

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

энергии:

$$\left. \begin{array}{l} \varepsilon = mc^2 \\ \varepsilon = h\nu \\ \varepsilon = \frac{hc}{\lambda} \end{array} \right\} m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} = \frac{h}{\lambda c}$$

Импульс фотона

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

Давление света

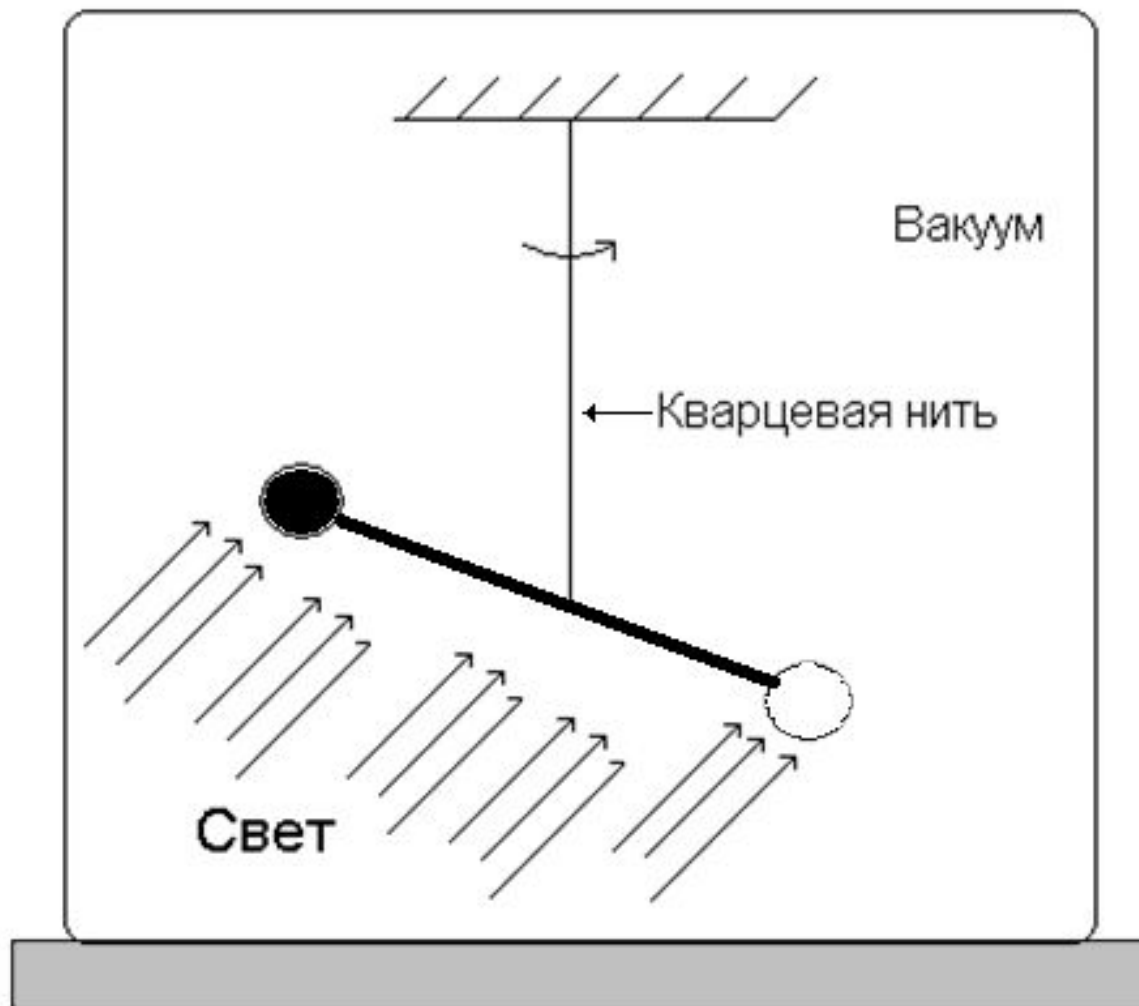


**Петр Николаевич
ЛЕБЕДЕВ
(1866—1912)**

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



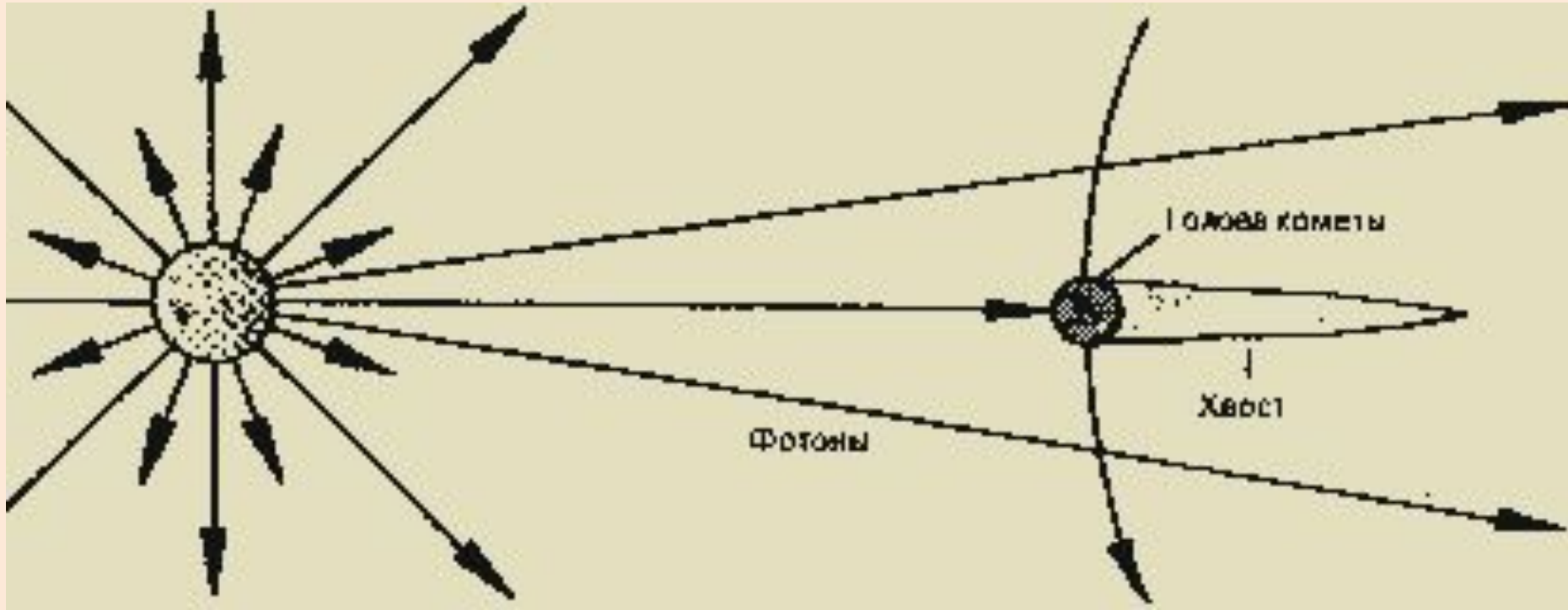
Если в единицу времени
на единицу площади
поверхности с
коэффициентом
отражения ρ падает N
фотонов, то
 ρN фотонов отразится,
а $(1 - \rho N)$ фотонов

Давление света

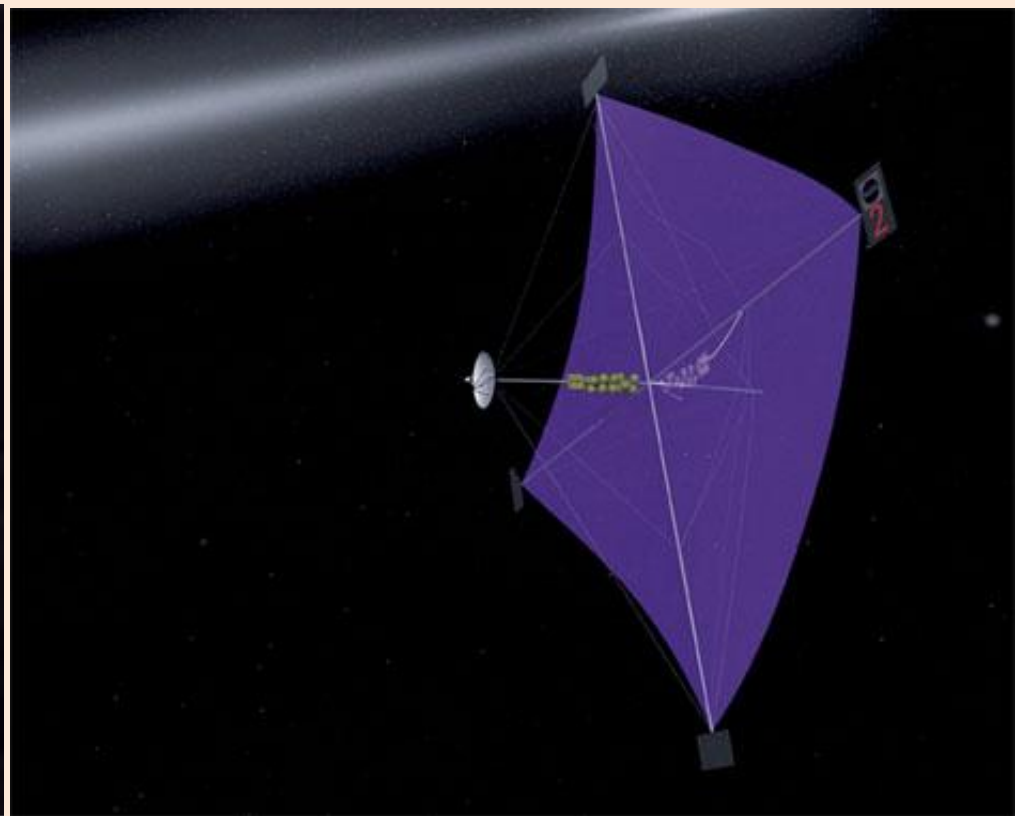
$$p = \frac{E}{c} (1 + \rho) = w (1 + \rho)$$

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

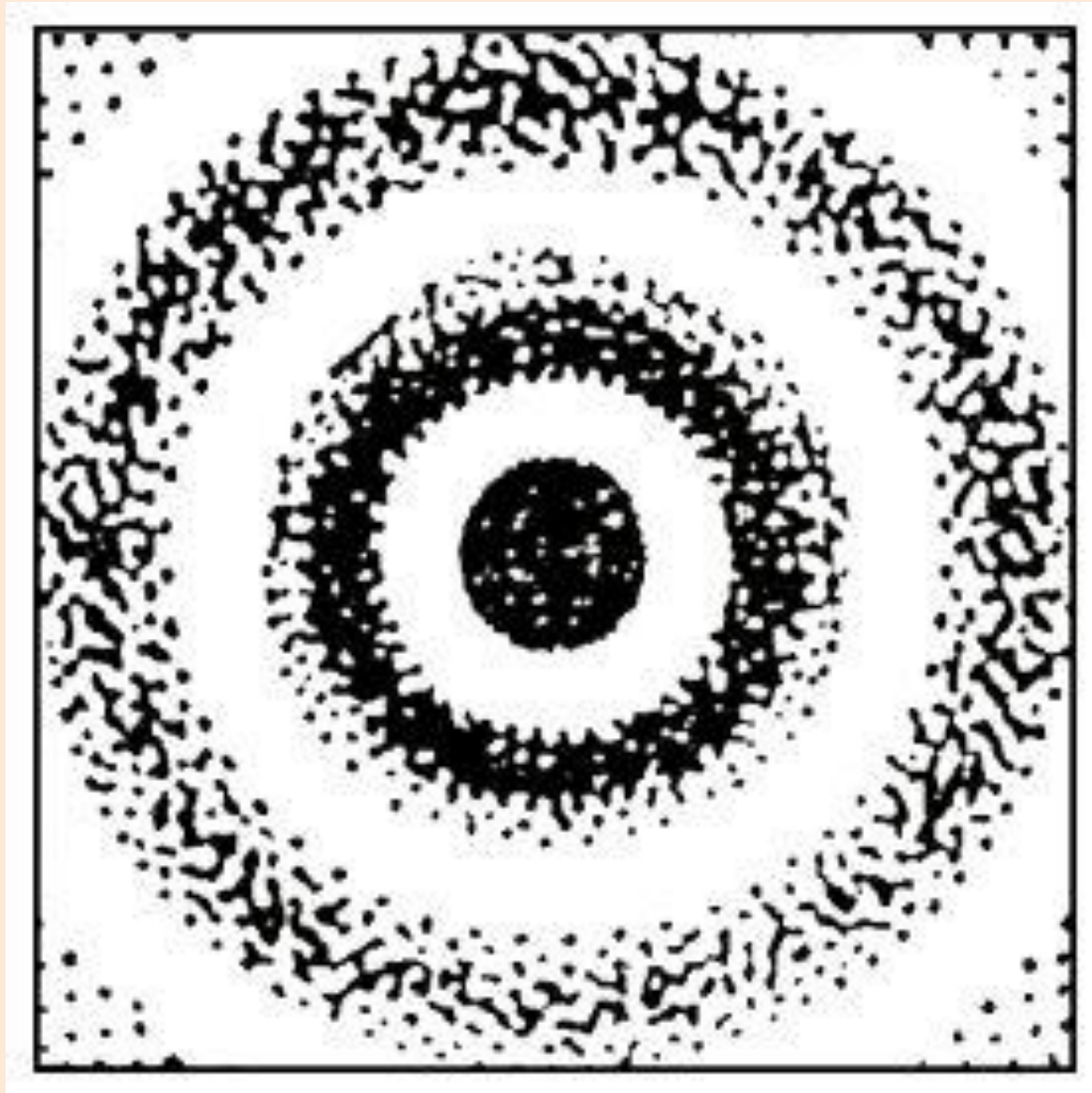
$$\lambda \approx (0,1 - 10) \cdot 10^{-10}$$

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

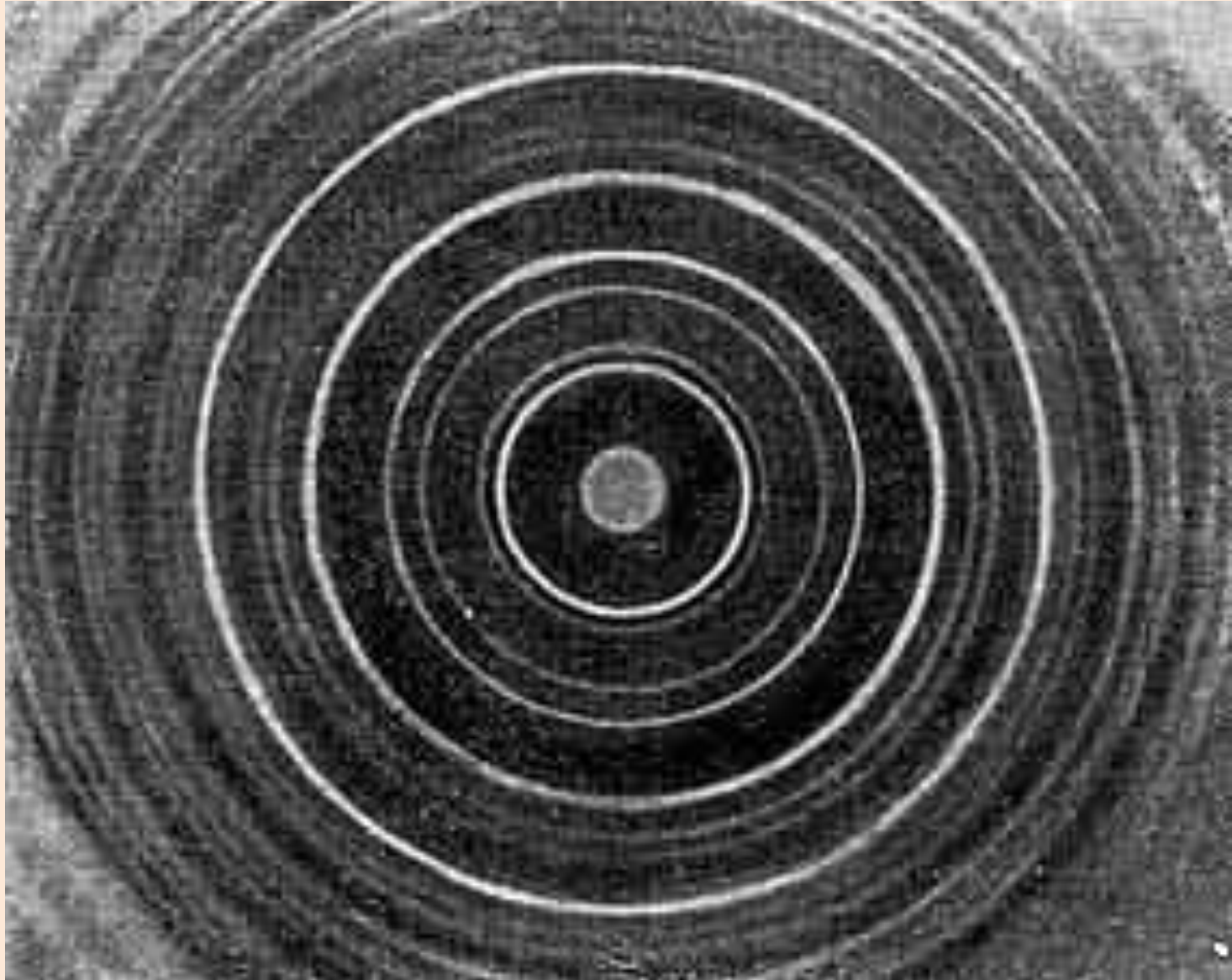
Первое экспериментальное подтверждение гипотезы де Бройля было получено в 1927 году в опытах К. Дэвиссона и Л. Джермера.

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

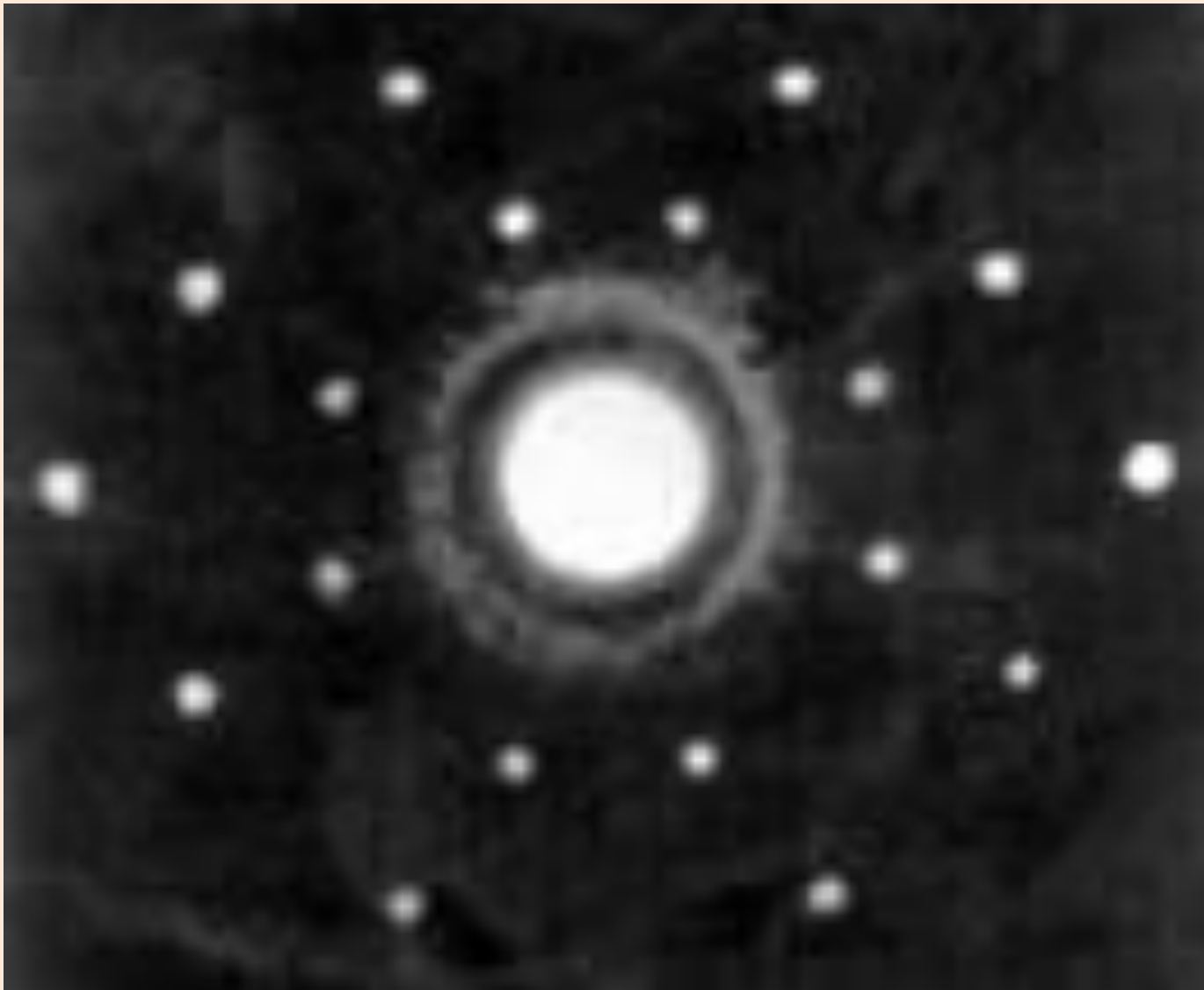
Опыт В.А. Фабриканта (1949 г.)



Дифракция электронов при прохождении через очень тонкий слой серебра

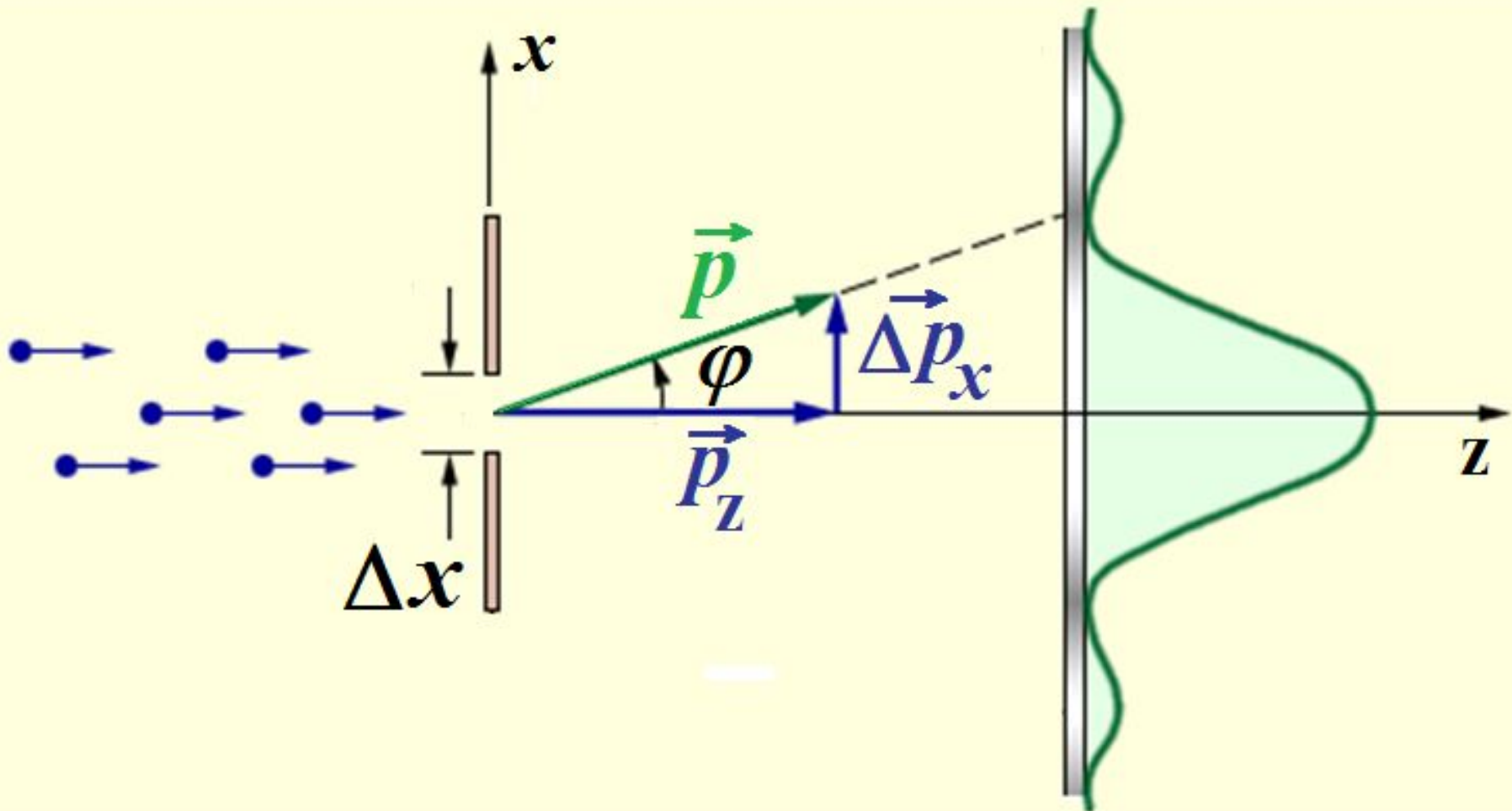


Дифракция нейтронов



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

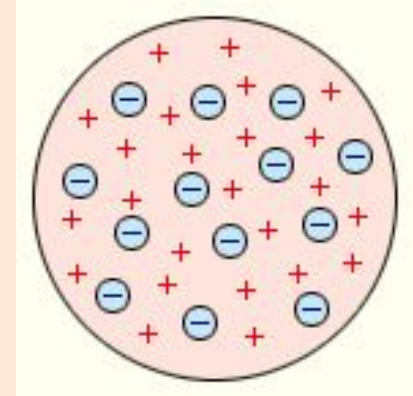
**Гипотеза о том, что
вещества состоят из
атомов, впервые была
высказана Левкиппом и
Демокритом примерно
в IV веке до н. э.**

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

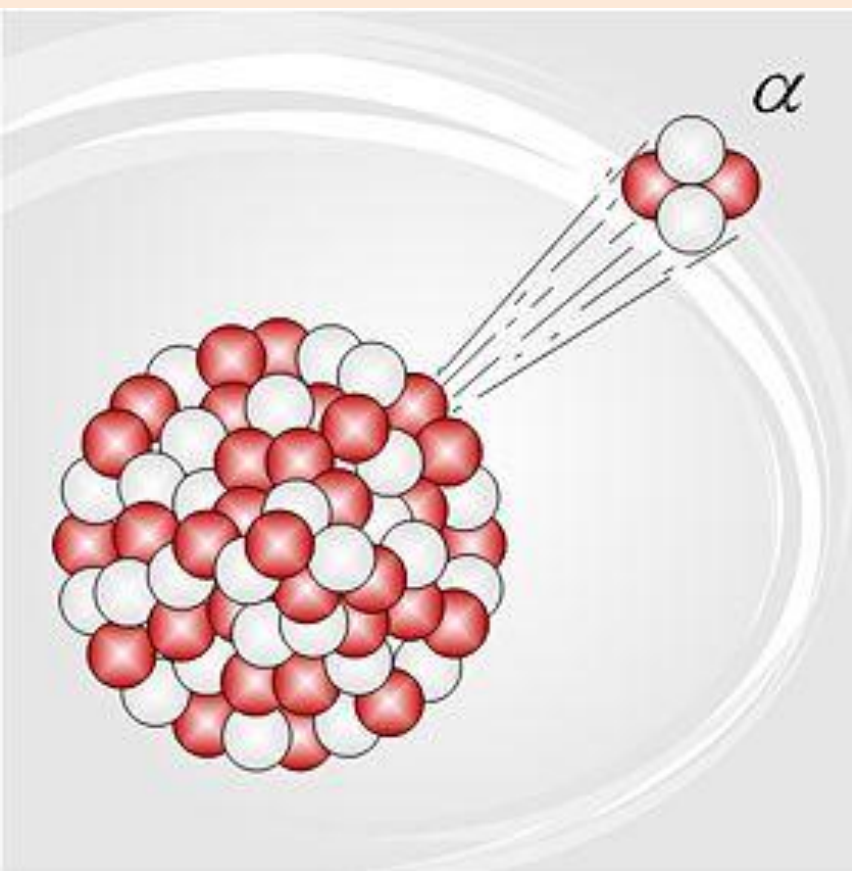
В 1904 году Хантаро Нагаока предложил модель атома, построенную по аналогии с планетой Сатурн: вокруг маленького положительного ядра вращались электроны, объединённые в кольца.



Опыт Резерфорда по рассеянию α -частиц

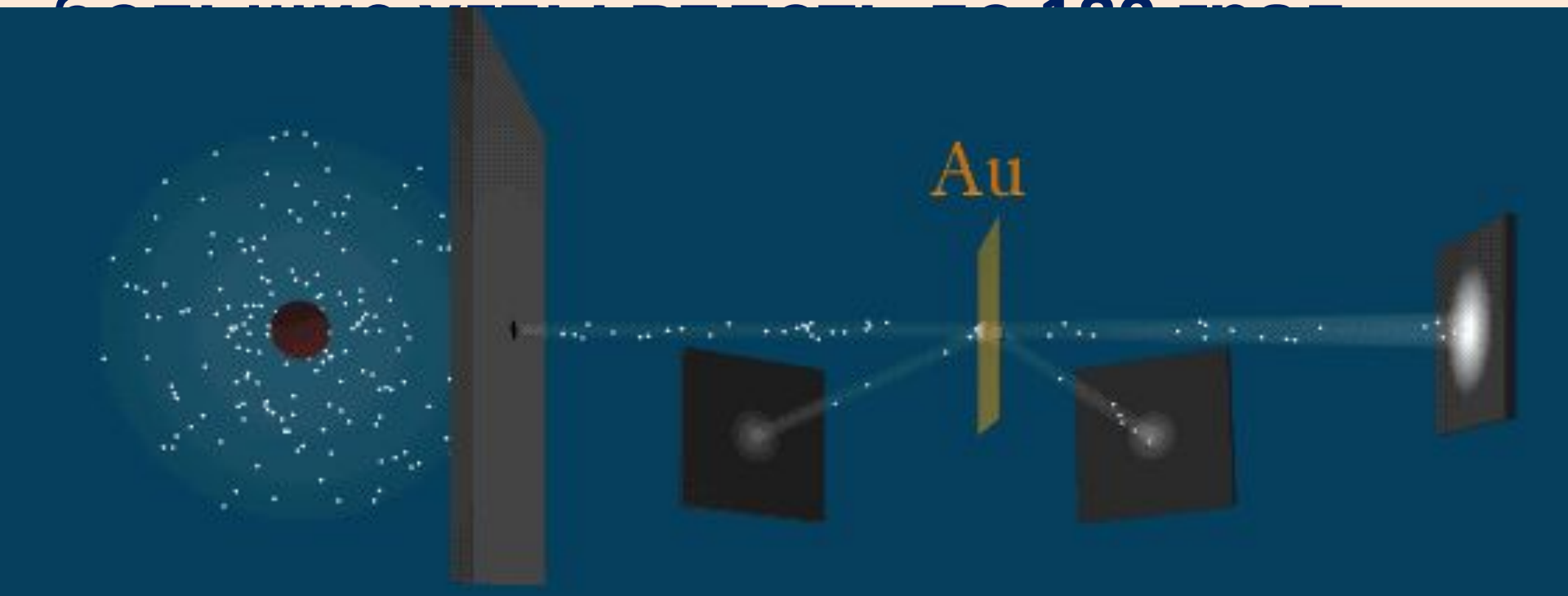


Эрнст
Резерфорд

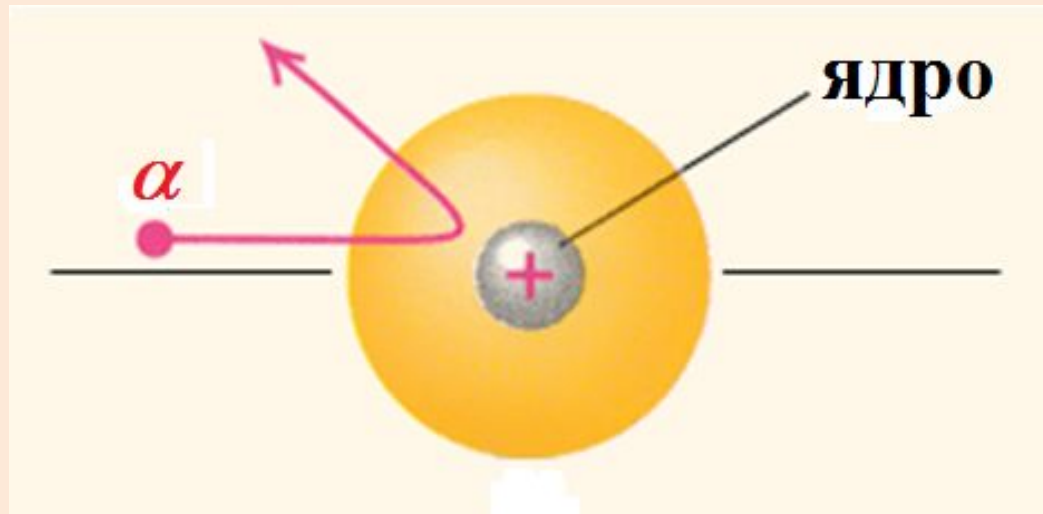


Альфа-частица
образована 2-мя
протонами и 2-мя
нейтронами, заряжена
положительно.
Идентична ядру атома
гелия (${}_{2}\text{He}^{2+}$).

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° .

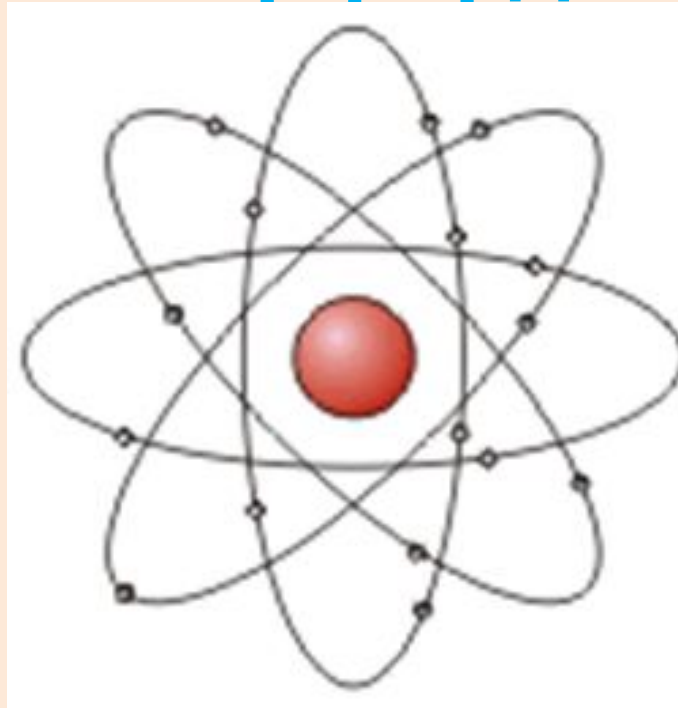


**Резерфорд сделал вывод:
Причиной рассеяния α -частицы
является ее взаимодействие с малой
по размеру положительно
заряженной частью атома - ядром.**



**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

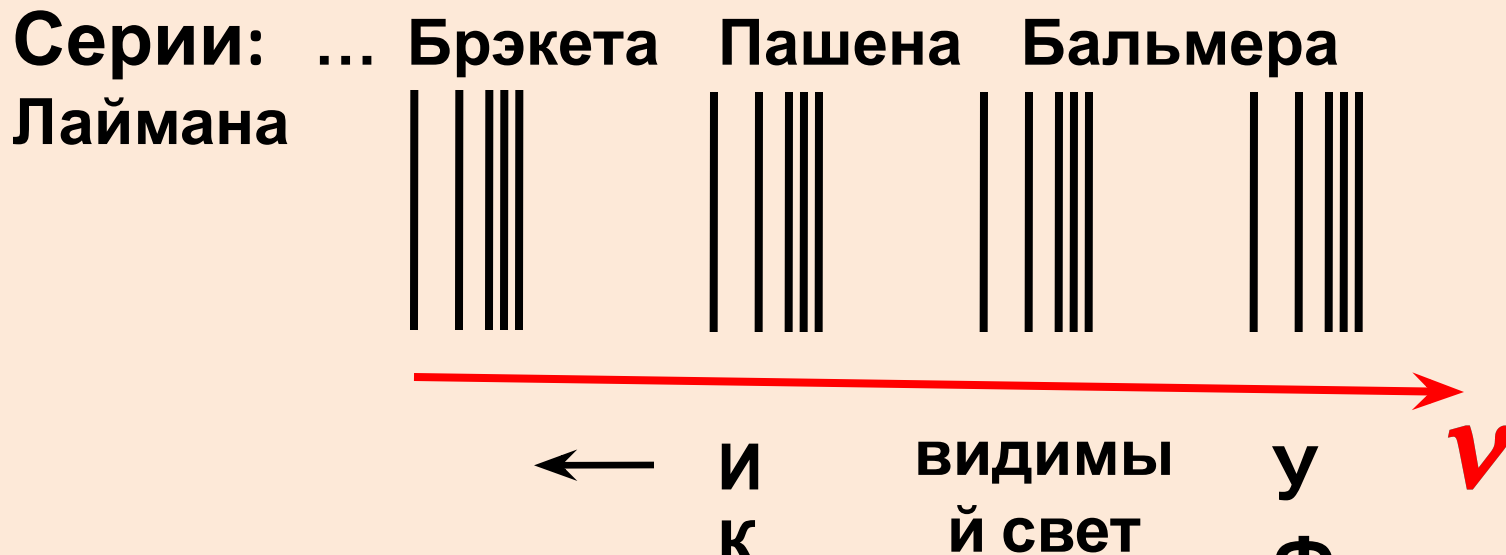
**При построении теории Бор
опирался на опыт Резерфорда
и данные по спектрам
атомарных газов. Согласно
опыту эти спектры
линейчатые.**

- 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

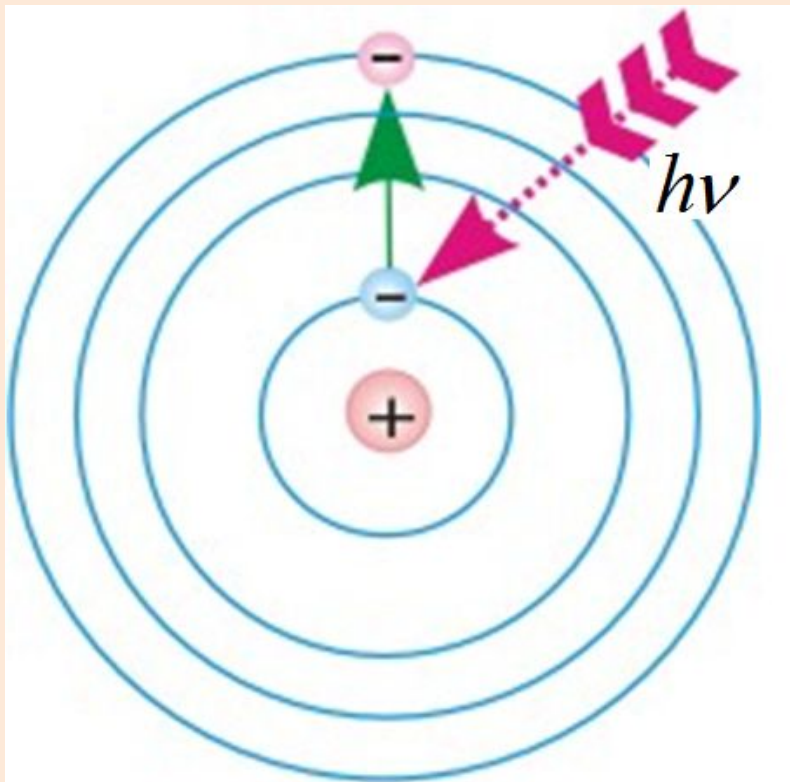
излучается или поглощается квант,

энергия которого равна разности

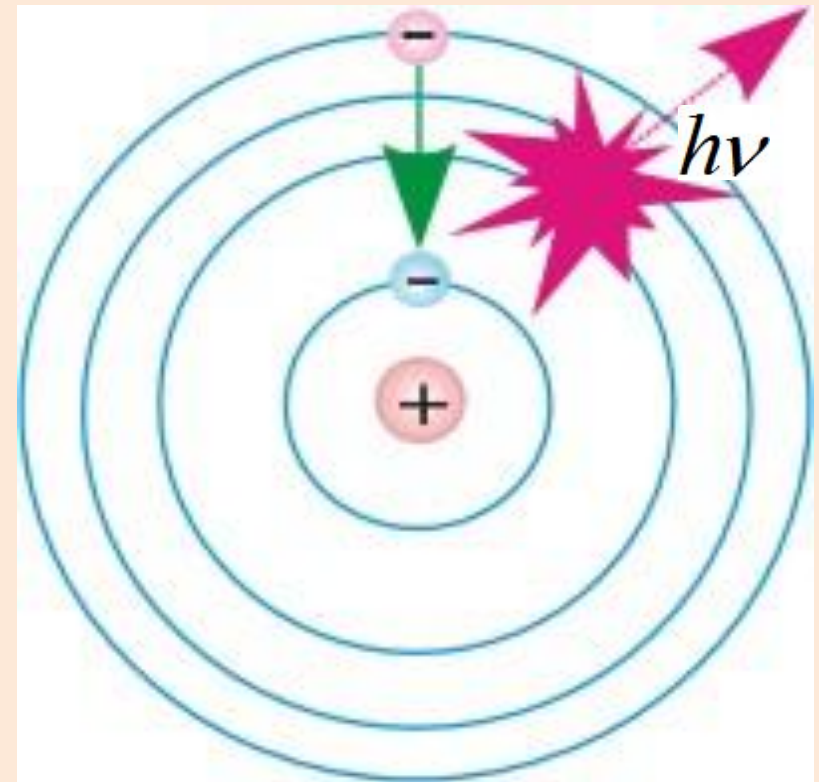
энергий этих состояний.

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

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.

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

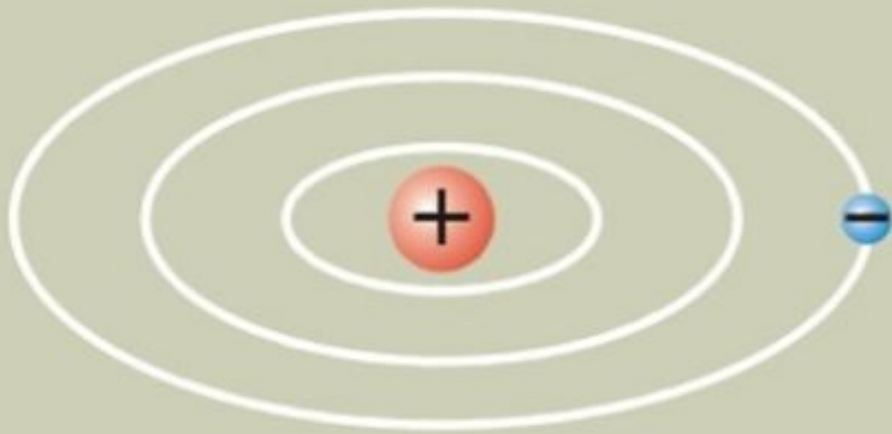
Z — заряд ядра, $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$

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:

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

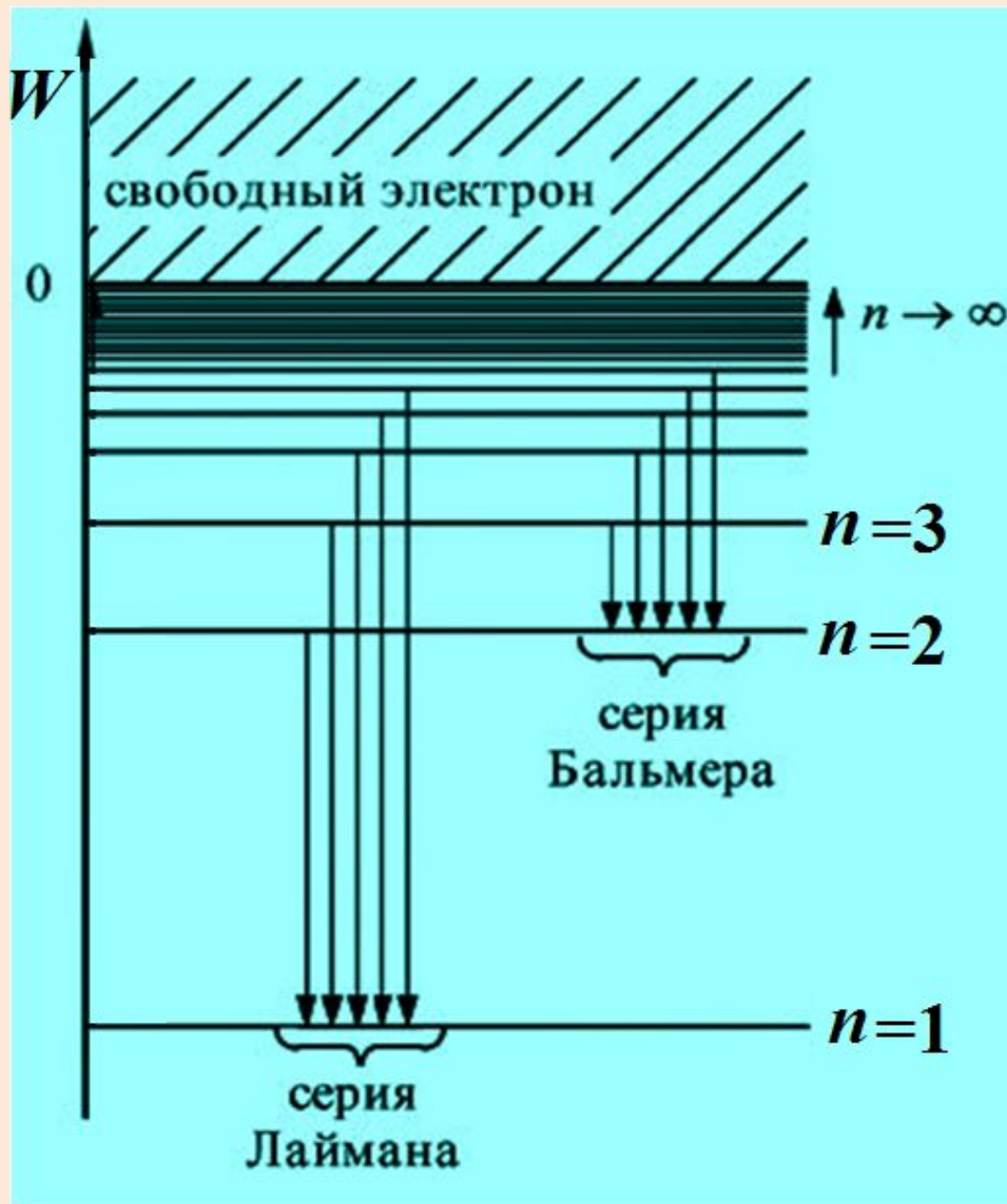
$R = 3,3 \cdot 10^{15}$ Гц - частотная константа Ридберга, ее значение совпало с угаданным Бальмером

Длина волны:

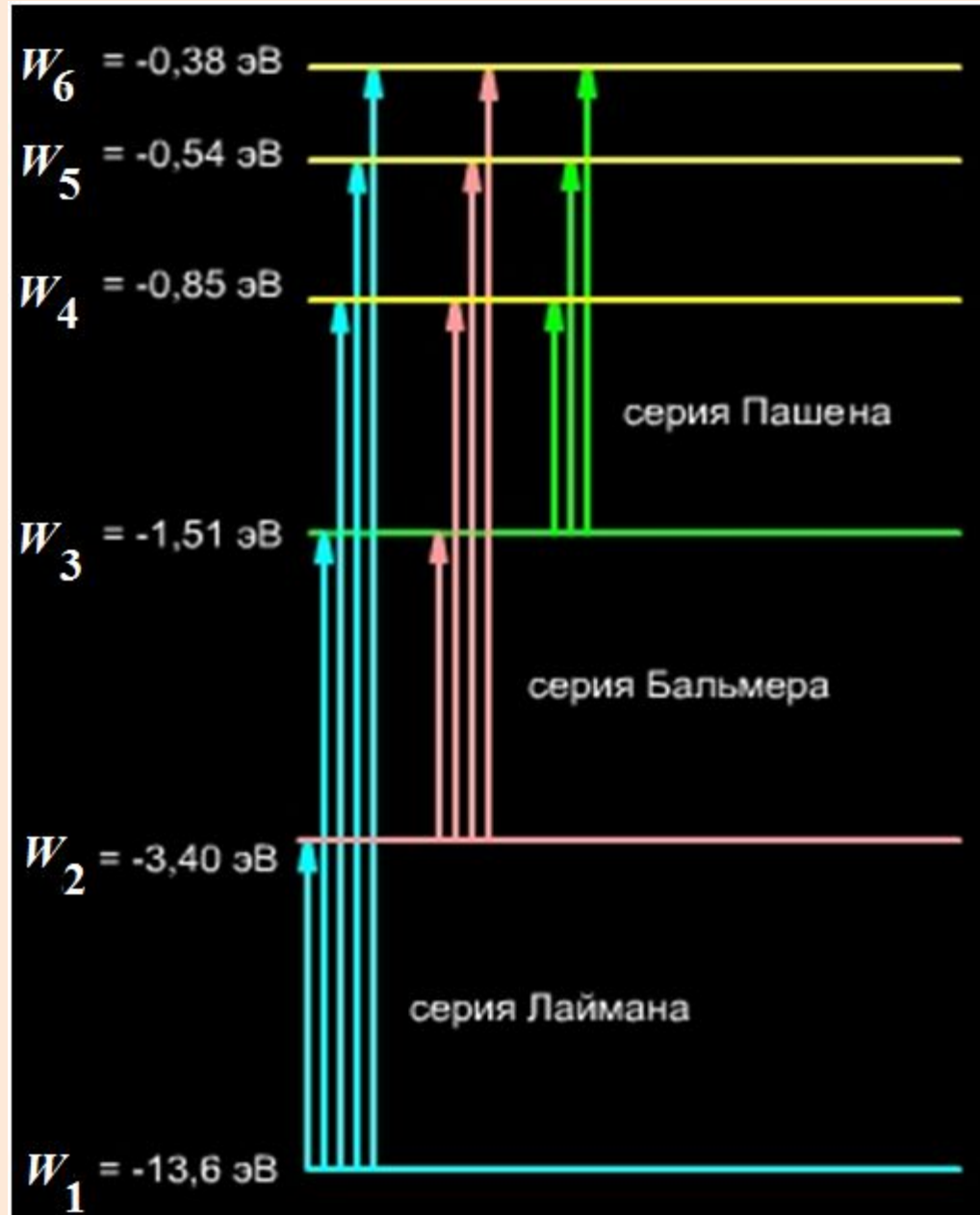
$$\frac{1}{\lambda_{nm}} = R' \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$R' = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ - 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 $m=3, n=4, 5, 6, \dots$