

ФОТОНЫ

Фотон - элементарная частица,
которая движется со скоростью
света и имеет энергию

$$\varepsilon = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Масса фотона

Масса покоя фотона равна

нулю.

Массу движущегося фотона найдем
из закона взаимосвязи массы и

$$\varepsilon = mc^2 \left. \vphantom{\varepsilon = mc^2} \right\} \text{энергии:}$$

$$\varepsilon = h\nu$$

$$\varepsilon = \frac{hc}{\lambda}$$

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$$

Импульс фотона

$$p = mc = \frac{\varepsilon}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Давление света

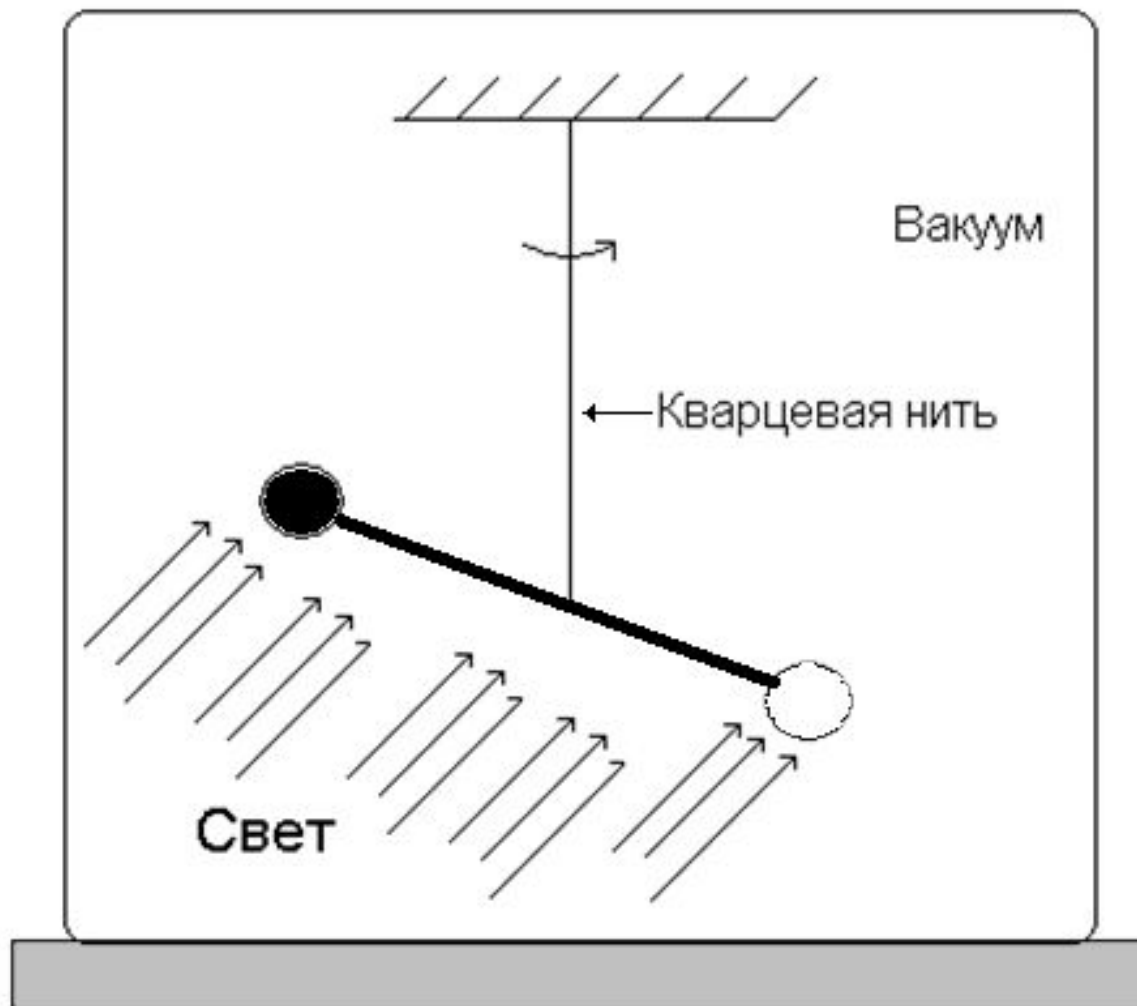


**Петр Николаевич
ЛЕБЕДЕВ**
(1866—1912)

**Основатель выдающейся
школы физиков Московского
университета. Блестящий
экспериментатор. Первым
измерил давление света на
твердые тела,
экспериментально доказав
наличие импульса у
электромагнитного
излучения.**

«Я всю жизнь воевал с

Опыт Лебедева



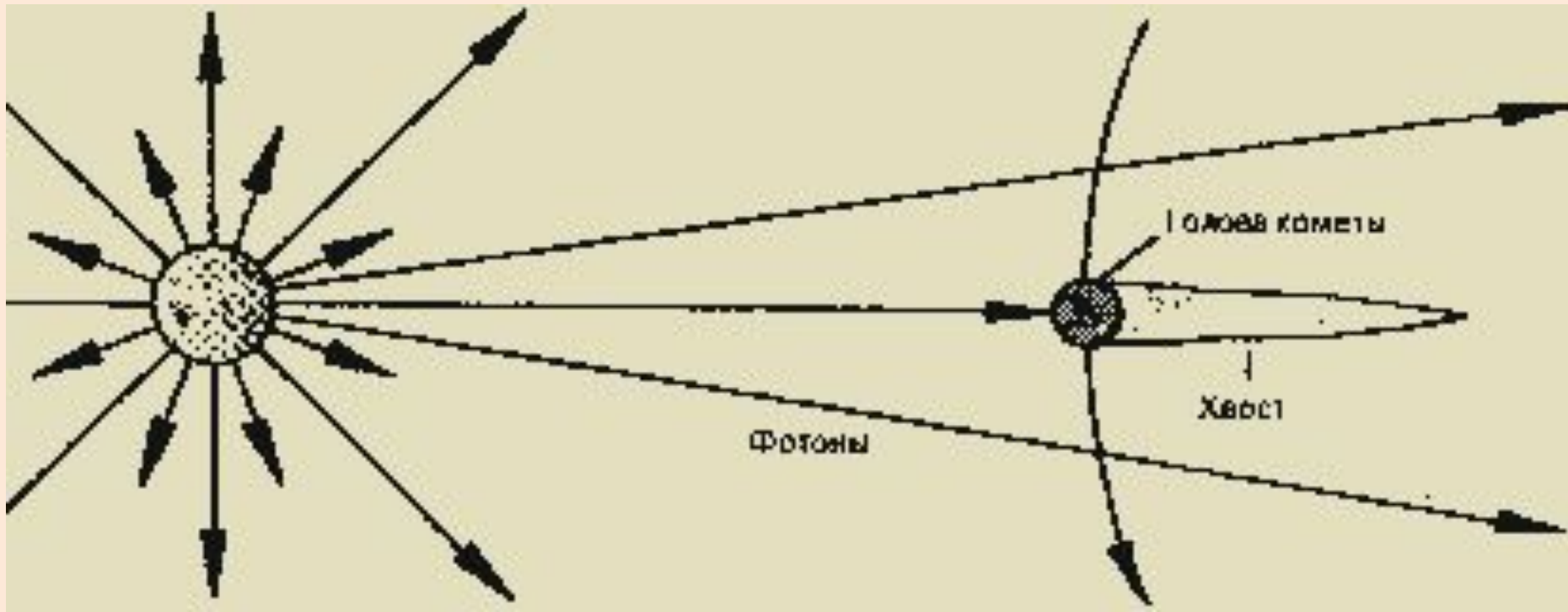
Если в единицу времени
на единицу площади
поверхности с
коэффициентом
отражения ρ падает N
фотонов, то
 ρN фотонов отразится,
а $(1 - \rho N)$ фотонов

Давление света

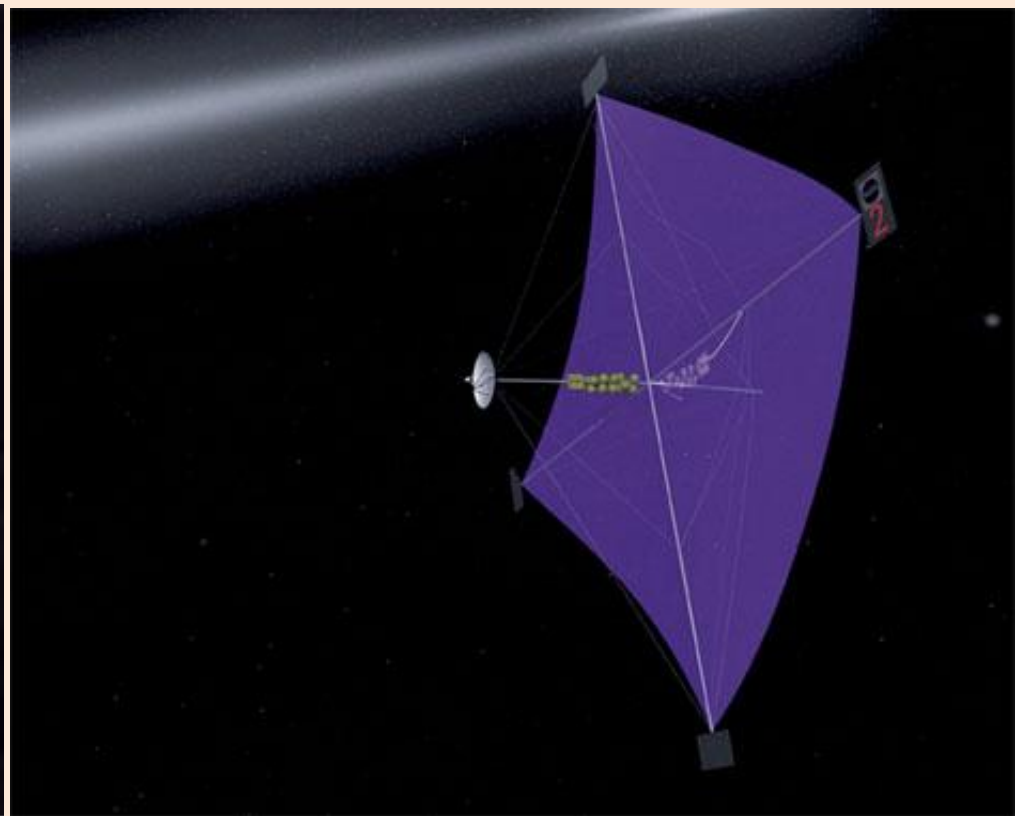
$$p = \frac{E}{c} (1 + \rho) = w (1 + \rho)$$

E - энергия N фотонов,
падающих на 1 м^2 в 1 с .

Давлением света объясняется форма кометных хвостов.



Солнечный парус



Гипотеза де Бройля

В 1924 г. Луи де Бройль выдвинул гипотезу об универсальности корпускулярно-волнового дуализма: не только фотоны, но и любые частицы материи наряду с корпускулярными обладают также и волновыми свойствами.

**Связь величин, описывающих
корпускулярные и волновые
свойства частиц та же, что и для
фотонов:**

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

Длина волны де Бройля тем меньше, чем больше масса частицы и ее скорость.

Пусть $m = 1$ г, $v = 1$ м/с, тогда
 $\lambda \approx 10^{-30}$

Волновые свойства никак не проявляются в механике макроскопических тел.

Для электрона с энергиями от 10 эВ до 10^4 эВ длины волн де Бройля лежат в интервале

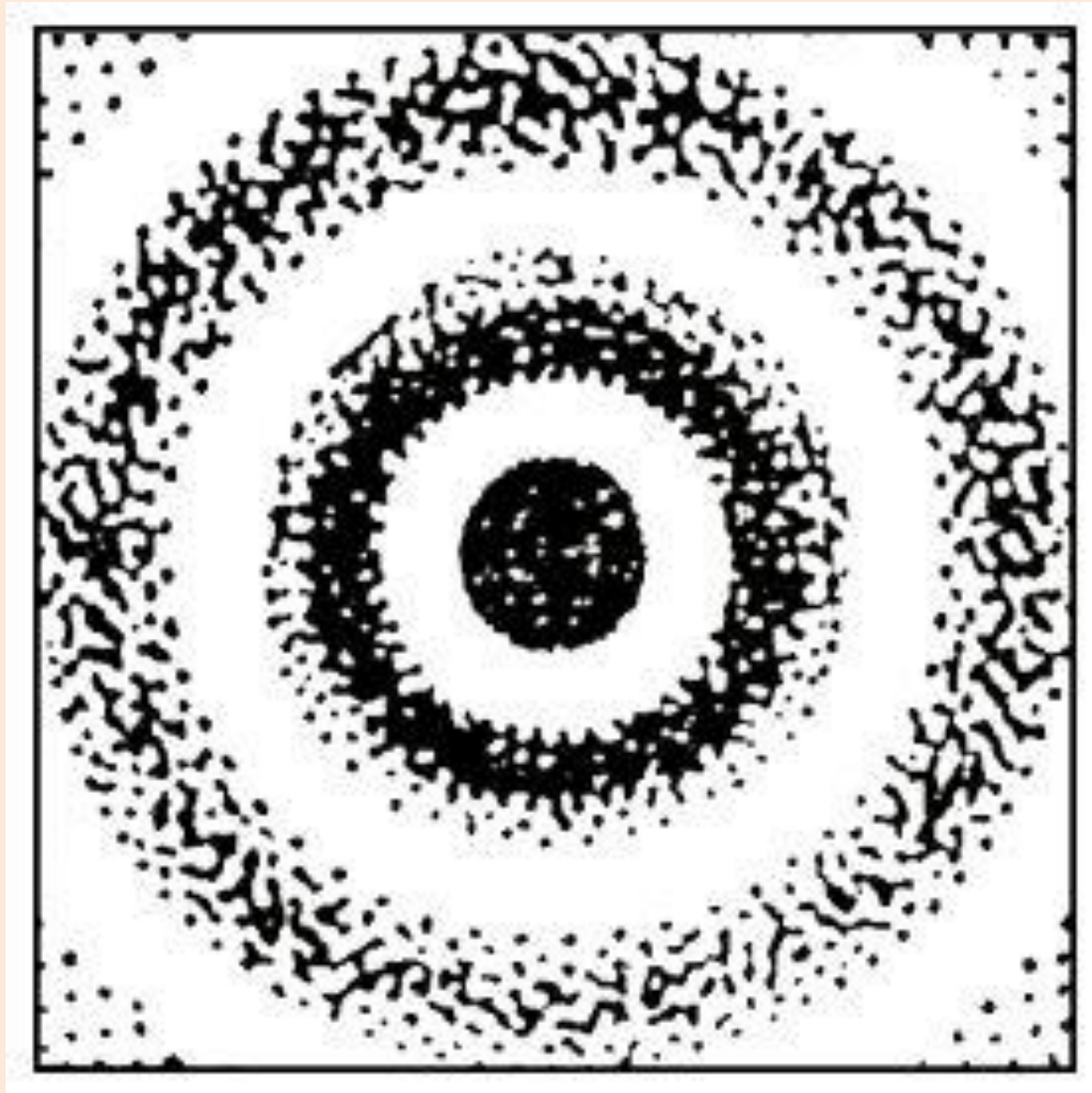
$$\lambda \approx (0,1 - 10) \cdot 10^{-10}$$

как для рентгеновского излучения. Для таких электронов должна наблюдаться дифракция на кристаллах.

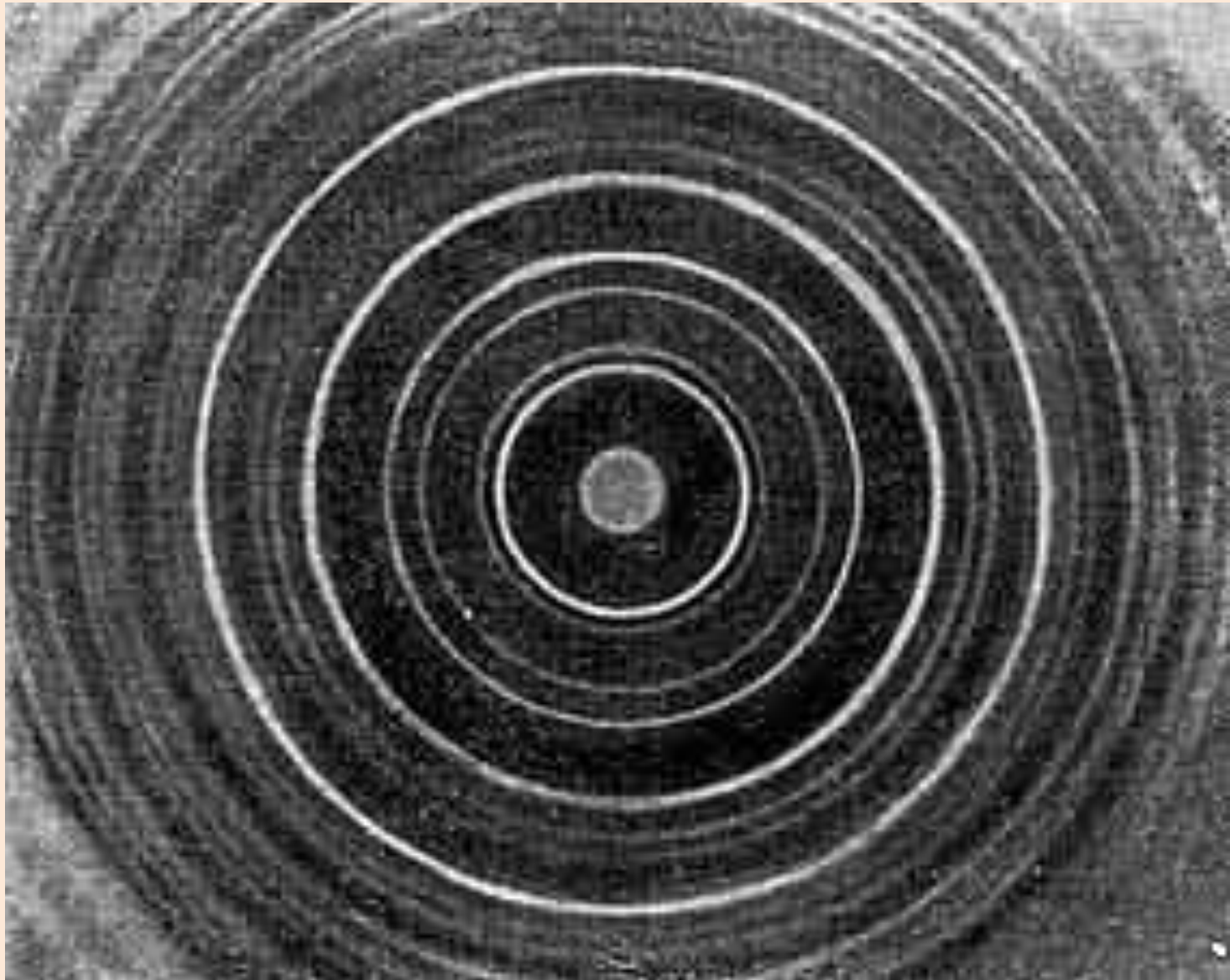
**Первое экспериментальное
подтверждение гипотезы де Бройля
было получено в 1927 году в опытах
К. Дэвиссона и Л. Джермера.**

**Было установлено, что электроны
дифрагируют на кристалле никеля,
причем именно так, как должно быть
для волн, длина которых
определяется соотношением де
Бройля.**

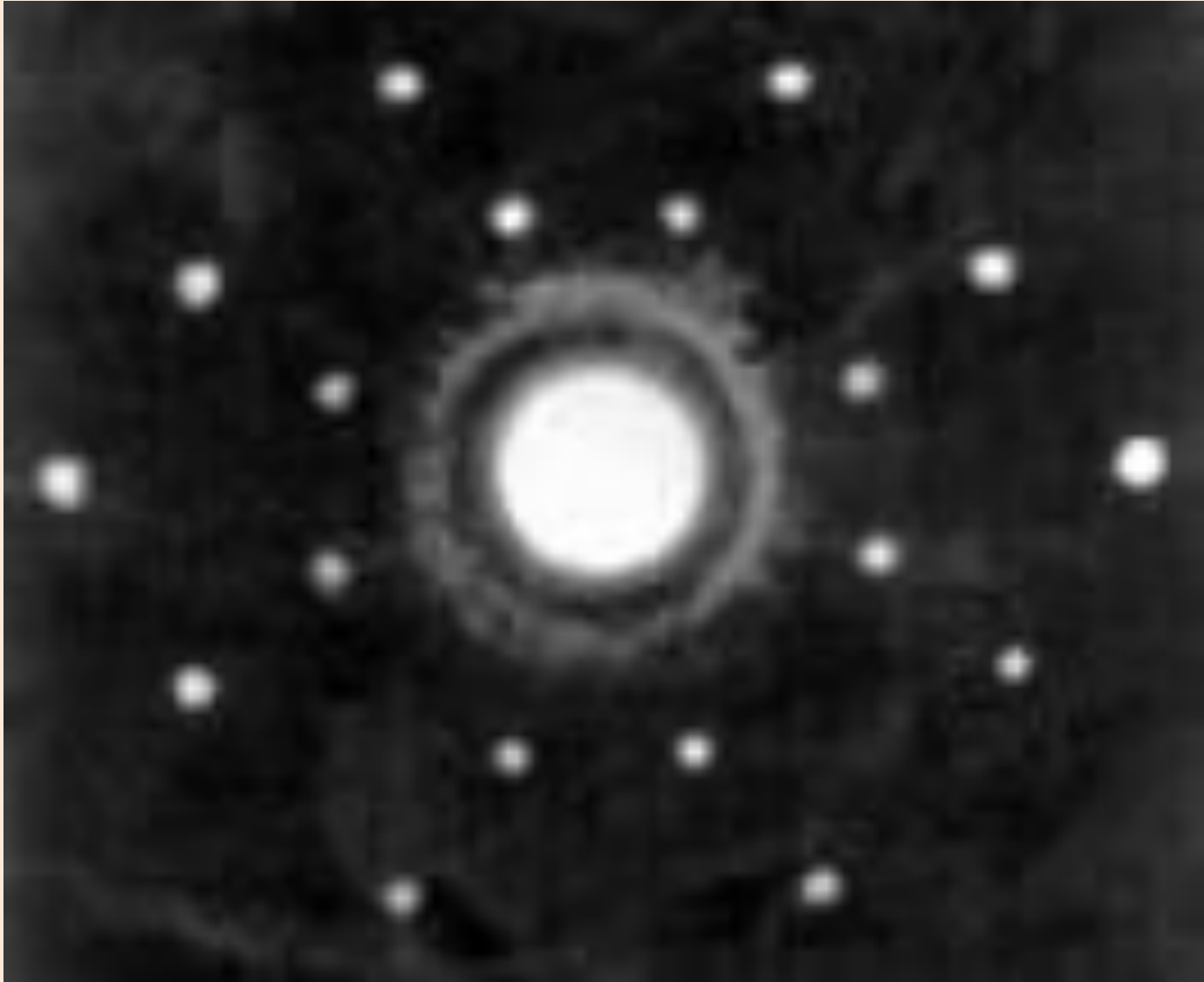
Опыт В.А. Фабриканта (1949 г.)



Дифракция электронов при прохождении через очень тонкий слой серебра

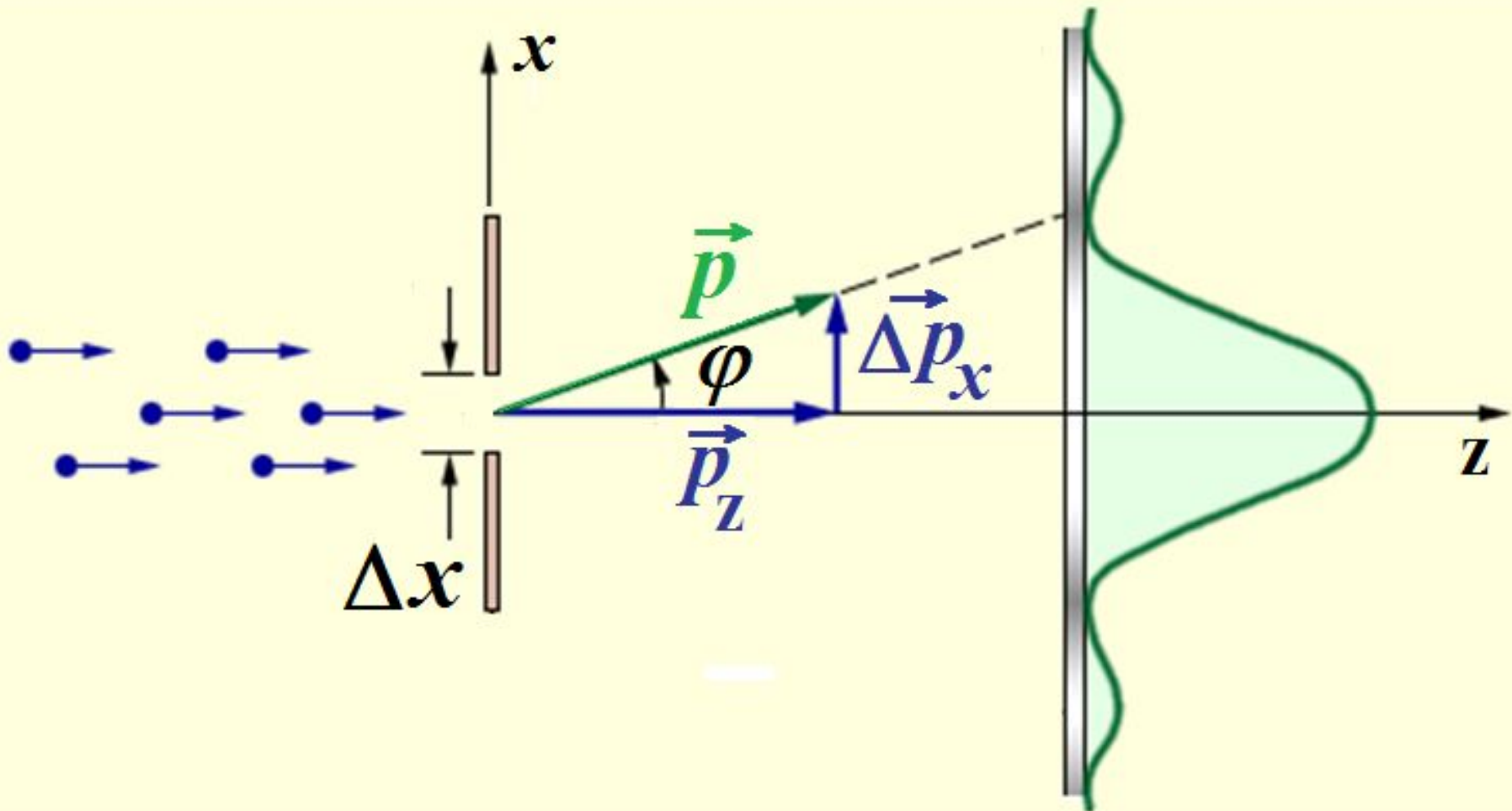


Дифракция нейтронов



Соотношение неопределенностей Гейзенберга

Рассмотрим дифракцию электронов на щели.



**Пусть условно все
электроны летят в
центральный максимум.
Координата x каждого электрона
точно не известна.
Неопределенность координаты
равна ширине щели Δx .**

**Компонента импульса по x также
неизвестна. Запишем ее как Δp_x .**

Запишем условие первого минимума:

$$b \sin \varphi = m\lambda \quad (m = 1)$$

$$\Delta x \cdot \sin \varphi = \lambda$$

$$\lambda = \frac{h}{p}, \quad \text{а} \quad \sin \varphi = \frac{\Delta p_x}{p}$$

Получим:

$$\Delta x \cdot \frac{\Delta p_x}{p} = \frac{h}{p} \quad \text{или} \quad \Delta x \cdot \Delta p_x = h$$

С учетом других
максимумов произведение
будет больше.

Соотношения неопределенностей Гейзенберга:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar$$

$$\Delta y \cdot \Delta p_y \geq \hbar$$

$$\Delta z \cdot \Delta p_z \geq \hbar$$

**Для квантовой частицы
неправомерно говорить об
одновременных значениях ее
координаты и импульса. Чем
точнее определена какая-либо из
координат, тем больше
неопределенность в
определении импульса (или
скорости) в том же направлении,
и наоборот. Понятие
траектории для квантовой**

Если $\Delta X \rightarrow 0$, то $\Delta P \rightarrow$

Если $\Delta P \rightarrow 0$, то $\Delta X \rightarrow$

Для энергии частицы W и
времени: $\Delta W \Delta t \geq \hbar$.

- Если $\Delta t \rightarrow 0$, то $\Delta W \rightarrow$

ВОДОРОДОПОДОБ НЫЕ АТОМЫ

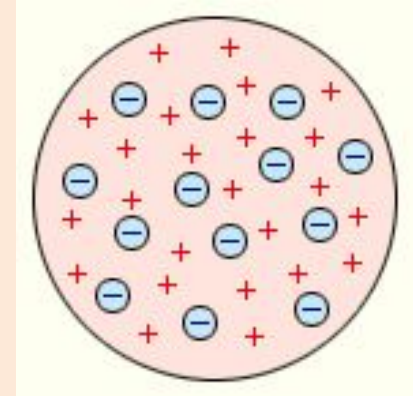
**Гипотеза о том, что
вещества состоят из
атомов, впервые была
высказана Левкиппом и
Демокритом примерно
в IV веке до н. э.**

МОДЕЛИ АТОМА

Ранние модели:

1) Модель Томсона – “булочка с изюмом”

Томсон предложил рассматривать атом как положительно заряженное тело с заключёнными внутри него электронами. Впоследствии модель была опровергнута опытами Резерфорда.



2) Планетарная модель Нагаоки

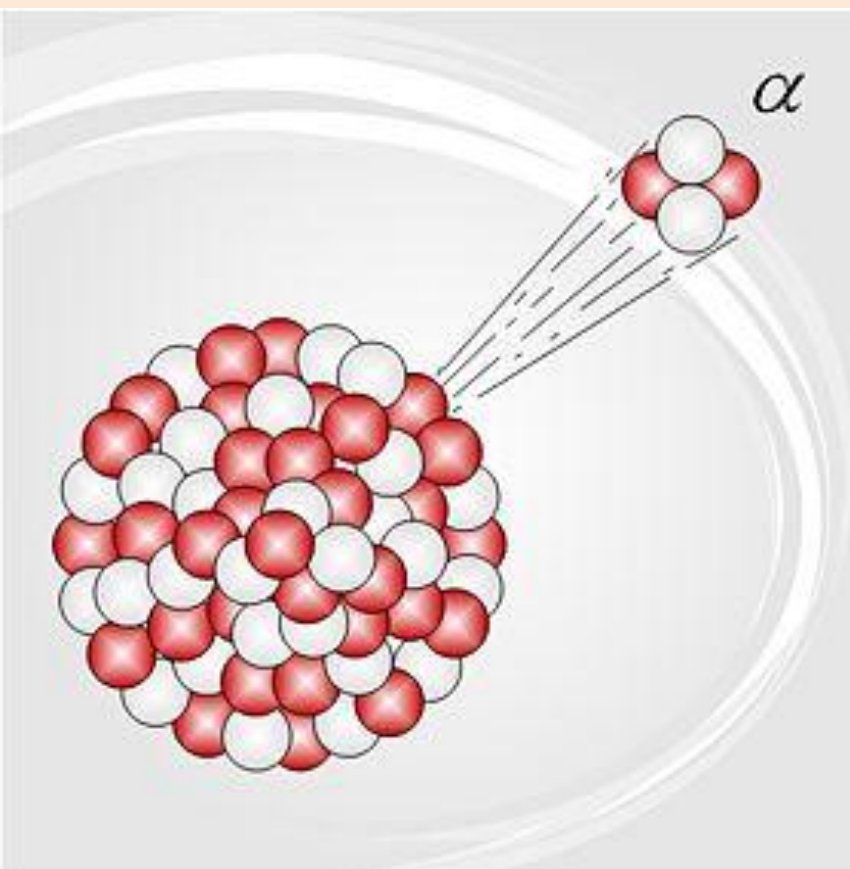
В 1904 году Хантаро Нагаока предложил модель атома, построенную по аналогии с планетой Сатурн: вокруг маленького положительного ядра вращались электроны, объединённые в кольца.



Опыт Резерфорда по рассеянию α -частиц

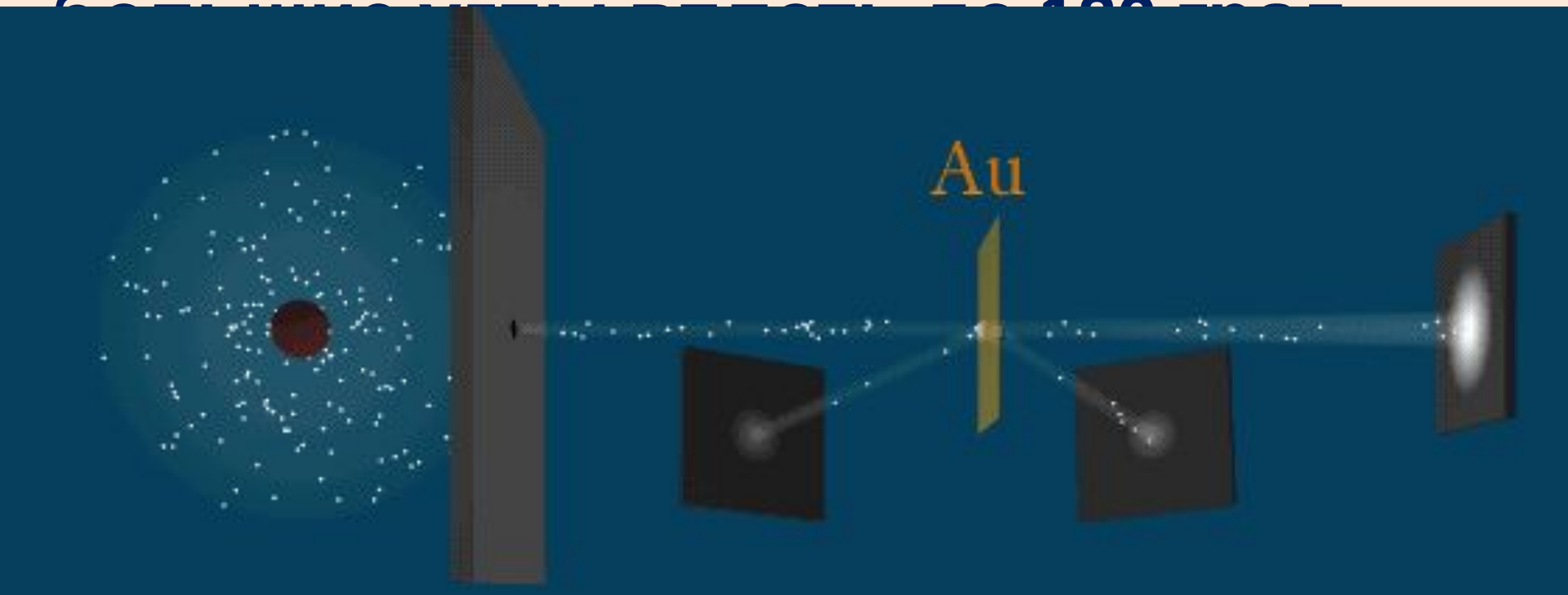


Эрнст
Резерфорд

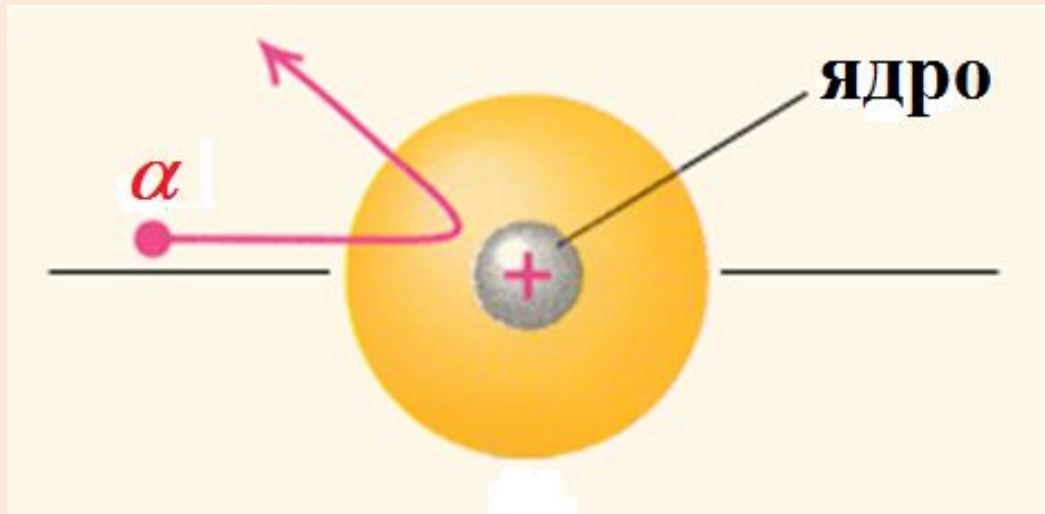


Альфа-частица
образована 2-мя
протонами и 2-мя
нейтронами, заряжена
положительно.
Идентична ядру атома
гелия (${}_4\text{He}^{2+}$).

Резерфорд направил поток α -частиц на золотую фольгу толщиной около 0,1 мкм. Большинство частиц пролетели сквозь фольгу, но некоторые отклонились на очень большие углы, даже до 180°.

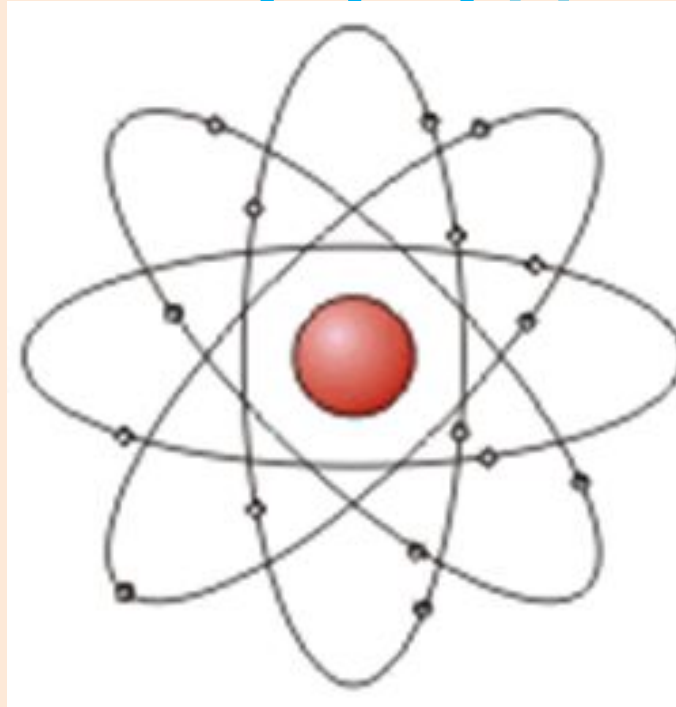


**Резерфорд сделал вывод:
Причиной рассеяния α -частицы
является ее взаимодействие с малой
по размеру положительно
заряженной частью атома - ядром.**



**В ядре сосредоточена почти вся
масса атома и весь его
положительный заряд**

Планетарная модель атома Резерфорда



Атом представляет собой подобие планетной системы, в которой электроны движутся по орбитам вокруг тяжёлого положительно заряженного ядра

Неустойчивость атома Резерфорда

Согласно классической
электродинамике электрон при
движении с
центростремительным
ускорением должен излучать
электромагнитные волны и
терять энергию.
В итоге он упадёт на ядро.

**Для объяснения
стабильности атомов Нильсу
Бору пришлось ввести
особые предположения –
постулаты.**

Теория водородоподобного атома по Бору

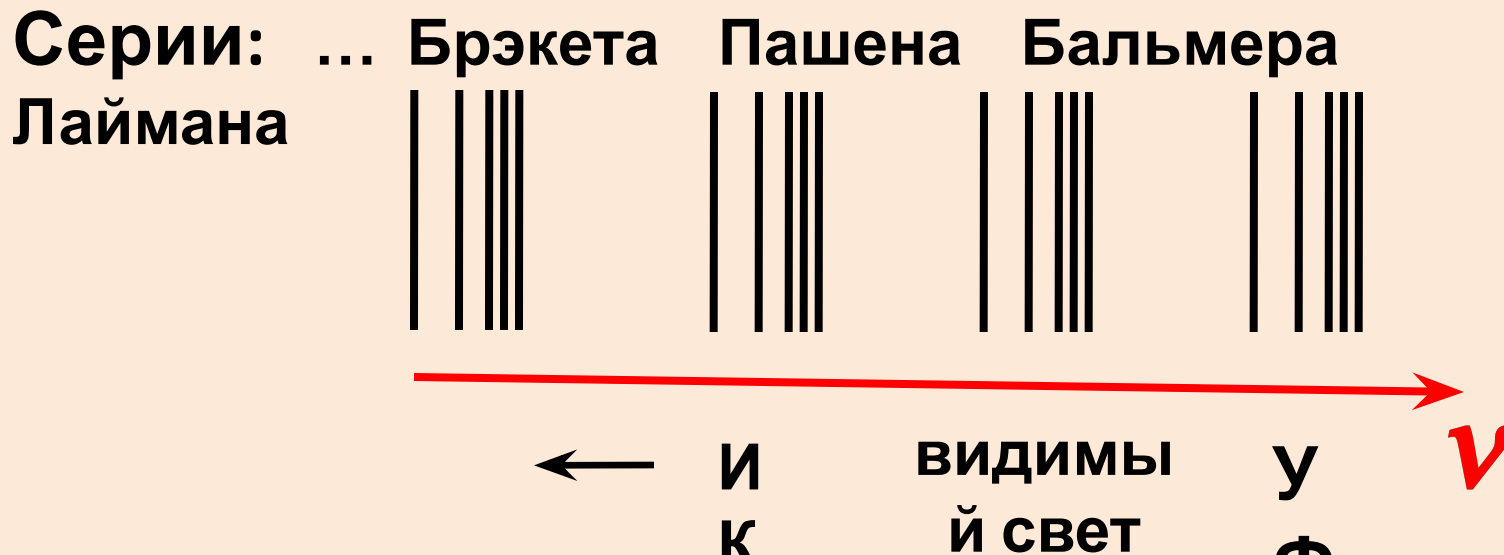
**При построении теории Бор
опирался на опыт Резерфорда
и данные по спектрам
атомарных газов. Согласно
опыту эти спектры
линейчатые.**

- Водородоподобный атом – это атом с одним внешним электроном: Na, K, Rb, Cs.
- Спектр атома – это набор излучаемых или поглощаемых частот.



Спектр атома водорода образован сериями линий. Линии сгущаются к высокочастотной границе серии. В видимой области наблюдается серия Бальмера.

Еще одна серия есть в УФ области. А в ИК диапазоне – много серий.



Бальмер подобрал формулу для частот спектральных линий:

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

Для серии Бальмера $m = 2, n = 3, 4, 5, \dots$

Для серии Лаймана $m = 1, n = 2, 3, 4, \dots$

R - постоянная Ридберга

$$R = 3,3 \cdot 10^{15} \text{ Гц.}$$

Постулаты Бора

Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний)

Атом может находиться только в особых стационарных или квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия W_n .

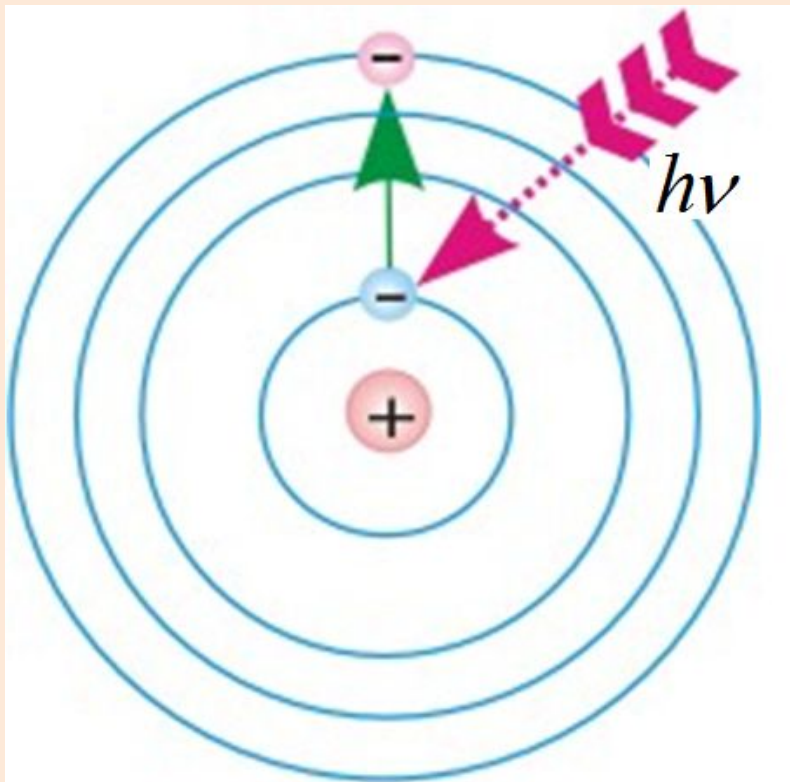
В стационарных состояниях атом не излучает.

Второй постулат Бора (правило частот)

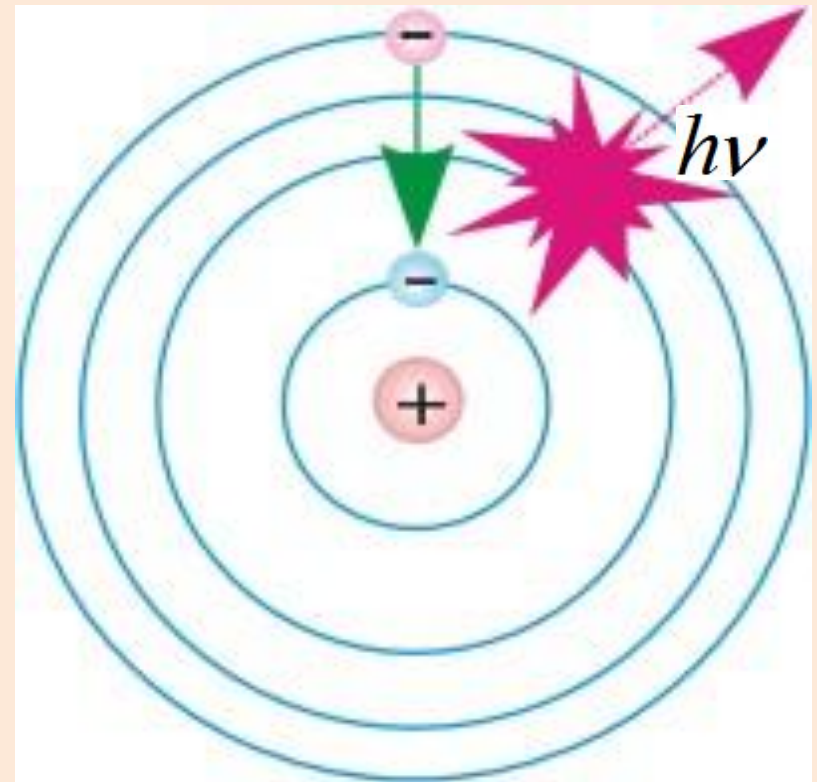
При переходе атома из одного стационарного состояния с энергией W_n в другое с энергией W_m излучается или поглощается квант, энергия которого равна разности энергий этих состояний.

$$h\nu_{nm} = W_n - W_m$$

**Квант света
поглощается**



**Квант света
излучается**



Третий постулат (квантование орбит)

Момент импульса электрона в атоме принимает только дискретные значения, кратные постоянной Планка:

$$m v_n r_n = n \hbar$$

m – масса электрона,

v_n – его скорость на орбите радиуса r_n , $n = 1, 2, 3 \dots$

Бор вычислил радиусы орбит:

$$r_n = \frac{\hbar^2}{kZe^2 m} n^2$$

Радиус ближайшей к ядру
орбиты называют
первым боровским
радиусом.

$$a_B = r_1 = \frac{\hbar^2}{kZe^2 m} = 52,8 \text{ пм}$$

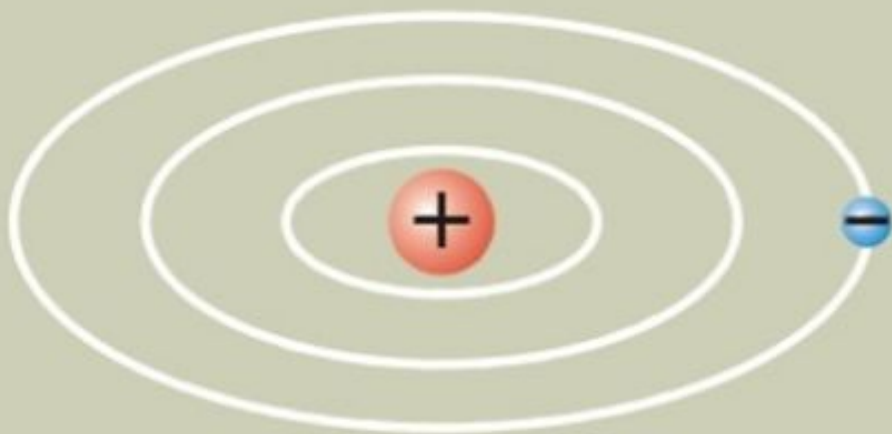
$$Z \text{ — заряд ядра, } k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Полная энергия электрона в атоме:

$$W_n = -\frac{k^2 e^4 m}{2\hbar^2} \cdot \frac{Z^2}{n^2}$$

**Энергия электрона на первой
боровской орбите в атоме
водорода:**

$$W_1 = -13,55$$



**Энергия
электрона в
атоме
отрицатель
на. При
удалении от
ядра она
стремится к
нулю.**

Частота излучения при переходе с n -го на m -й уровень энергии:

$$\nu_{nm} = \frac{W_m - W_n}{h} = \frac{k^2 m_e e^4}{2\hbar^3} \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

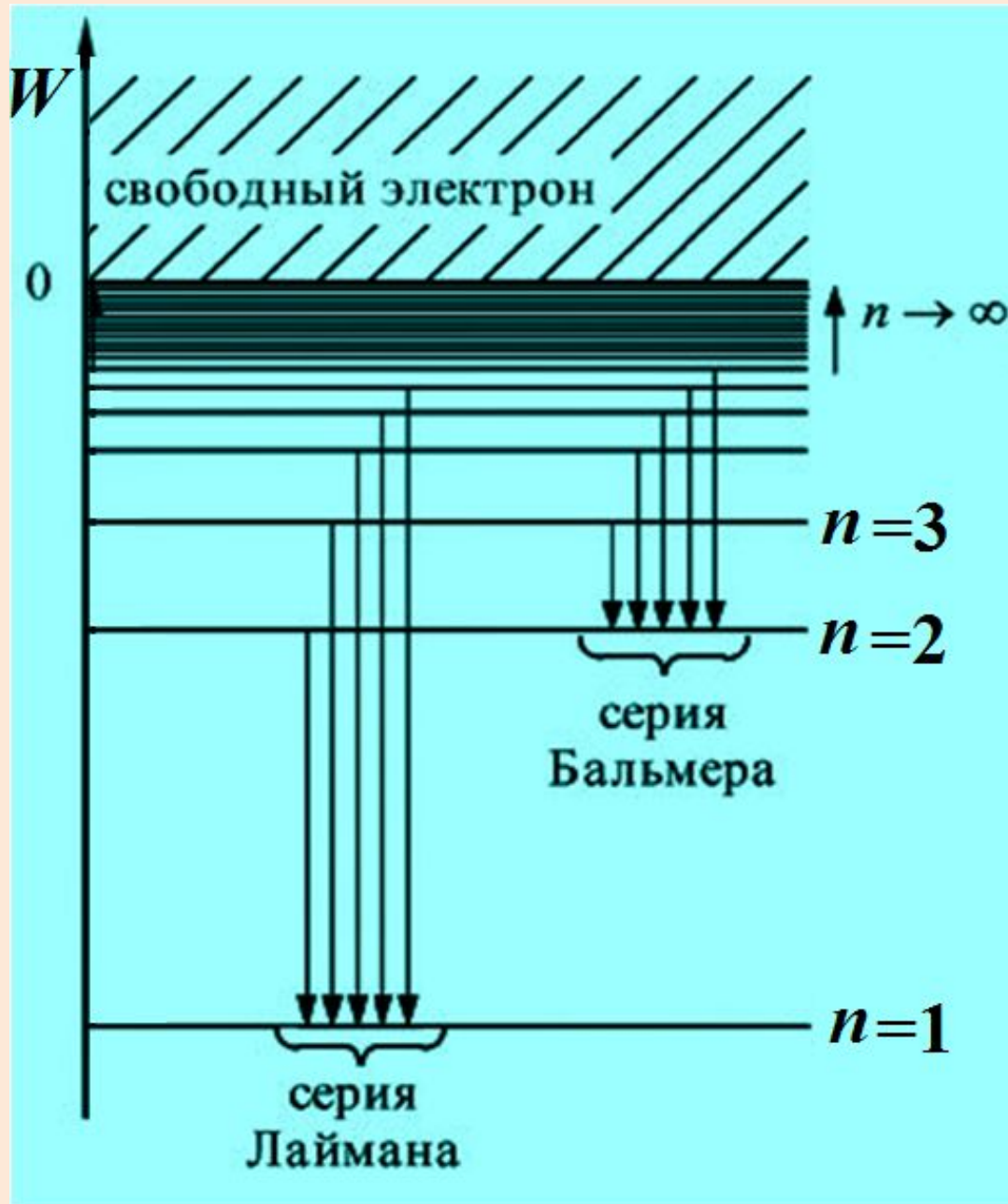
$R = 3,3 \cdot 10^{15}$ Гц - частотная константа Ридберга, ее значение совпало с угаданным Бальмером

Длина волны:

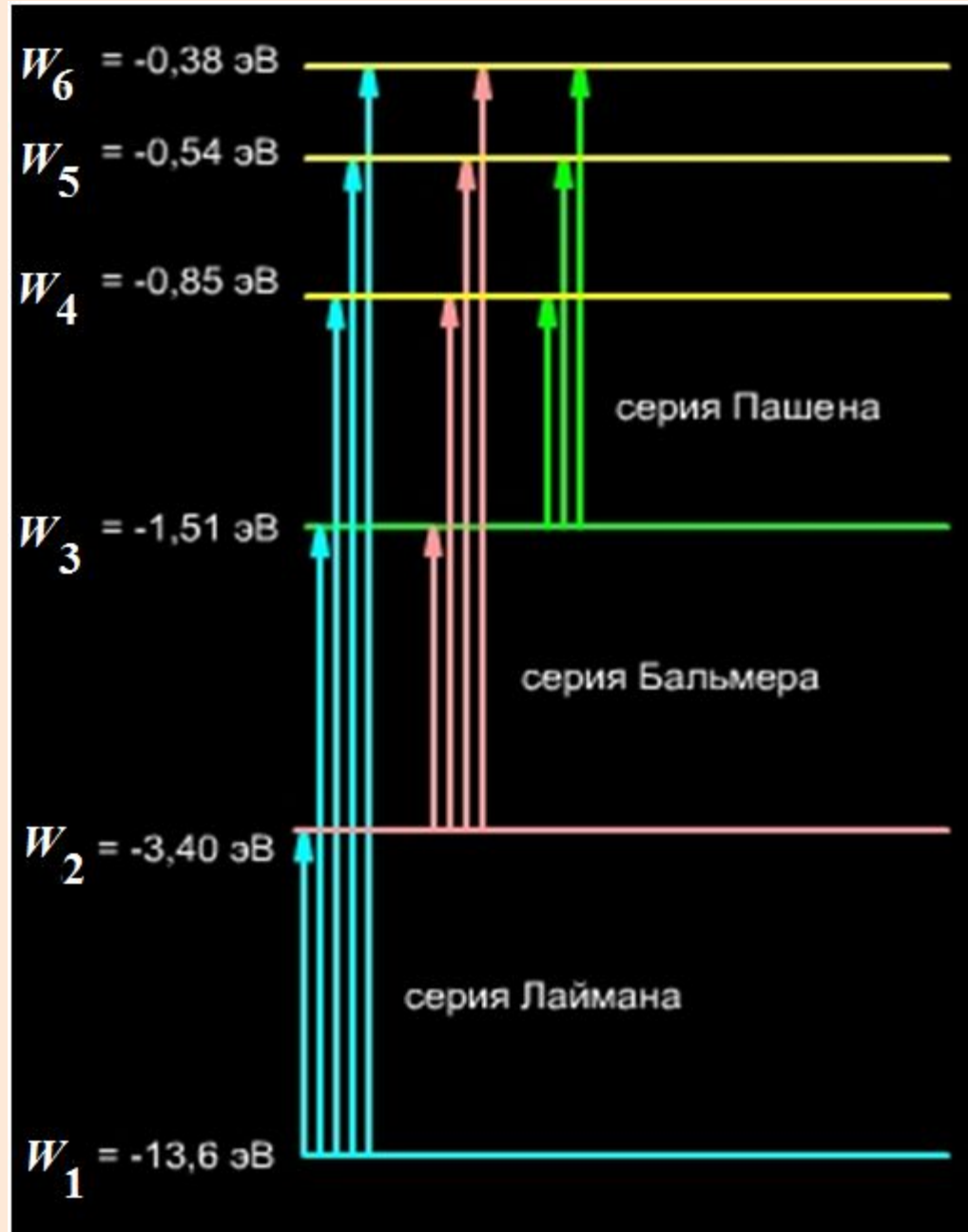
$$\frac{1}{\lambda_{nm}} = R' \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

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

Спектры излучения водорода



Спектры поглощения водорода



Для серии

Лаймана $m=1, n=2, 3, 4, \dots$

Бальмера $m=2, n=3, 4, 5, \dots$

Пашена $m=3, n=4, 5, 6, \dots$