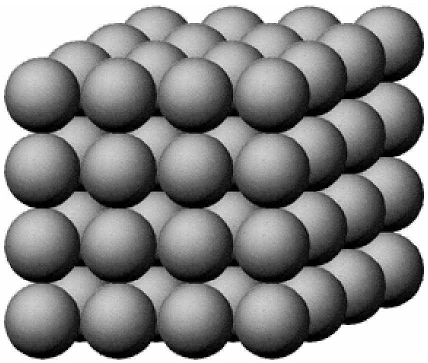
Проблема стабильности и размера атомов

Оценка размера атома

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{A}{N_A V_0}$$

$$V_0 = (2R)^3$$

$$R = \frac{1}{2}\sqrt[3]{\frac{A}{\rho N_A}}$$



Оценка размера электрона

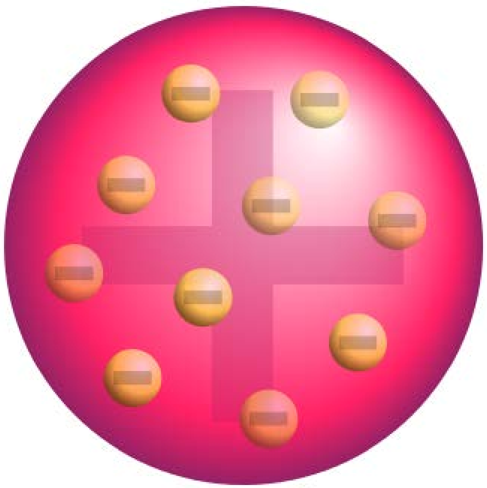
$$mc^2 = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 r_e}$$

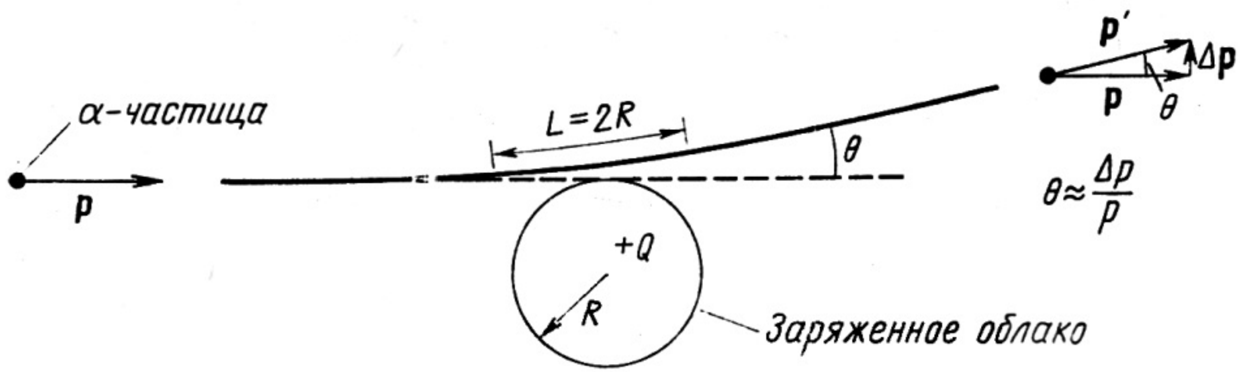
$$r_e = \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 mc^2} = 2.8\cdot 10^{-15}$$

	ρ, г/см^3	A	R, нм
C	3.5	12	0.09
Al	2.7	27	0.13
Fe	7.8	56	0.12
Pt	21.4	195	0.12

Размеры атомов не зависят от плотности и атомного веса

Проблема стабильности и размера атомов. Модель атома Томсона.





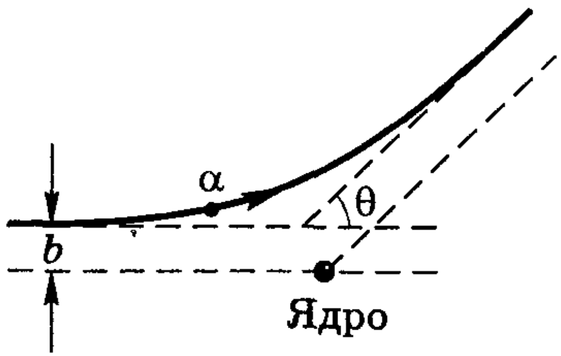
Отклонение α-частицы заряженным облаком.

$$\Delta p = F\Delta t = \frac{4eQ}{4\pi\varepsilon_0 RV}$$

$$\Theta_1 = \frac{\Delta p}{p} = \frac{2Ze^2}{4\pi\varepsilon_0 RE_\alpha} = 3\cdot 10^{-4}\,рад = 0.02^0$$

$$\Theta = \sqrt{N}\Theta_1 = 1-2^0$$

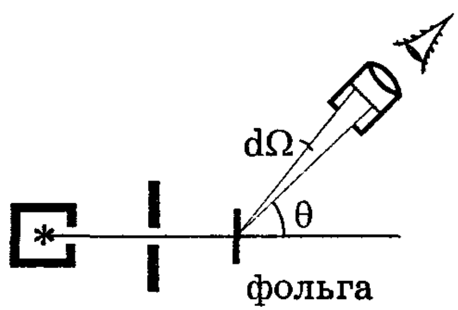
Модель атома Резерфорда. Экспериментальное доказательство существования атомного ядра (1911).



Относительное число рассеянных частиц

$$\frac{dN}{N} = n\left(\frac{qq_0}{4K}\right)^2 \frac{d\Omega}{\sin^4(\theta/2)}$$

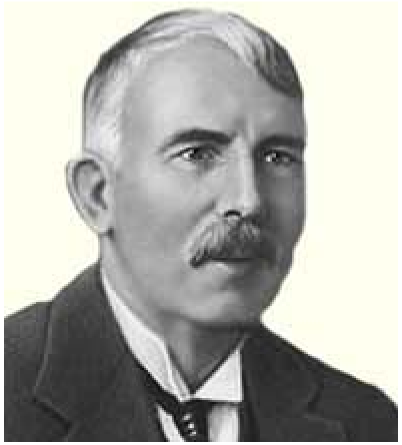
формула Резерфорда



$$dN \cdot \sin^4(\theta/2) = \text{const.}$$

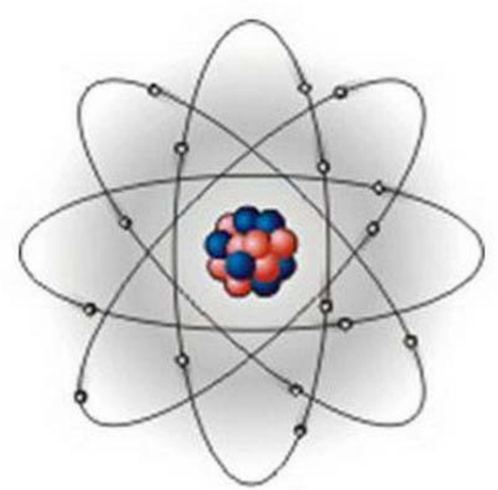
n-число атомов на единицу поверхности, q, q_0 – заряд частицы и ядра,
K – начальная кинетическая энергия частиц (вдали от ядра)

Проблема стабильности и размера атомов



Эрнест Резерфорд
1871-1937

Директор Кавендишской лаборатории (с 1919). Открыл (1899) альфа-лучи, бета-лучи и установил их природу. Создал (1903, совместно с Фредериком Содди) теорию радиоактивности. Предложил (1911) планетарную модель атома. Осуществил (1919) первую искусственную ядерную реакцию. Предсказал (1921) существование нейтрона. Нобелевская премия (1908).

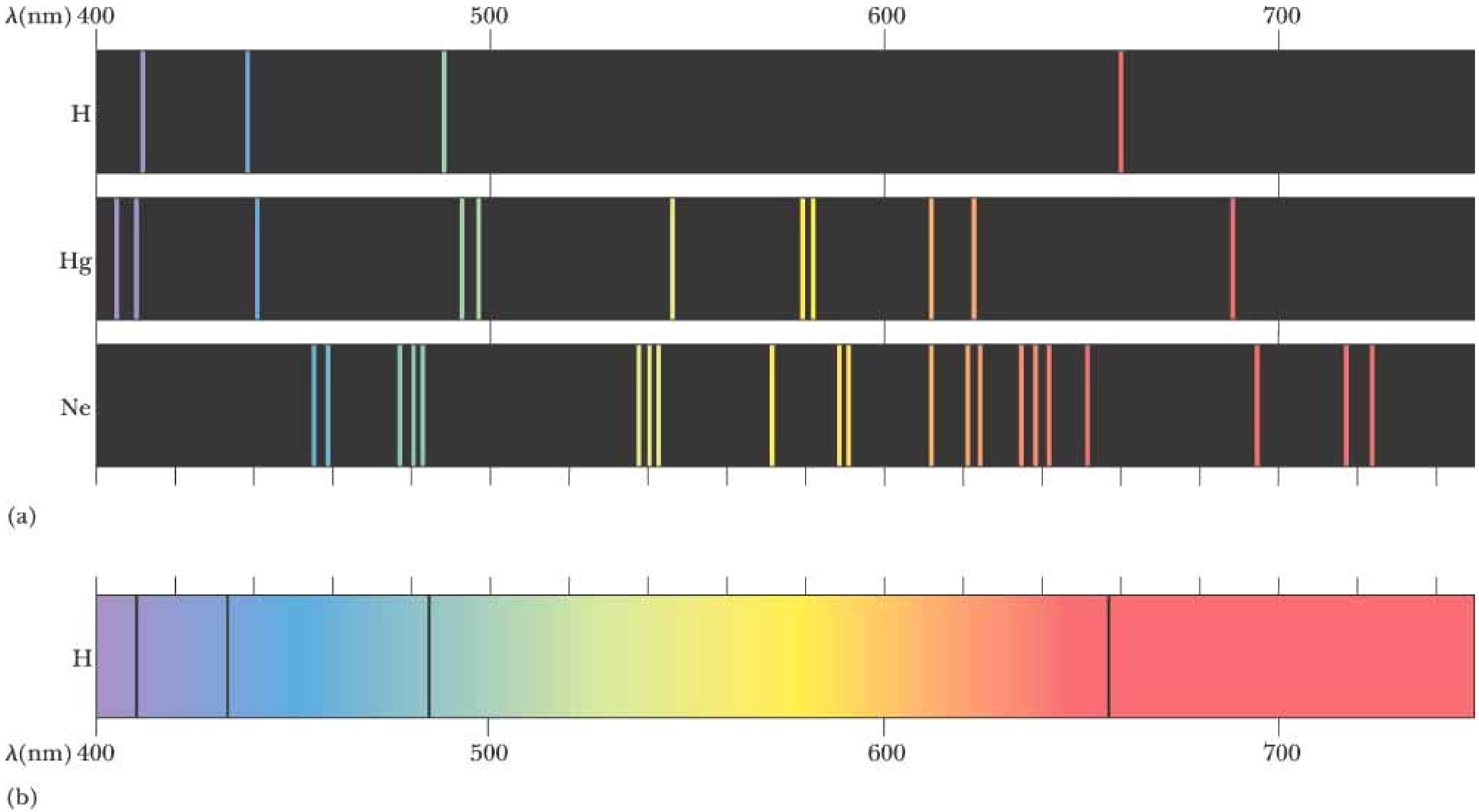


Радиационная неустойчивость модели атома Резерфорда: по классической физике, движущийся с ускорением электрон должен терять энергию за счет излучения и падать на ядро.

$$P = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2e^2}{3c^3}a^2$$

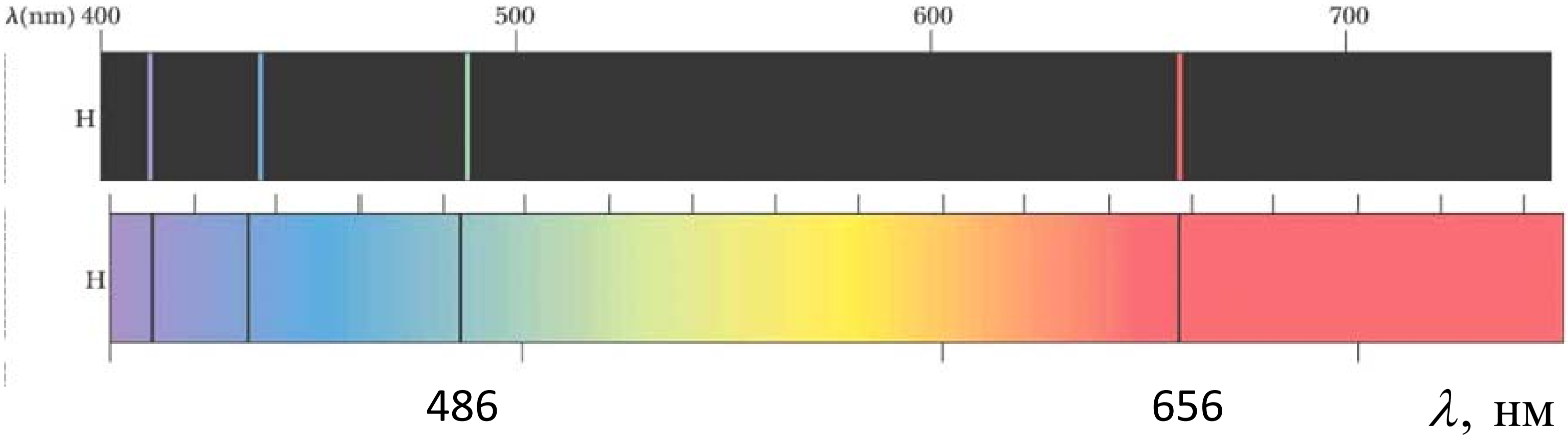
$$\tau \approx 10^{-11} c$$

Дискретность атомных спектров



Дискретность атомных спектров

Спектры излучения и поглощения атомарного водорода в видимой области



$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right), \quad n = 3, 4, \ldots$$

Формула Бальмера (1985)

$$R \approx 109737 \text{ см}^{-1}$$

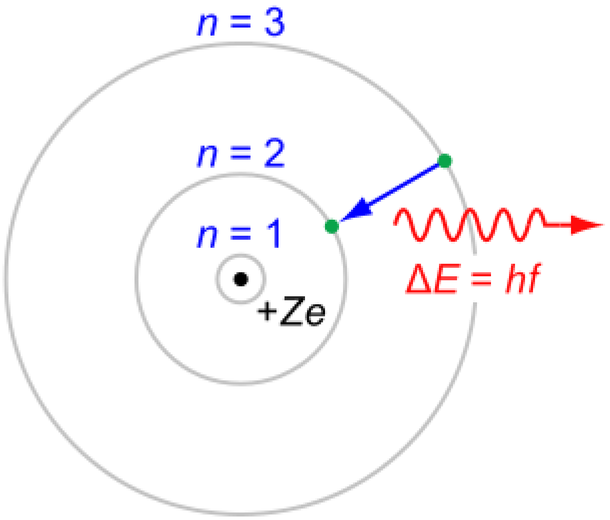
постоянная Ридберга

Постулаты Бора (1913)

1) Атом может находиться в определенных *стационарных состояниях*, которые характеризуются дискретными уровнями энергии $E_1, E_2, \ldots$. В этих состояниях атом не излучает и не поглощает энергию.

2) При переходе атома из одного стационарного состояния в другое он излучает (поглощает) квант света (фотон) с энергией

$$\boxed{\hbar\omega = E_2 - E_1}$$



Правило квантования Бора

Принцип соответствия: при предельном переходе квантовые представления должны соответствовать классическим

Согласно представлениям классической физики, электрон , движущийся по круговой орбите с угловой скоростью ω, излучает на частоте ω.
По Планку, энергия излучателя квантуется.

Энергия электрона на орбите

$$|E| = E_{кин} = \frac{1}{2}m\text{v}^2 = \frac{1}{2}m(\omega r)^2$$

По Планку: $E_n = \alpha n\hbar\omega, \ \alpha = \text{const}$

Бор: пусть $\alpha = \dfrac{1}{2}$ тогда:

$$\boxed{L = rm\text{v} = n\hbar}$$

Боровский радиус орбиты и энергия электрона водородоподобных систем (H, He^{+},Li^{++} …)

Ze - заряд ядра, $m\dfrac{v^2}{r} = \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Ze^2}{r^2}$ - уравнение движения

$E = E_{кин} + U = \dfrac{mv^2}{2} - \dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Ze^2}{r} = -\dfrac{1}{4\pi\varepsilon_0}\dfrac{Ze^2}{2r}$ - энергия электрона

Из правила квантования $L = m\text{v}r = n\hbar \Rightarrow \text{v} = \dfrac{n\hbar}{rm}$

$$\boxed{r_n = 4\pi\varepsilon_0 \frac{\hbar^2}{me^2}\frac{n^2}{Z}}$$

для ${}^1_1$H: $r_1 = a_0 \approx 0,53\cdot 10^{-10}\,м = 0,53\,\mathring{A}$

$$\boxed{E_n = -\frac{1}{(4\pi\varepsilon_0)^2}\frac{me^4}{2\hbar^2}\frac{Z^2}{n^2}}$$

$E_1 = -13,6\,эВ$

Спектральные серии водородоподобных систем (H, He$^+$, Li^{++} …)

Обобщенная формула Бальмера

$$\hbar\omega = E_2 - E_1 = \frac{1}{(4\pi\varepsilon_0)^2}\frac{me^4 Z^2}{2\hbar^2}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) = Z^2 Ry\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)$$

$$Ry = \frac{1}{(4\pi\varepsilon_0)^2}\frac{me^4}{2\hbar^2} = 13.6\ \text{эВ} \qquad Z^2 Ry = E_{связи} = E_{ионизации}$$

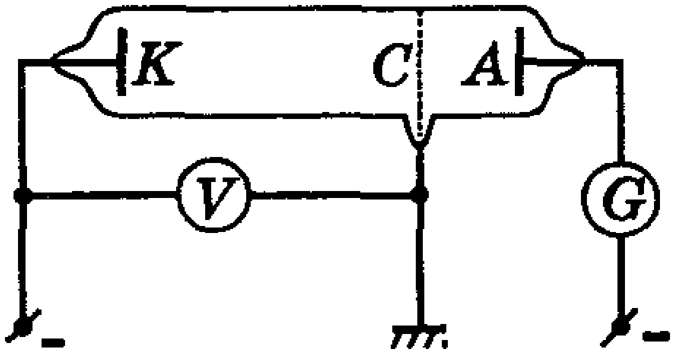
$$\mu = \frac{mM}{M+m} \qquad Ry\left(\frac{m}{M}\right) = \frac{Ry}{1+\frac{m}{M}} \approx Ry\left(1 - \frac{m}{M}\right)$$

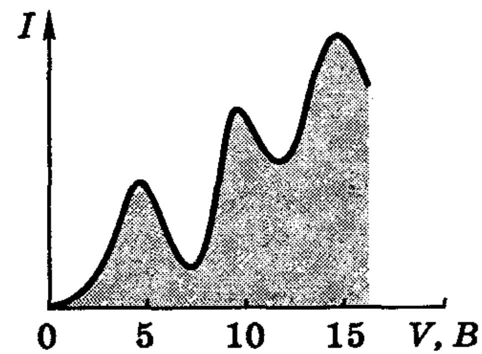
Изотопический эффект (сдвиг линий для изотопов водорода):

Для дейтерия $$Ry(D) - Ry(H) = Ry\frac{m}{2M} \approx 2.7\cdot 10^{-4}\,Ry$$

Для трития $$Ry(T) - Ry(H) = Ry\frac{2m}{3M} \approx 3.6\cdot 10^{-4}\,Ry$$

Эксперименты Франка и Герца (1913)

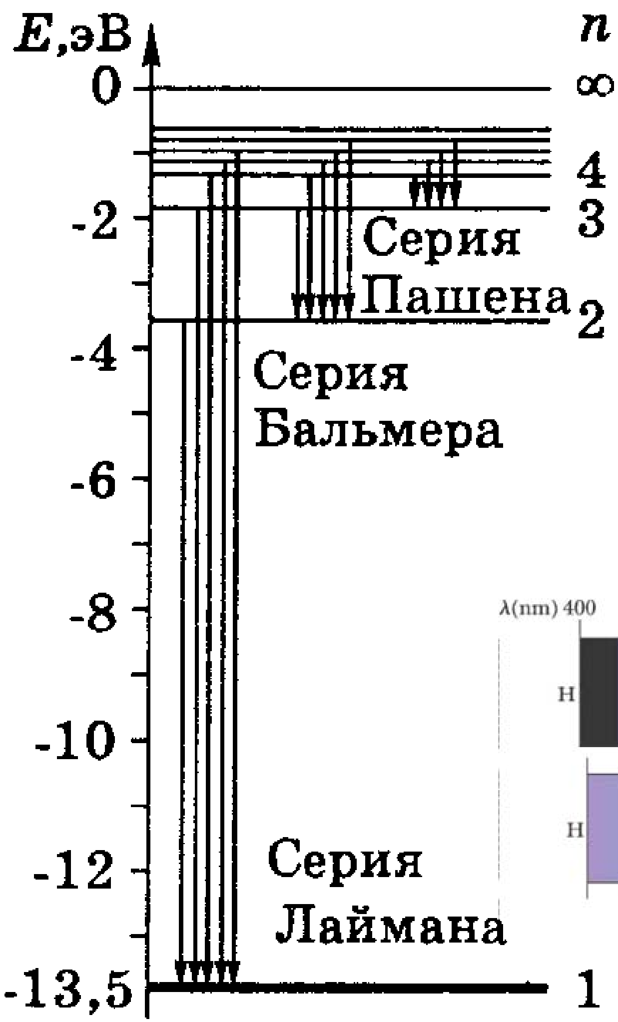




Пары Hg   1 мм рт. ст.

4.9эВ   λ=2536Å

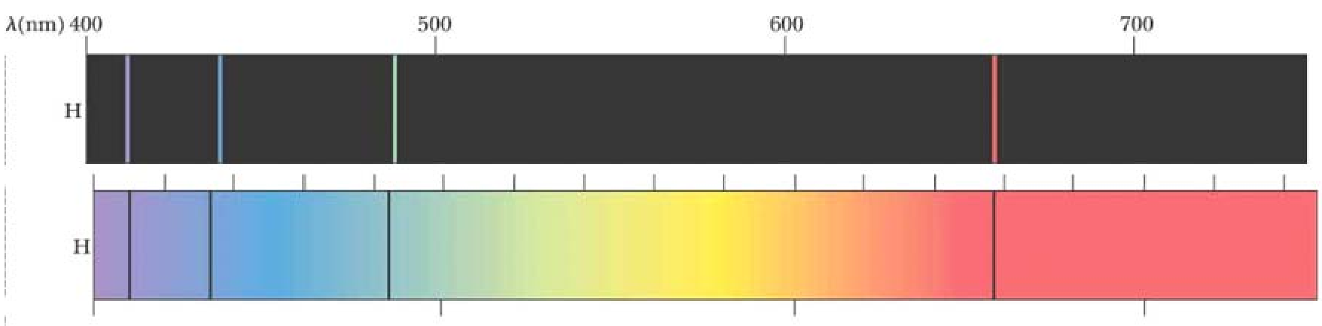
Спектральные серии атома водорода



$$E_n = -Ry\frac{Z^2}{n^2} \Rightarrow E_1(Z=1) = -13,6эВ$$

$$E_2(Z=1) \approx -3,5эВ$$

$$\boxed{\hbar\omega = E_2 - E_1 = Z^2 Ry\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right)}$$



Правило квантования Бора

В атоме водорода электрон движется по круговым орбитам, для которых его момент импульса равен

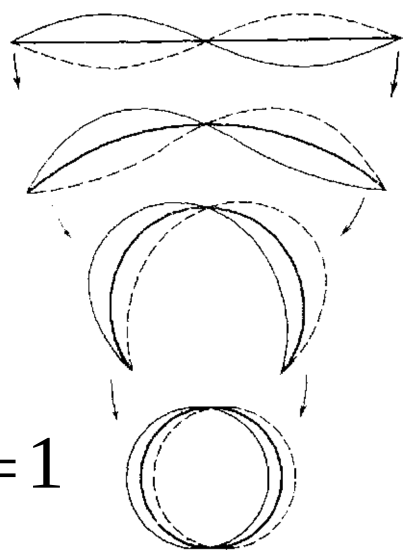
$$L = n\hbar, \quad n = 1, 2, 3\ldots$$

Правило квантования Бора по де Бройлю

$$\boxed{L = r_n p = n\hbar \quad \Rightarrow \quad 2\pi r_n = n\lambda}$$

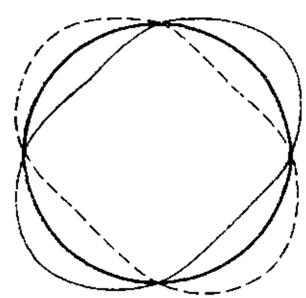
$$\boxed{\lambda = \frac{h}{p} = \frac{2\pi\hbar}{p}}$$

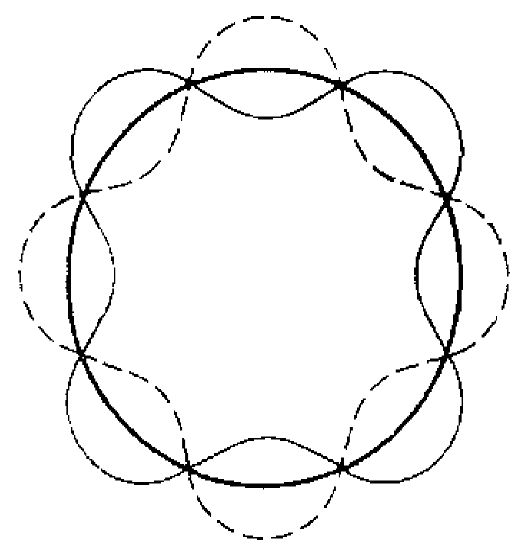
На орбите укладывается целое число волн де Бройля



$n = 1$

$n = 2$





$n = 4$