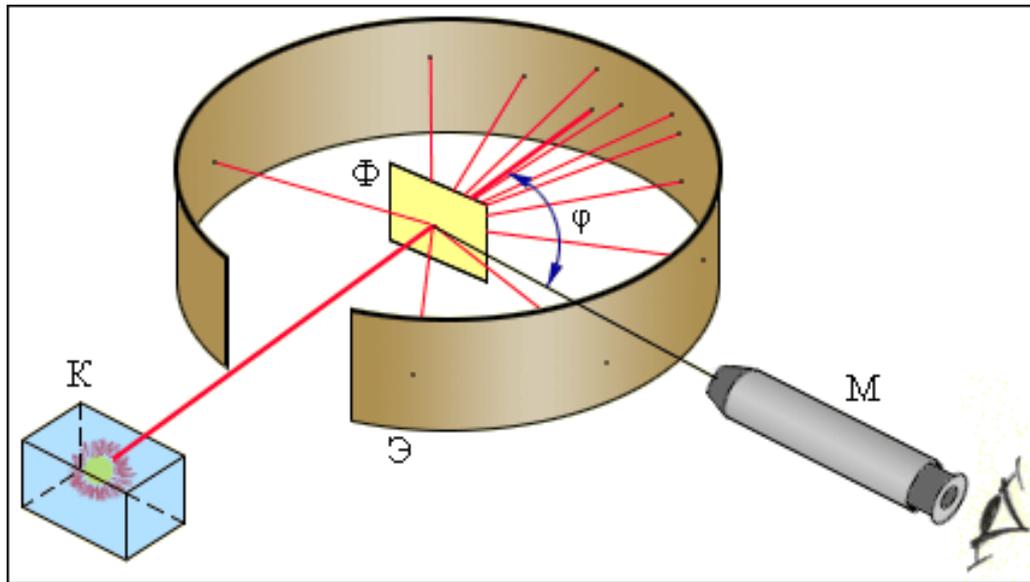


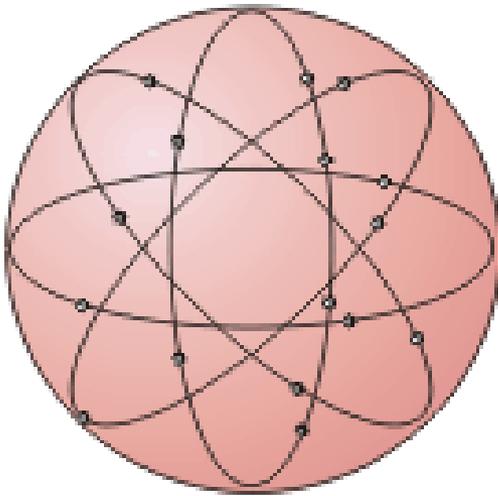
Атом Бора



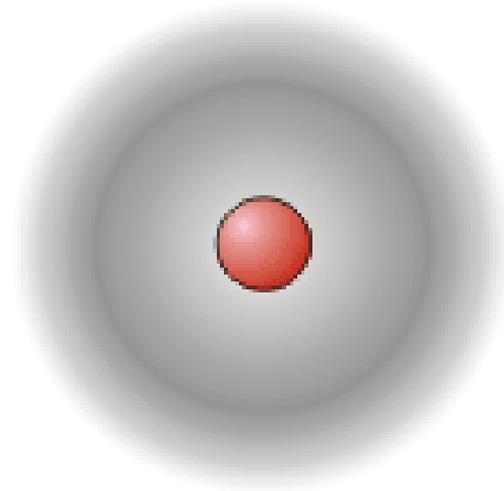
Лекция 4.6

Модели атомов

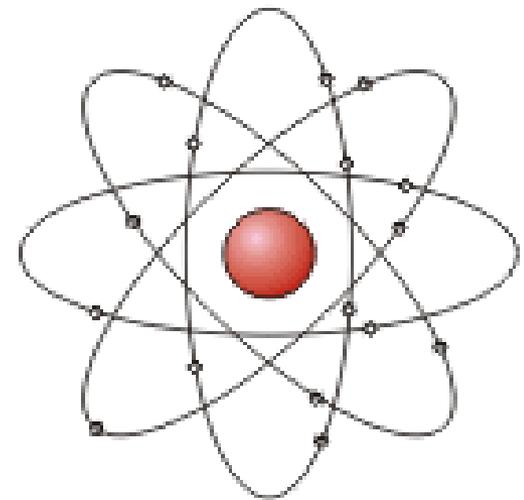
Устаревшие модели атома



Модель Томсона



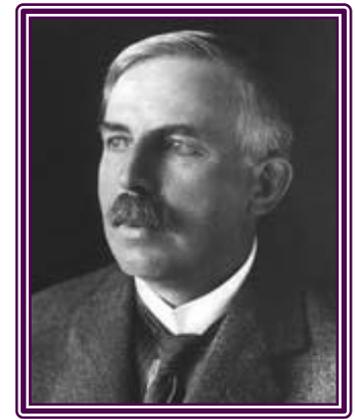
Модель Нагаоки



Модель Резерфорда

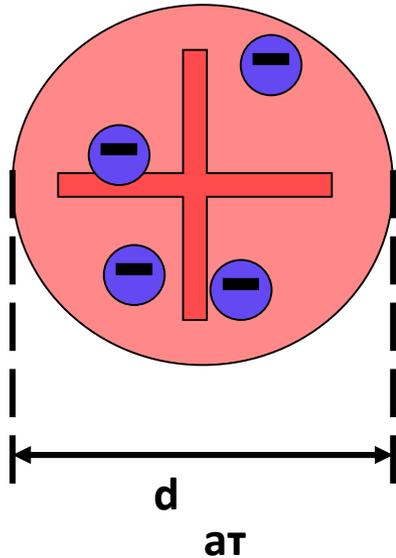


Модели атомов



Дж. Дж. Томсон
1896 г.

«пудинг с изюмом»

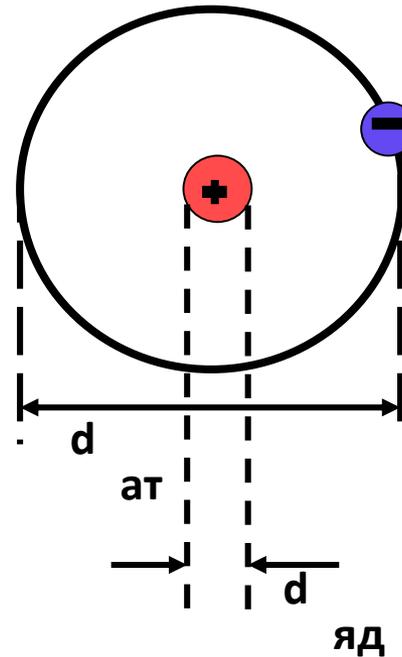


$$\sum q_{\text{эл}} = q_{+}$$

$$q_{\text{ат}} = 0$$

Э. Резерфорд
1906 г. (1911 г.)

планетарная (ядерная) модель



$$\sum q_{\text{эл}} = q_{\text{я}}$$

$$q_{\text{ат}} = 0$$

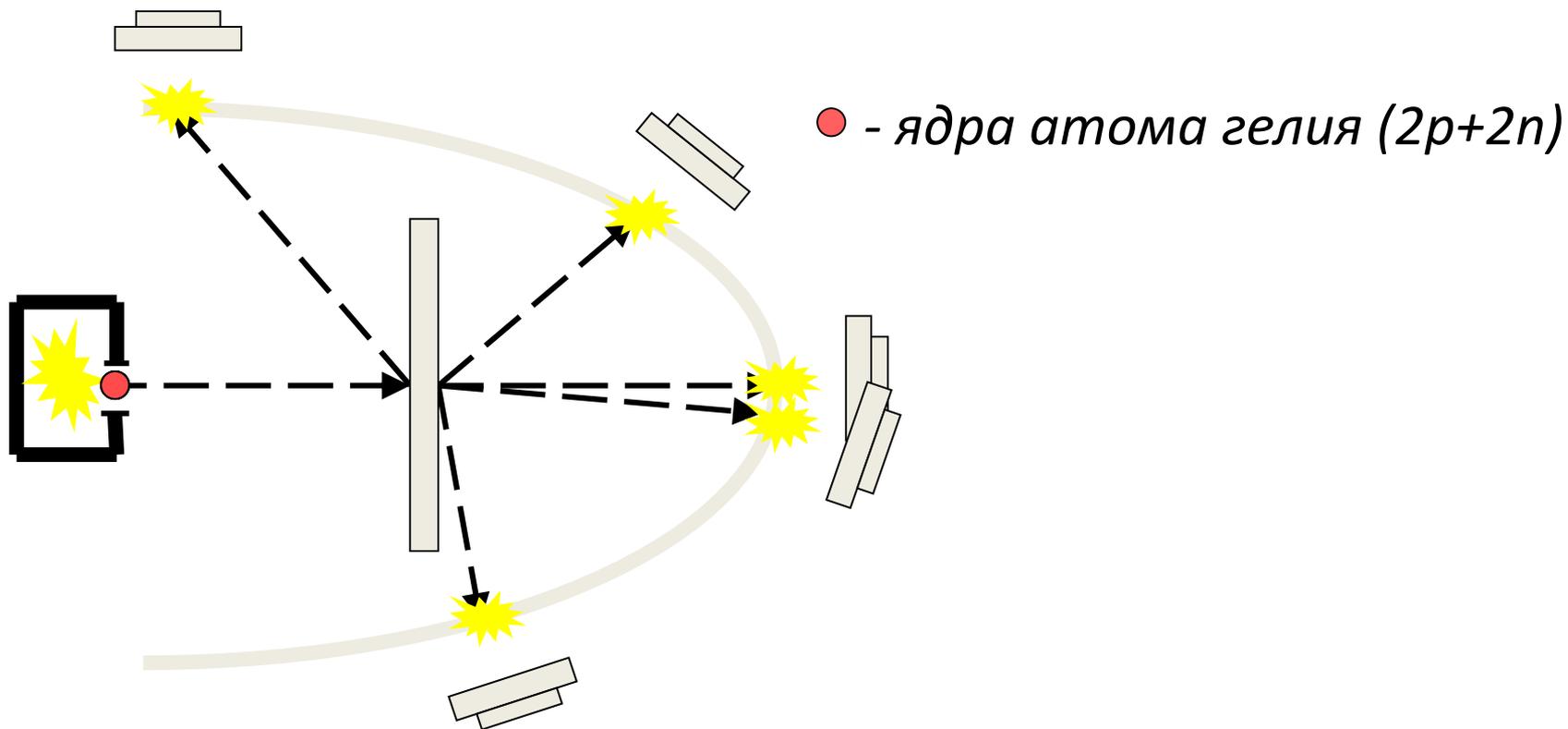
$$r_{\text{ат}} \sim 10^{-10} \text{ м}$$

$$r_{\text{я}} \sim 10^{-15} \text{ м}$$

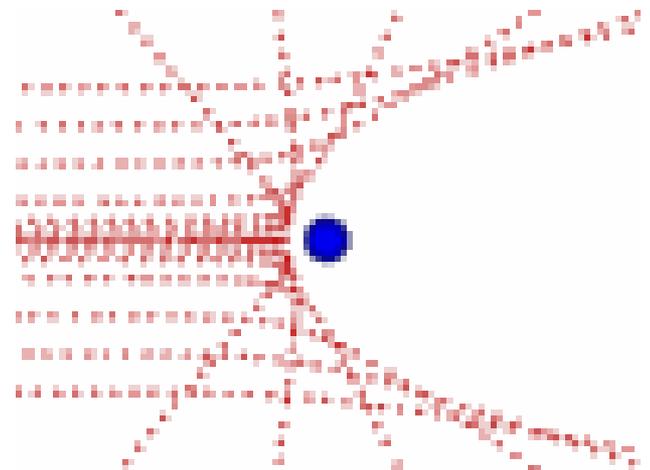
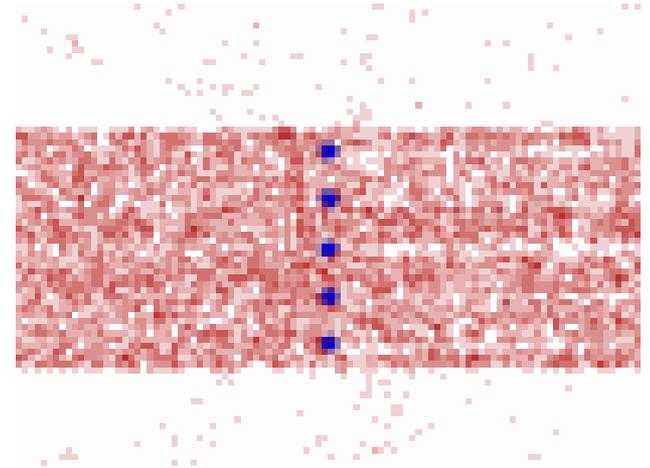
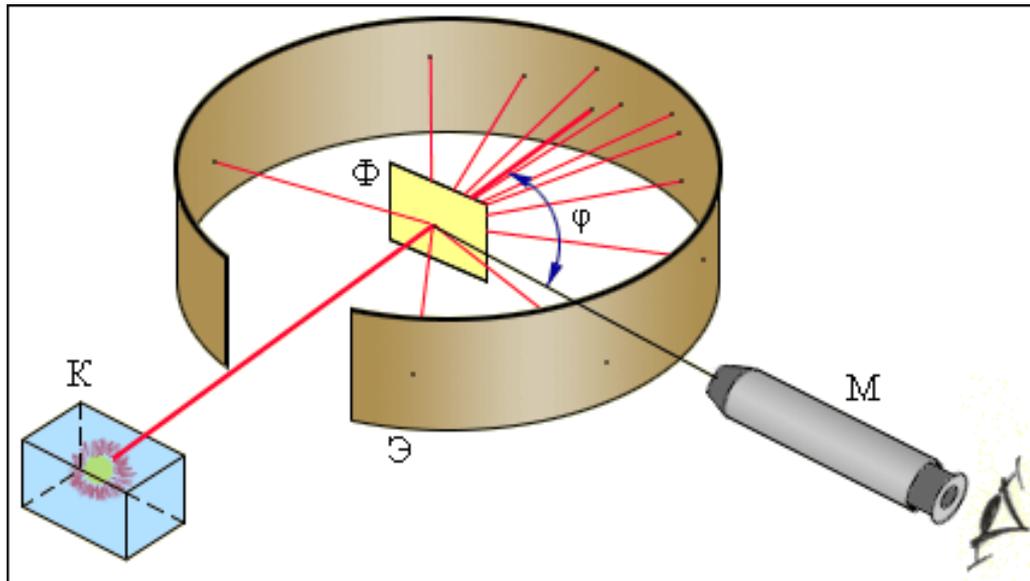
$$m_{\text{я}} = 99,9\% \cdot m_{\text{ат}}$$



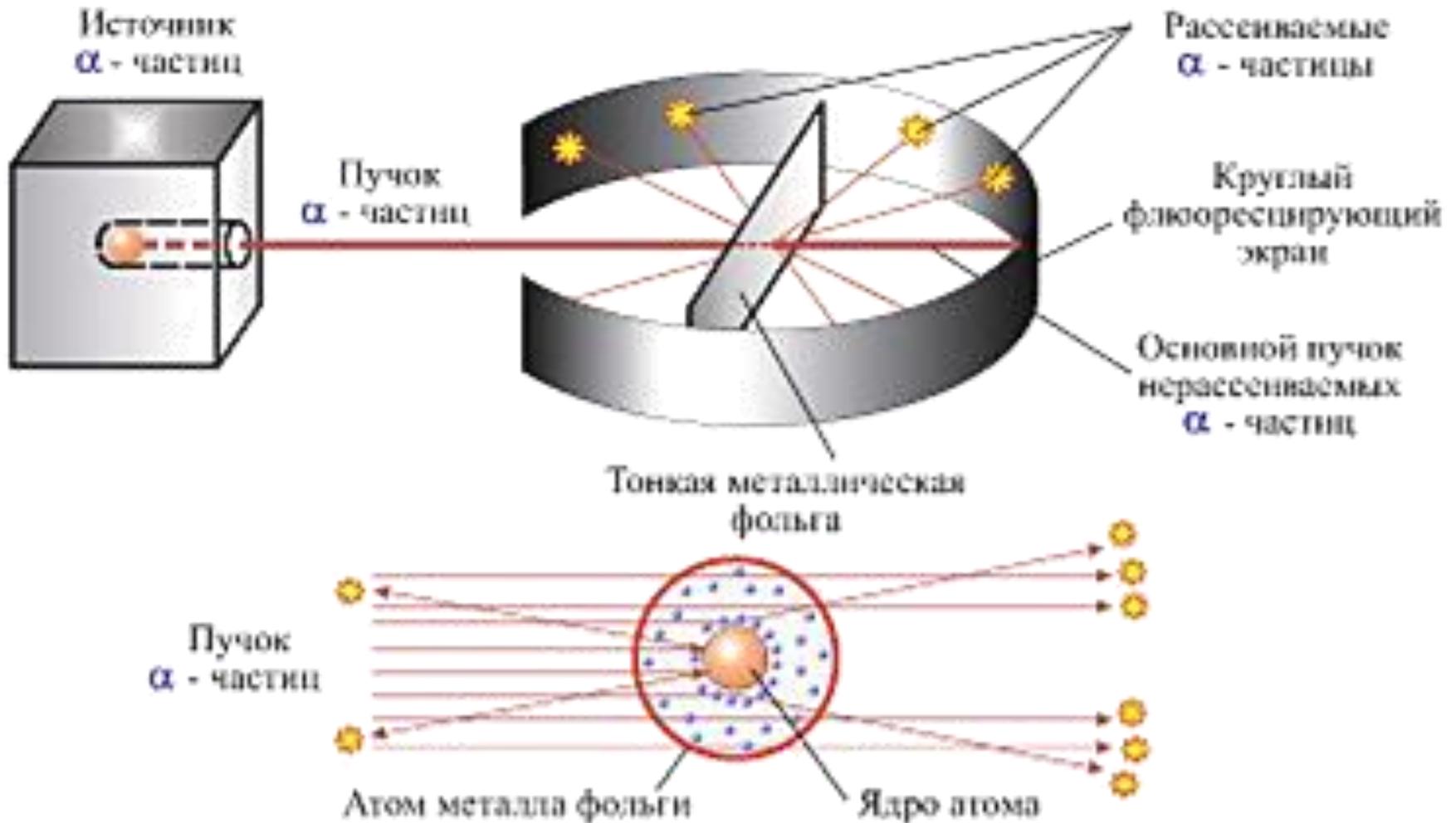
Опыт Резерфорда



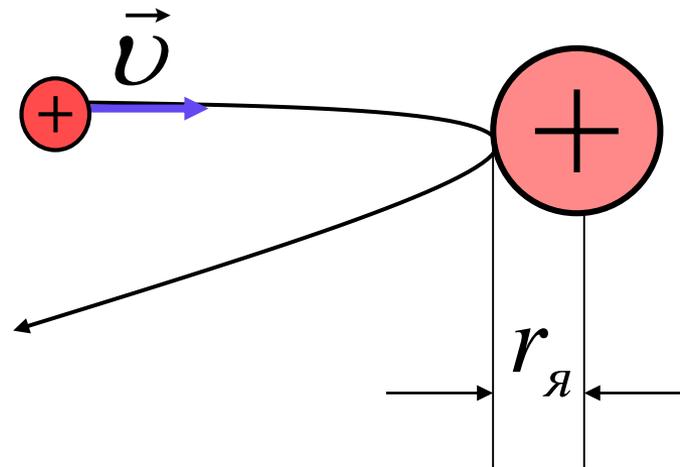
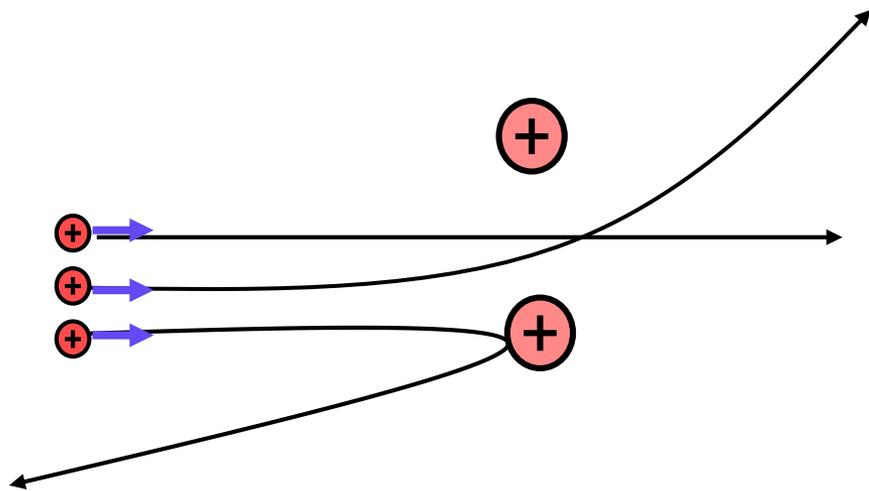
Опыт Резерфорда



Опыт Резерфорда



Размеры ядра



$$E_k = E_n$$

$$\frac{m_\alpha v_\alpha^2}{2} = F_k r_\text{я}$$

$$F_k = k \frac{q_\text{я} \cdot q_\alpha}{r_\text{я}^2}$$

$$q_\text{я} = Ze$$

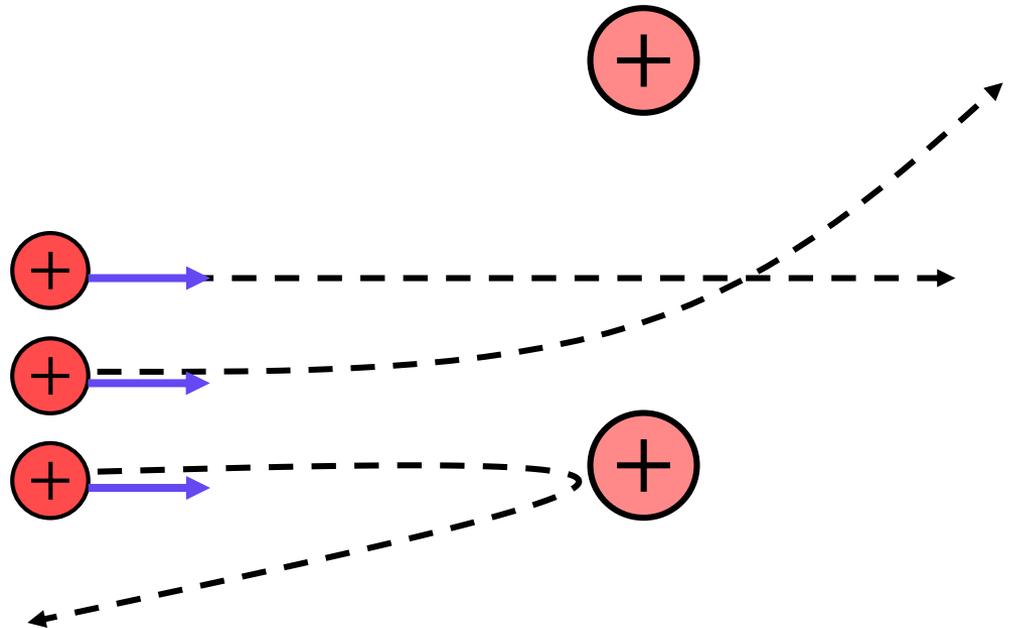
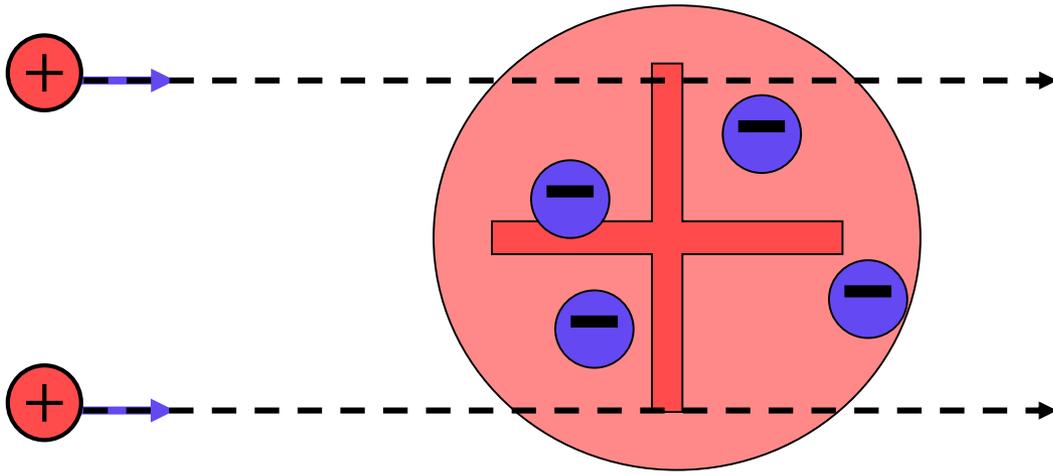
$$q_\alpha = 2e$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0}$$

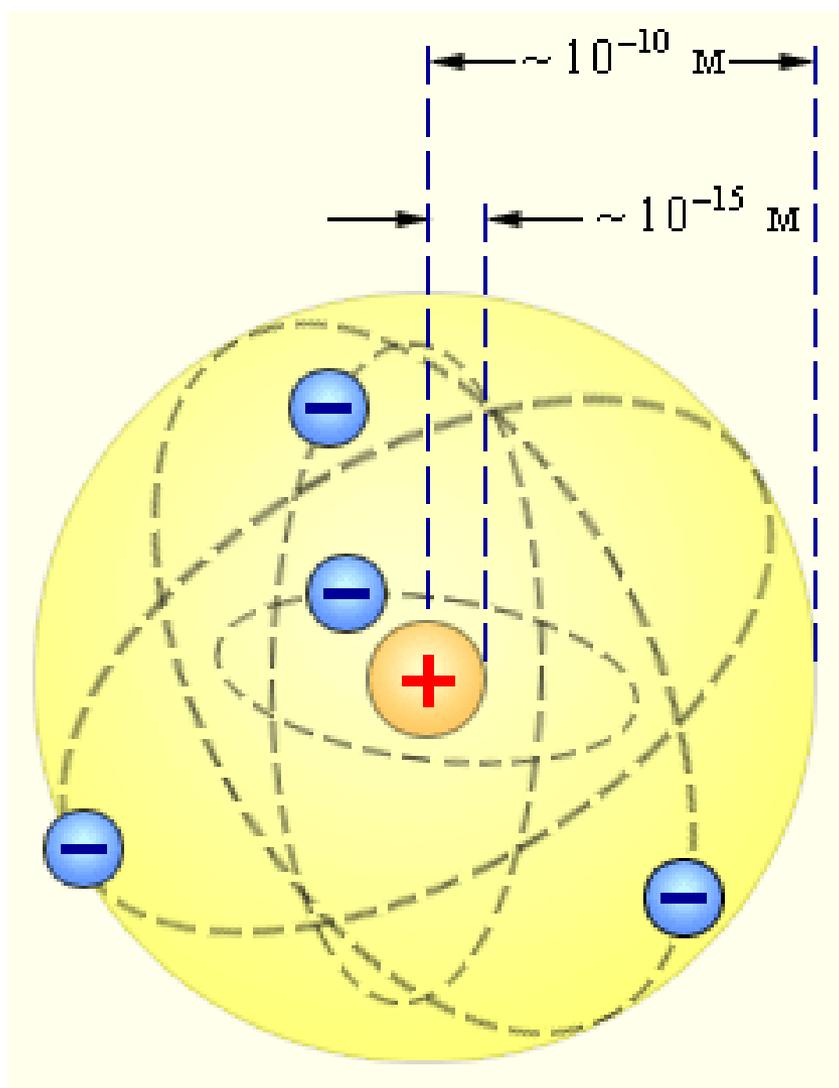
$$\frac{m_\alpha v_\alpha^2}{2} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{Ze \cdot 2e}{r_\text{я}^2} \cdot r_\text{я}$$

$$r_\text{я} = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \cdot \frac{4Ze^2}{m_\alpha v_\alpha^2}$$



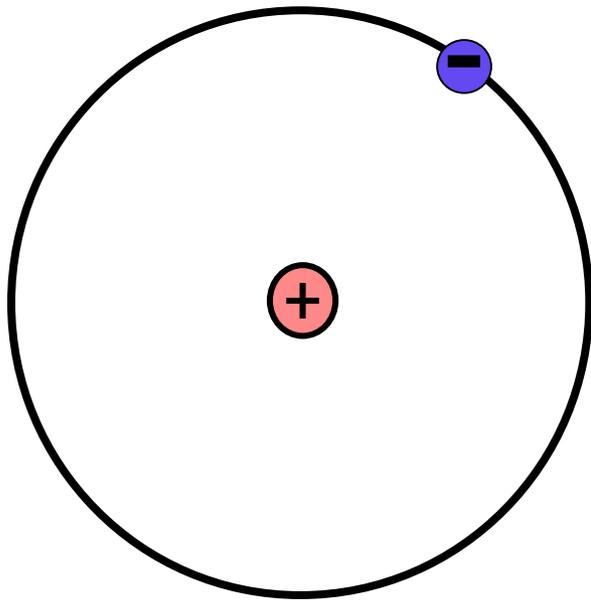


Ядерная (планетарная) модель атома



На основе наблюдения альфа-частиц в веществе Резерфорд предложил планетарную модель атома. Согласно этой модели строение атома подобно строению солнечной системы

Противоречия модели Резерфорда



- *электрон движется по окружности*
- *движение по окружности является ускоренным*
- *электрон должен излучать*
- *электрон должен терять энергию*
- *электрон должен упасть на ядро за 10^{-8} с.*



- Противоречия своей модели атома Резерфорд разрешить не мог.
- Преодолеl их датский физик Нильс Бор в 1913 г., предложив свои постулаты

(1885 г. –1962 г.)

Нобелевская премия по физике «за заслуги в изучении строения атома»
1922 г.

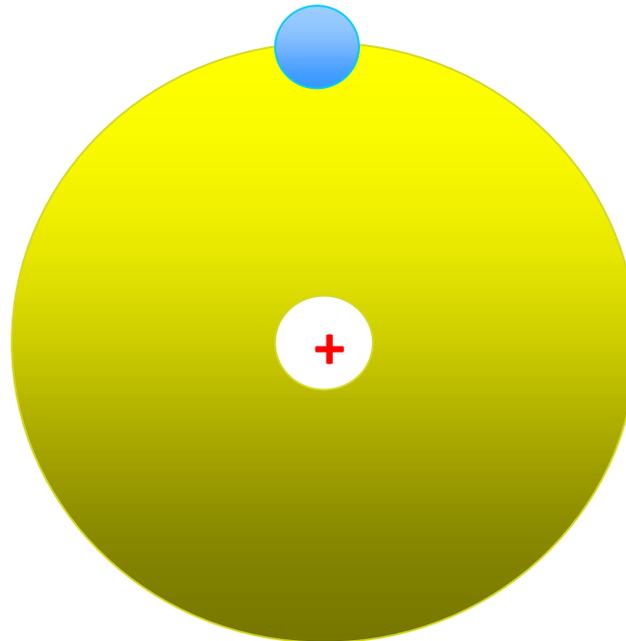


I ПОСТУЛАТ БОРА

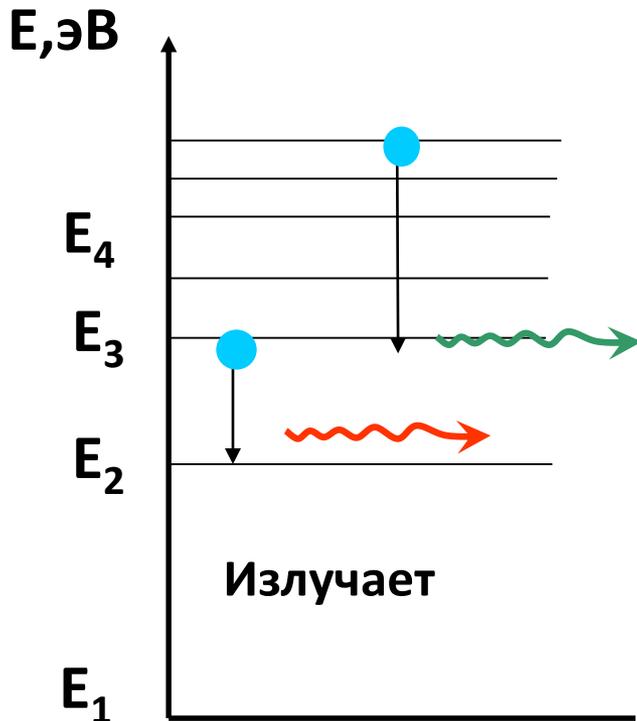


Атомная система может находиться только в особых стационарных квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия E_n .

В стационарных состояниях атом не излучает.



II ПОСТУЛАТ БОРА



При переходе атома из стационарного состояния с большей энергией E_n в стационарное состояние с меньшей энергией E_m излучается квант, энергия которого равна разности энергий стационарных состояний:

$$h\nu_{nm} = E_n - E_m$$

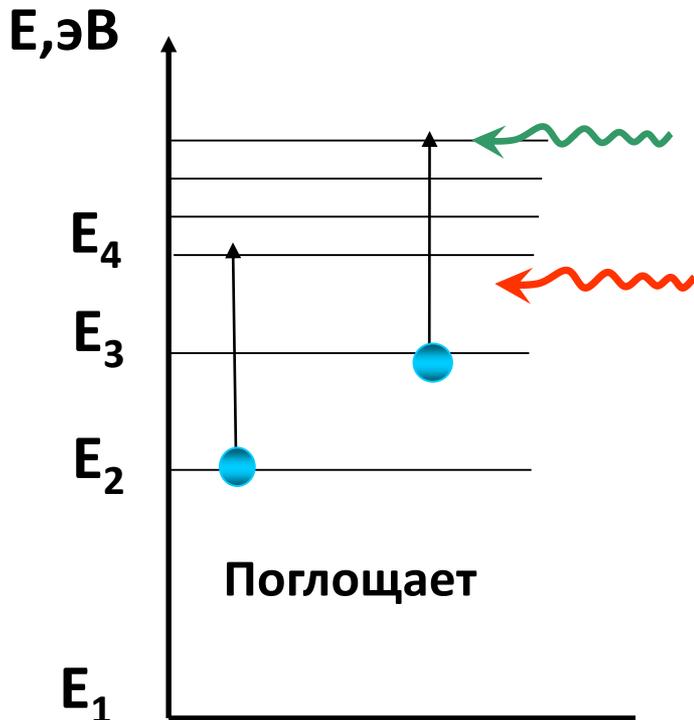
h – постоянная Планка

Частота излучения

$$\nu_{nm} = \frac{E_n - E_m}{h}$$

II ПОСТУЛАТ БОРА

При переходе атома из стационарного состояния с меньшей энергией E_n в стационарное состояние с большей энергией E_m поглощается квант, энергия которого равна разности энергий стационарных состояний:



$$h\nu_{nm} = E_n - E_m$$

h – постоянная Планка

Частота излучения

$$\nu_{nm} = \frac{E_n - E_m}{h}$$



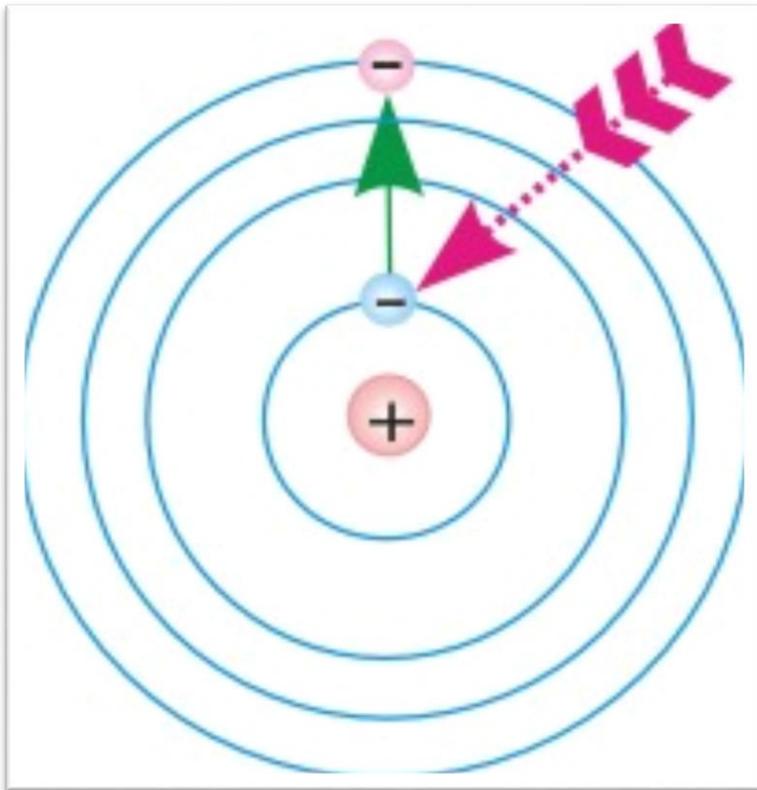
электрон



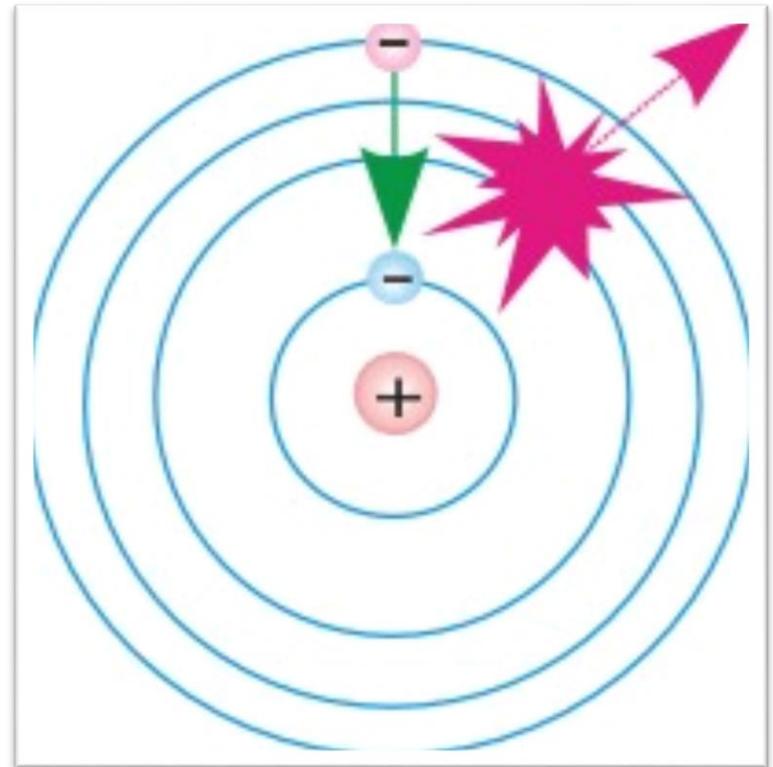
квант

Схемы перехода атома:

**1. из основного
стационарного состояния в
возбужденное**



**2. из возбужденного
стационарного состояния в
основное**



Энергетические диаграммы



Правило квантования Бора

В стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, должен иметь дискретные, квантованные значения момента импульса

$$m_e v r_n = n \frac{h}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

m_e - масса электрона,

v - скорость электрона

r_n - радиус стационарной круговой орбиты

Правило квантования Бора позволяет вычислить радиусы стационарных орбит электрона в атоме водорода и определить значения энергий

Правило квантования

Из первого постулата Бора энергия может принимать только определенное значение E_n . Электрон движется по круговой орбите, то

$$\left. \begin{array}{l} m v \\ - \text{модуль импульса } \bar{e} \\ r - \text{радиус орбиты} \end{array} \right\} \text{не меняются}$$

$[\hbar] = \text{Дж} \cdot \text{с}$ - Постоянная Планка.

mvr - момент импульса в механике

$$\text{Бор} \Rightarrow [mvr] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}} \cdot \text{м} = \text{Дж} \cdot \text{с} = [\hbar]$$

Бор предположил, что произведение модуля импульса на радиус орбиты кратно постоянной Планка.



$$mvr = n\hbar, \text{ где } n = 1, 2, 3, \dots - \text{правило квантования}$$

Скорость электрона

$$v = n\hbar / (mr)$$



Радиусы орбит



$$\left. \begin{aligned} \frac{mv^2}{r} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r} \\ mr v &= n\hbar \end{aligned} \right\} \Rightarrow r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2 n^2}{(me)^2} - \text{радиусы орбит}$$

Радиусы боровских орбит меняются

дискретно с изменением числа n .

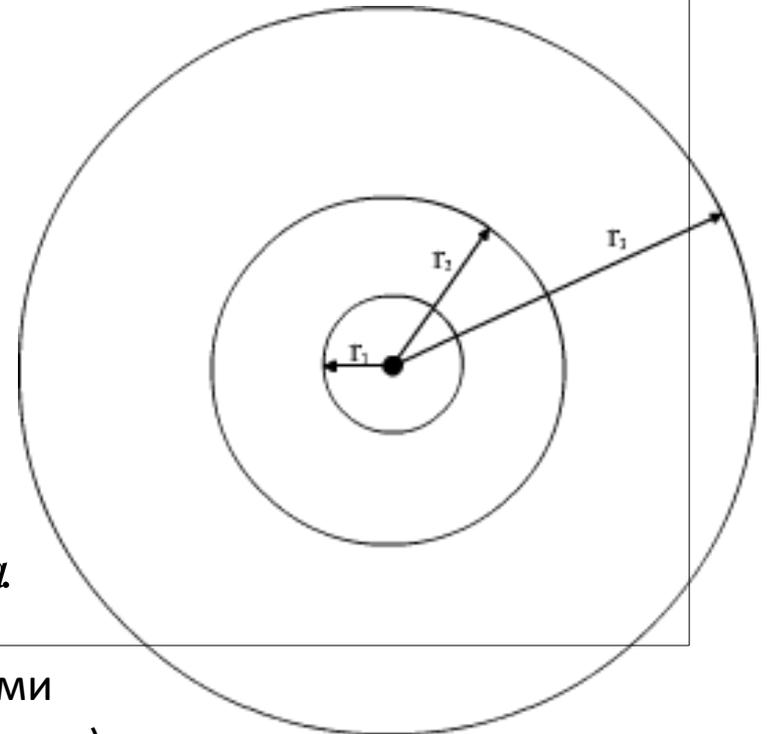
Значения электронных орбит определяют:

Наименьший радиус орбиты:

r_1 , где $n = 1$

$$r_1 = \frac{\hbar^2}{me^2} = 5 \cdot 10^{-9} \text{ см} - \text{радиус атома водорода}$$

$$\hbar; m_e = 9,1 \cdot 10^{-28} \text{ г}; \bar{e}$$



Размеры атома определяются квантовыми законами (радиус пропорционален квадрату постоянной Планка).

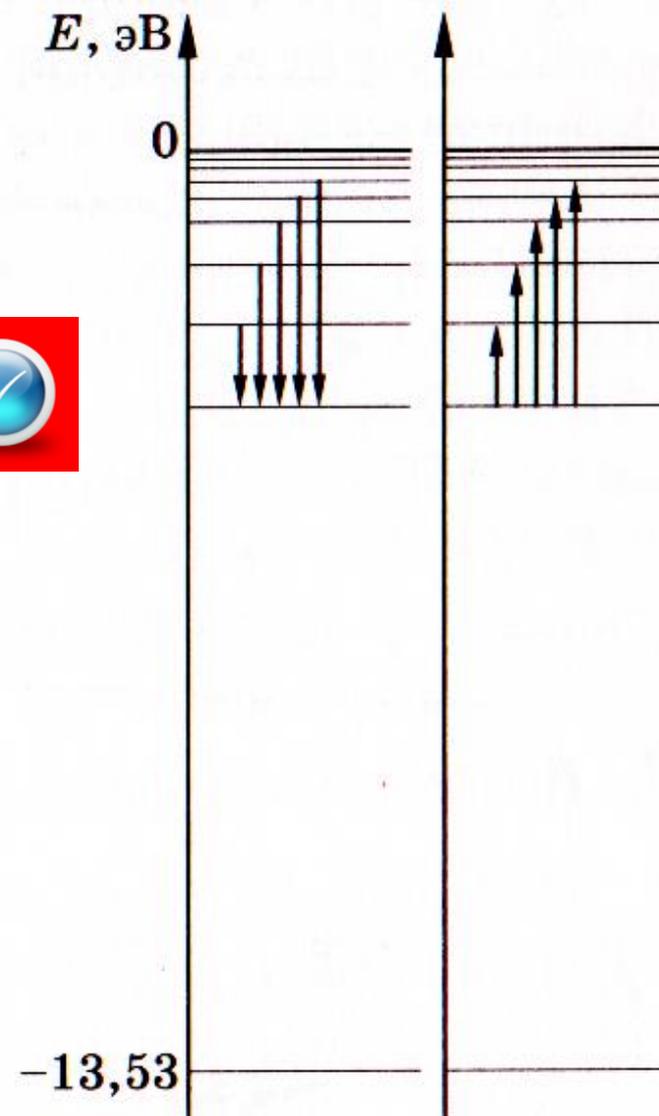
Классическая теория не может объяснить, почему атом имеет размеры порядка 10^{-8} см.

Энергия стационарных состояний

$$E = - \frac{me^4}{32\pi^2 \varepsilon_0^2 \hbar^2 n^2}$$



- дискретные
(прерывистые) значения
энергий стационарных состояний атома
(энергетические уровни).



Низшее энергетическое состояние

$$n = 1; \quad E_1 = -2,168 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = -13,53 \text{ эВ}$$

Чтобы ионизировать атом водорода, ему нужно сообщить энергию 13,53 эВ – энергия ионизации

Возбуждающий атом: $n = 2, 3, 4, \dots$



$\tau = 10^{-8} \text{ с}$ – время жизни в возбужденном состоянии. За время τ электрон успевает совершить около ста миллионов оборотов вокруг ядра.

Энергия электрона в атоме водорода

$$E_n = \frac{E_1}{n^2}$$

Спектральные закономерности

Серии излучения атома водорода

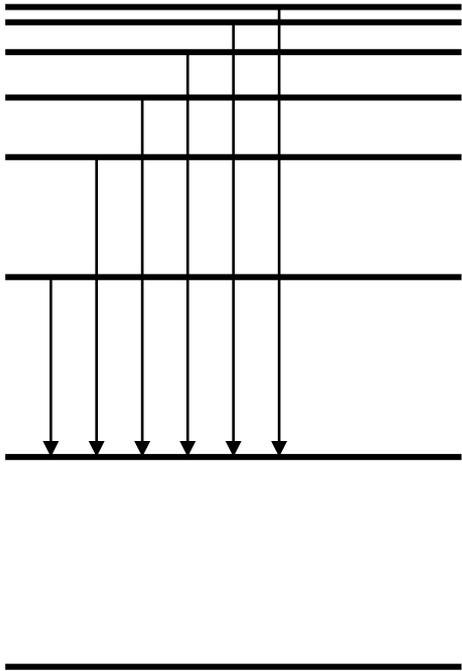
- **Серия Бальмера**
- **Серия Лаймана**
- **Серия Пашена**



Серия Бальмера

1885 г

видимый диапазон



$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$n = 3, 4, 5, \dots$$

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

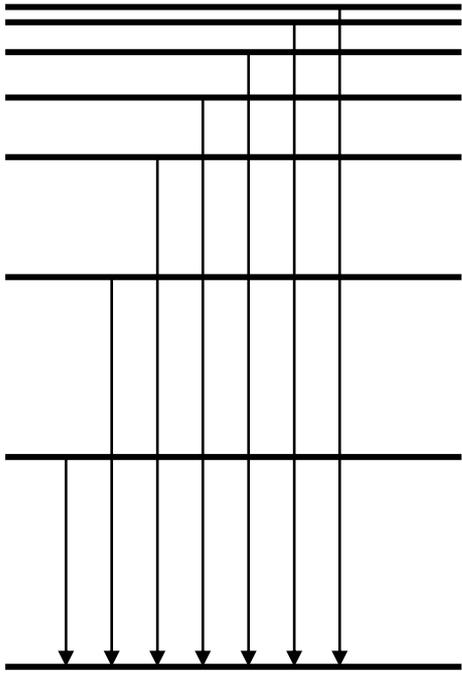
$$R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

$$\nu = cR \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$



Серия Лаймана

ультрафиолетовый диапазон



$$R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$



$$n = 2, 3, 4, 5 \dots$$

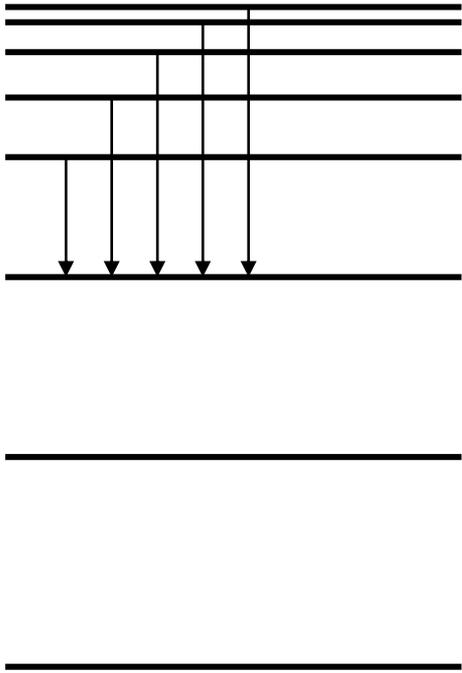
$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

$$\nu = cR \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$



Серия Пашена

инфракрасный диапазон



$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$n = 4, 5, 6, \dots$$

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

$$\nu = cR \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$



$$R = 1,097 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$



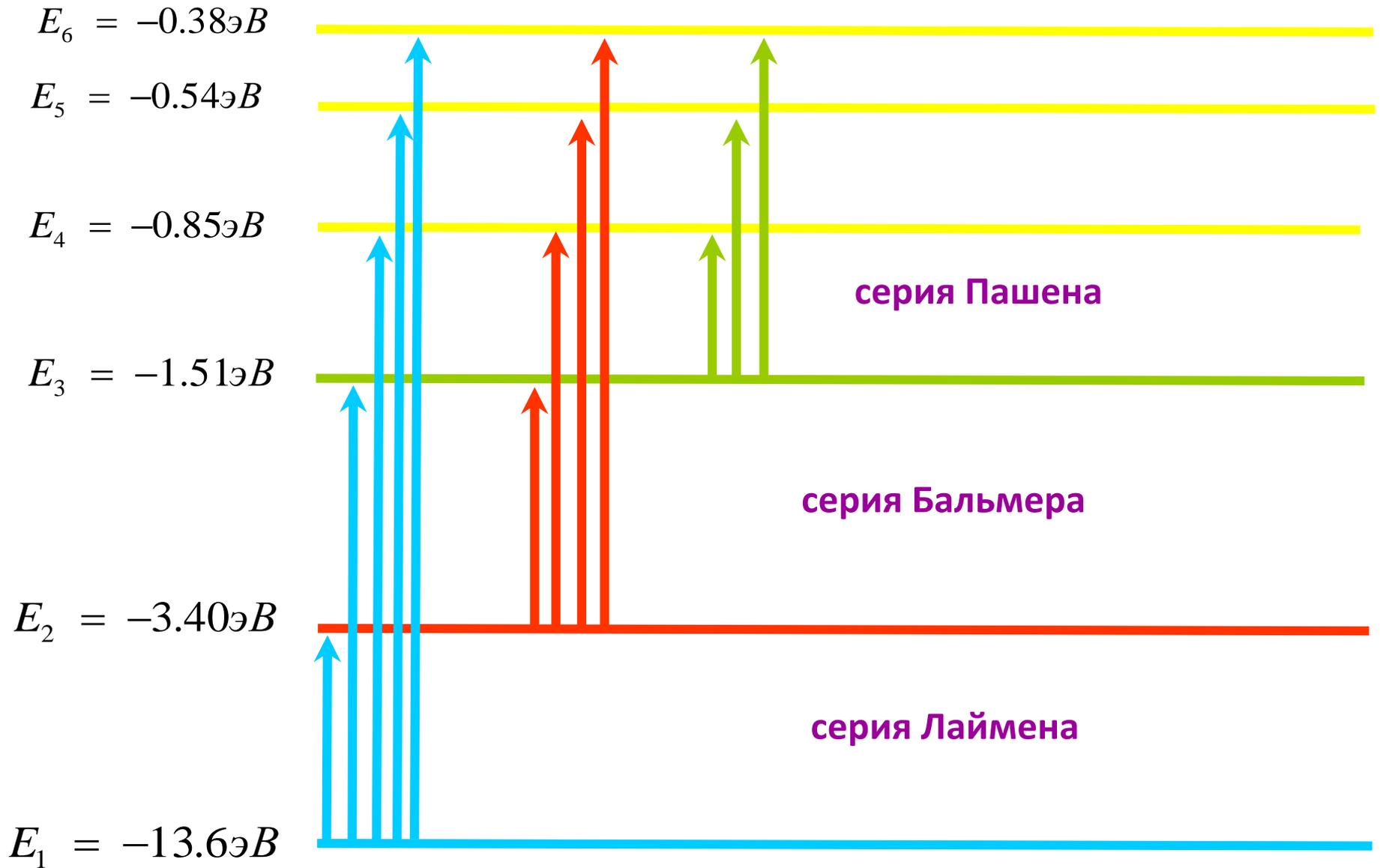
Обобщенная формула Бальмера



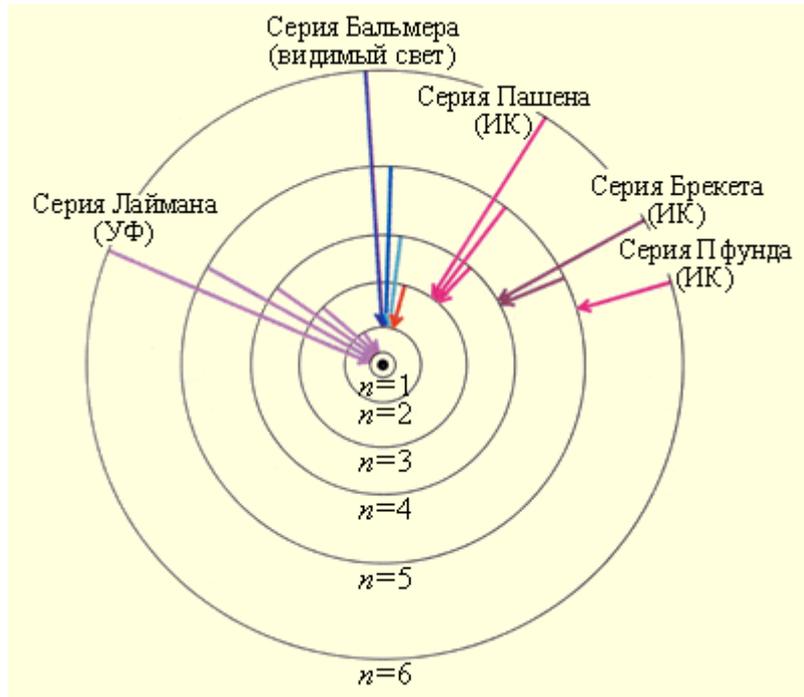
$$\frac{1}{\lambda} = R' \cdot \left[\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right]$$

постоянная Ридберга $R' = 1,097 \cdot 10^{-7} \text{ м}^{-1}$

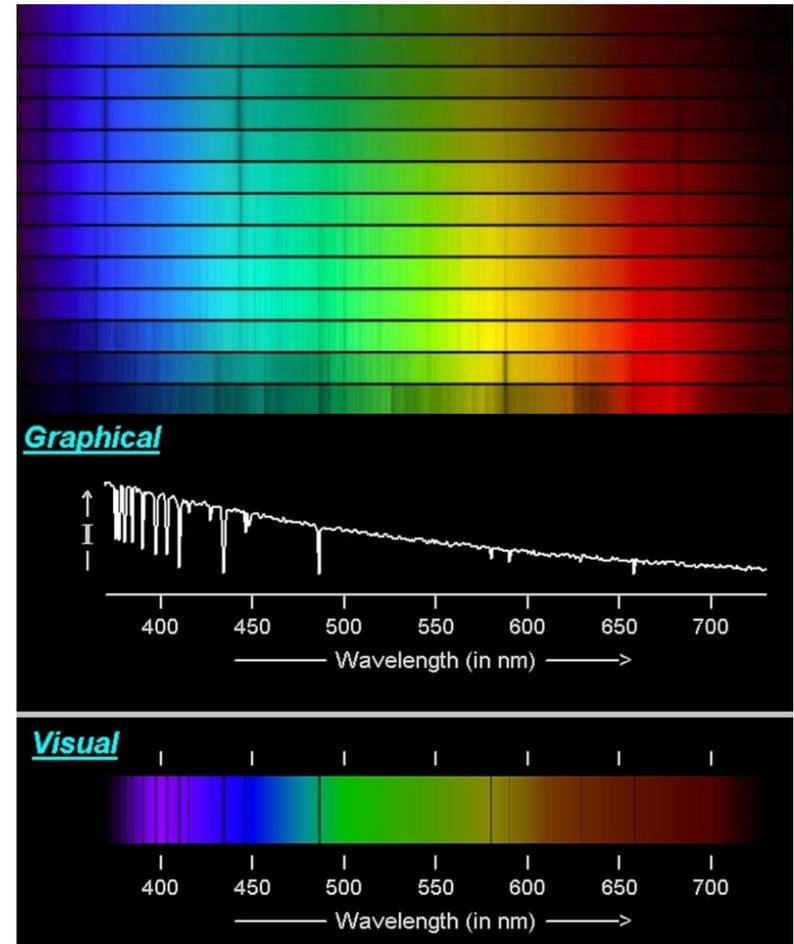
Серии излучения атома водорода



Атомные спектры



Образование спектральных серий в атоме водорода.



Излучение света

Возможные частоты излучения атома водорода:

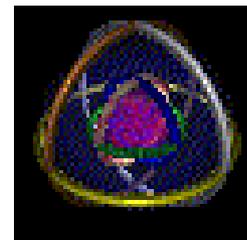
$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{me^4}{4\pi\hbar^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right) = R \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$$

где $R = \frac{me^4}{4\pi\hbar^3}$ - постоянная Ридберга $R = 109737,316 \text{ см}^{-1}$.

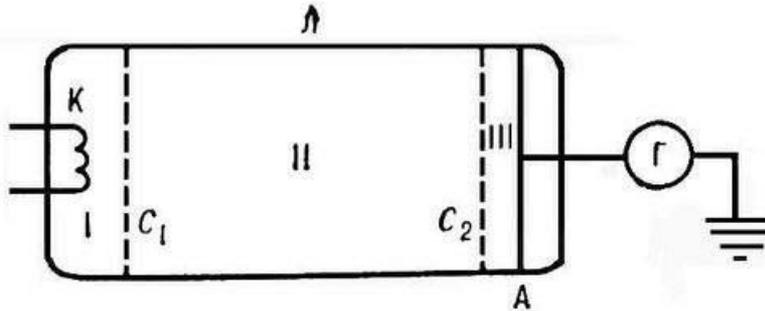
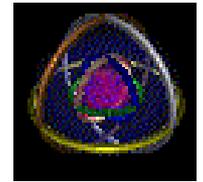
Теория Бора приводит к количественному согласию с экспериментом для значений частот, излучаемых атомом водорода. Все частоты излучений атома водорода образуют ряд серий, каждому из которых соответствует определенное значение числа n и различные значения $k > n$.

Применение теории Бора и её экспериментальные обоснования

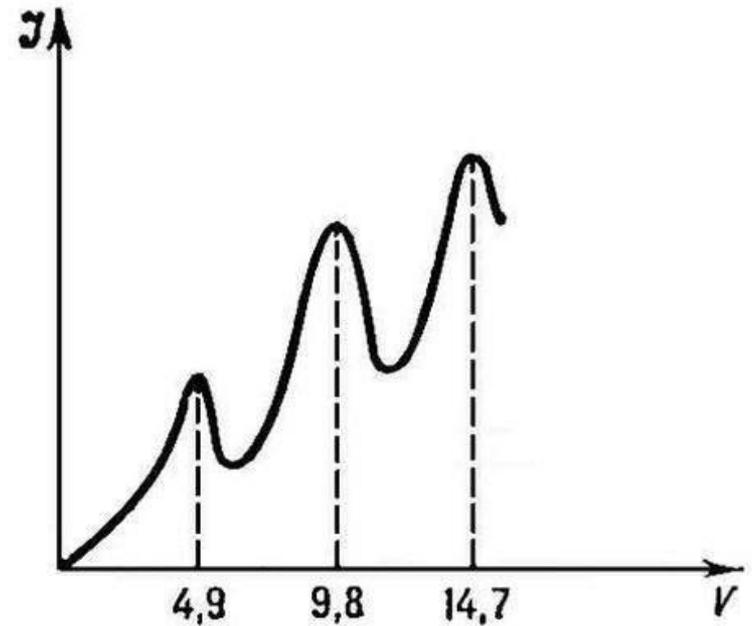
- Объясняет строение атома водорода и водородоподобных атомов
- Существование спектральных серий: Лаймана, Бальмара, Пашина, Брекета, и Пфунда
- Опыты Франка и Герца



Опыты Франка - Герца

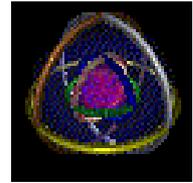


- **Рис. 1.** Схема опыта Франка — Герца. В сосуде Л находятся пары ртути при давлении 1 мм. рт. ст. К — накаливаемый катод, С1 и С2 — ускоряющая и замедляющая сетки, А — анод. Ток регистрируется гальванометром Г.

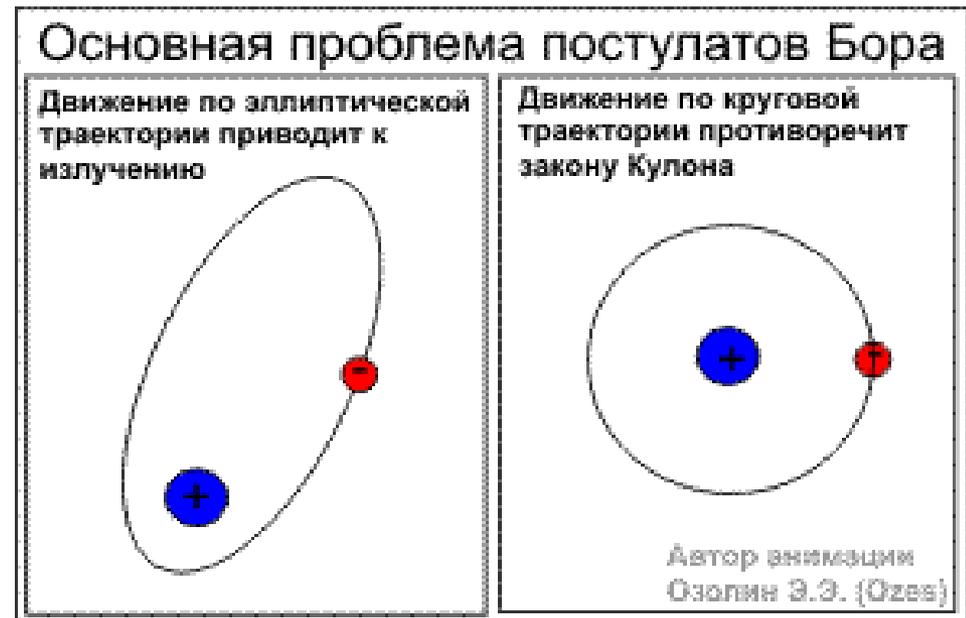


- **Рис. 2.** Зависимость силы тока от величины ускоряющего потенциала $I(V)$ в опыте Франка — Герца

Недостатки теории Бора

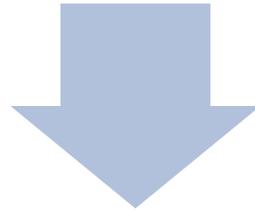


- Является половинчатой (были использованы законы классической механики и квантовые постулаты)
- Постулаты Бора являются следствием квантовой механики и электродинамики
- Правило квантования Бора применяется не всегда
- Электроны не имеют определенных орбит, как в теории Бора



Теория Бора построила количественную теорию спектра атома водорода.

Относительно атомов гелия и более сложных атомов **теория Бора** позволяла делать лишь качественные (хотя и очень важные) заключения, но не удалось построить количественную теорию.



**Квантовая механика и
квантовая
электродинамика**