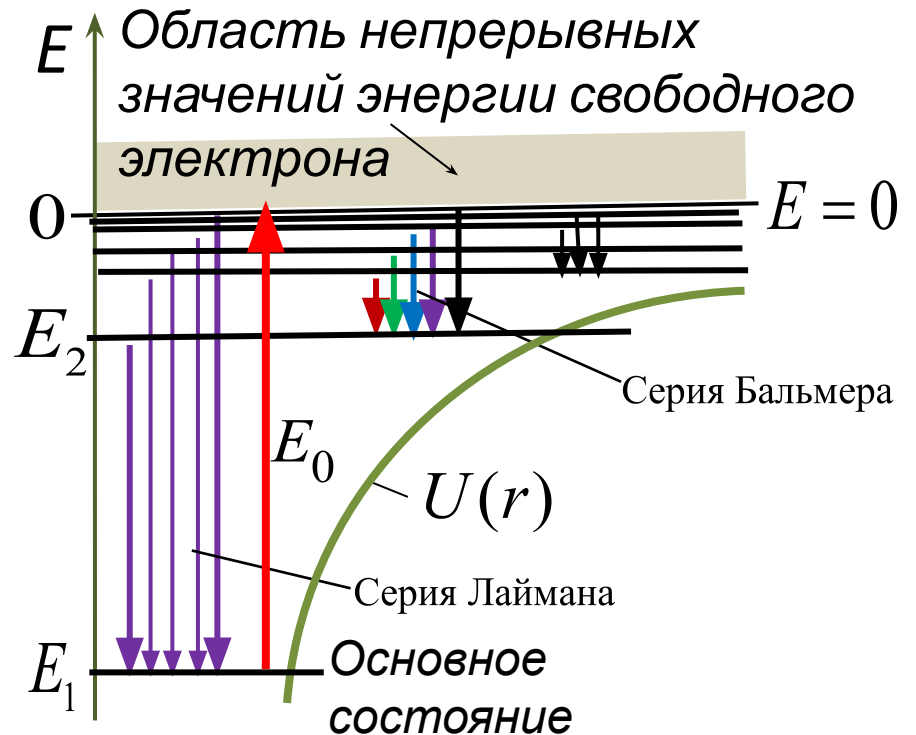
где m - номер уровня, на котором

заканчиваются переходы.

$$E_n = -\frac{E_0}{n^2}$$

$E_0 = 13,6 \text{ эВ}$

Энергия ионизации атома водорода – минимальная энергия, требуемая для удаления электрона



О теории Н. Бора

Нильс Бор поверил результатам экспериментов и видоизменил планетарную модель

атома путем введения постулатов, согласно которым в атоме существуют совершенно

недопустимые с точки зрения законов классической механики и электродинамики

стационарные орбиты. Радиусы орбит находится из **условия квантования момента**

из теории Бора следует формула для частот излучения **импульса**, согласно которому имеются строго определённые состояния

$$\nu = \frac{E_n - E_m}{h} = Z^2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^4}{2mr} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = Z^2 E_0 \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

Излучение или поглощение квантов энергии возможно только при переходе атома водорода и других водородоподобных образований, таких как **одного стационарного состояния в другое**. ($Z = 2$), Li^+ ($Z = 3$), Be^{++} ($Z = 4$).

Формула для частот при $Z=1$ совпадает с формулой Бальмера, где

Постоянная Ридберга $R = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^4}{2r_B} = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ м}^{-1}$

точно соответствует величине, найденной из оптических экспериментов.

Дальнейшее открытие новых квантовых законов физики показало, что планетарная модель атома просто неверна.

Однако это **первая квантовая теория**, которая имела большое значение для дальнейшего развития физических представлений о строении атомов и