

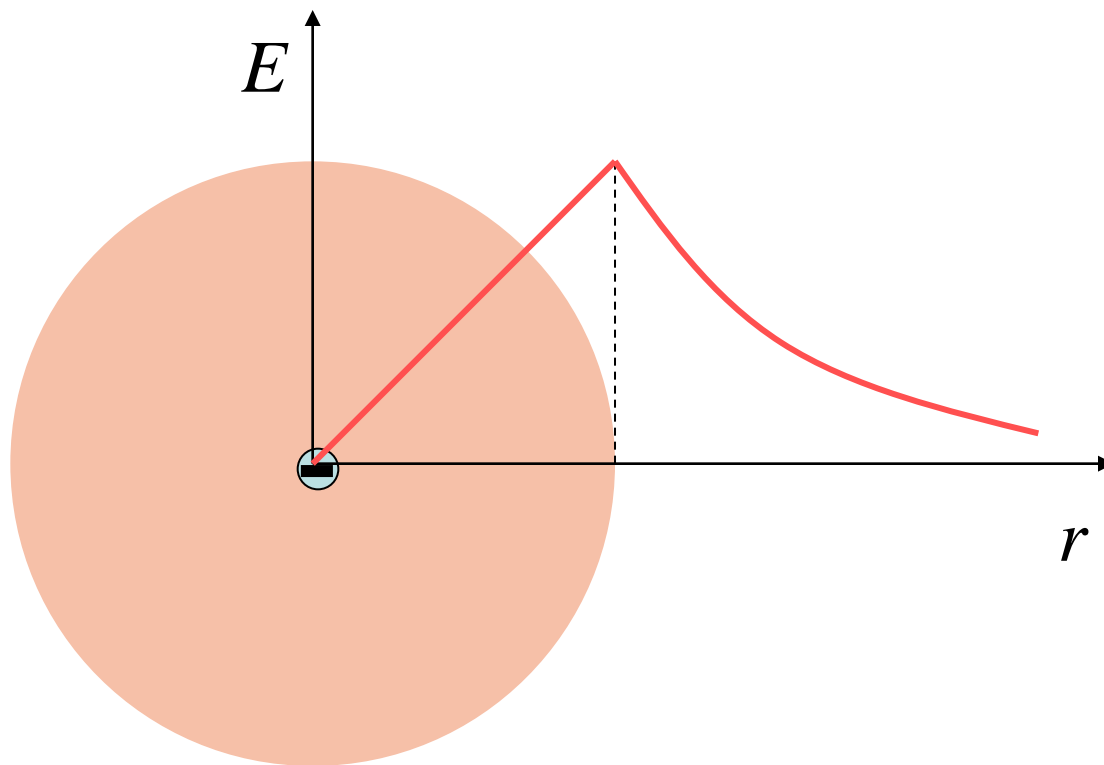
# Тема 1. Корпускулярно-волновой дуализм

- 1.4. Корпускулярно-волновой дуализм фотонов
- 1.5. Квантовые свойства элементарных частиц и атомов вещества



**Бор Нильс**  
(7.X.1885–18.XI.1962)

# Модель атома Томсона



$$\omega_n = \frac{2\pi}{T} n$$

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

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

$$m = 1, 2, 3, 4, \dots$$

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

$m = 1$  - серия Лаймана (ультрафиолетовая область спектра)

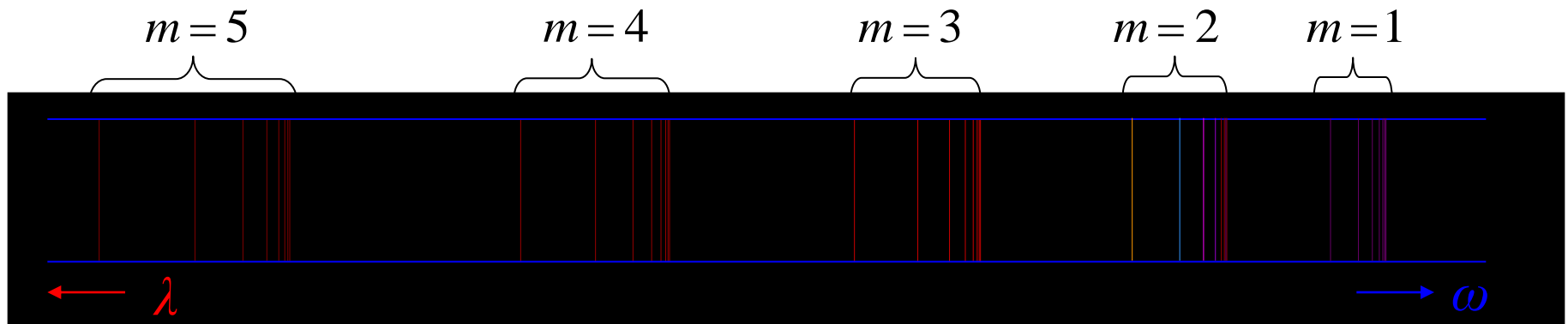
$m = 2$  - серия Бальмера (видимая область спектра)

$m = 3$  - серия Пашена

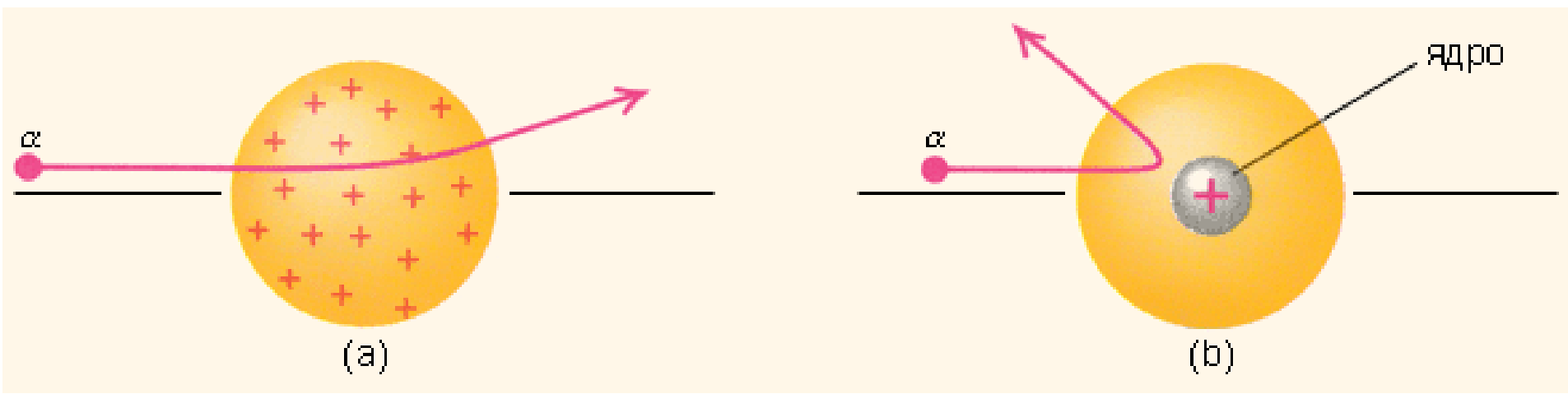
$m = 4$  - серия Брэкета

$m = 5$  - серия Пфунда

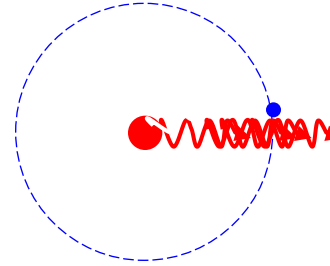
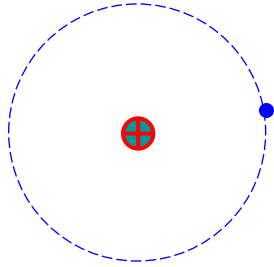
(инфракрасная область спектра)



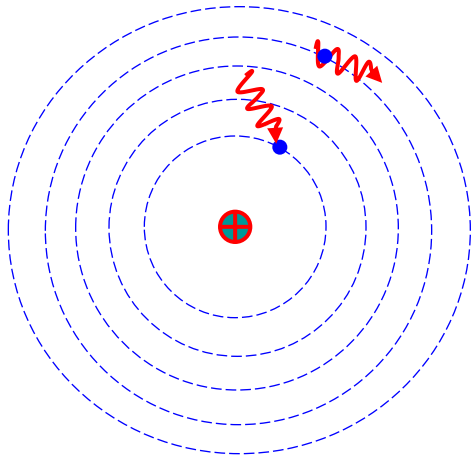
# Рассеяние $\alpha$ - частицы в атоме Томсона (a) и в атоме Резерфорда (b).



# Модель Резерфорда



## Постулаты Н.Бора



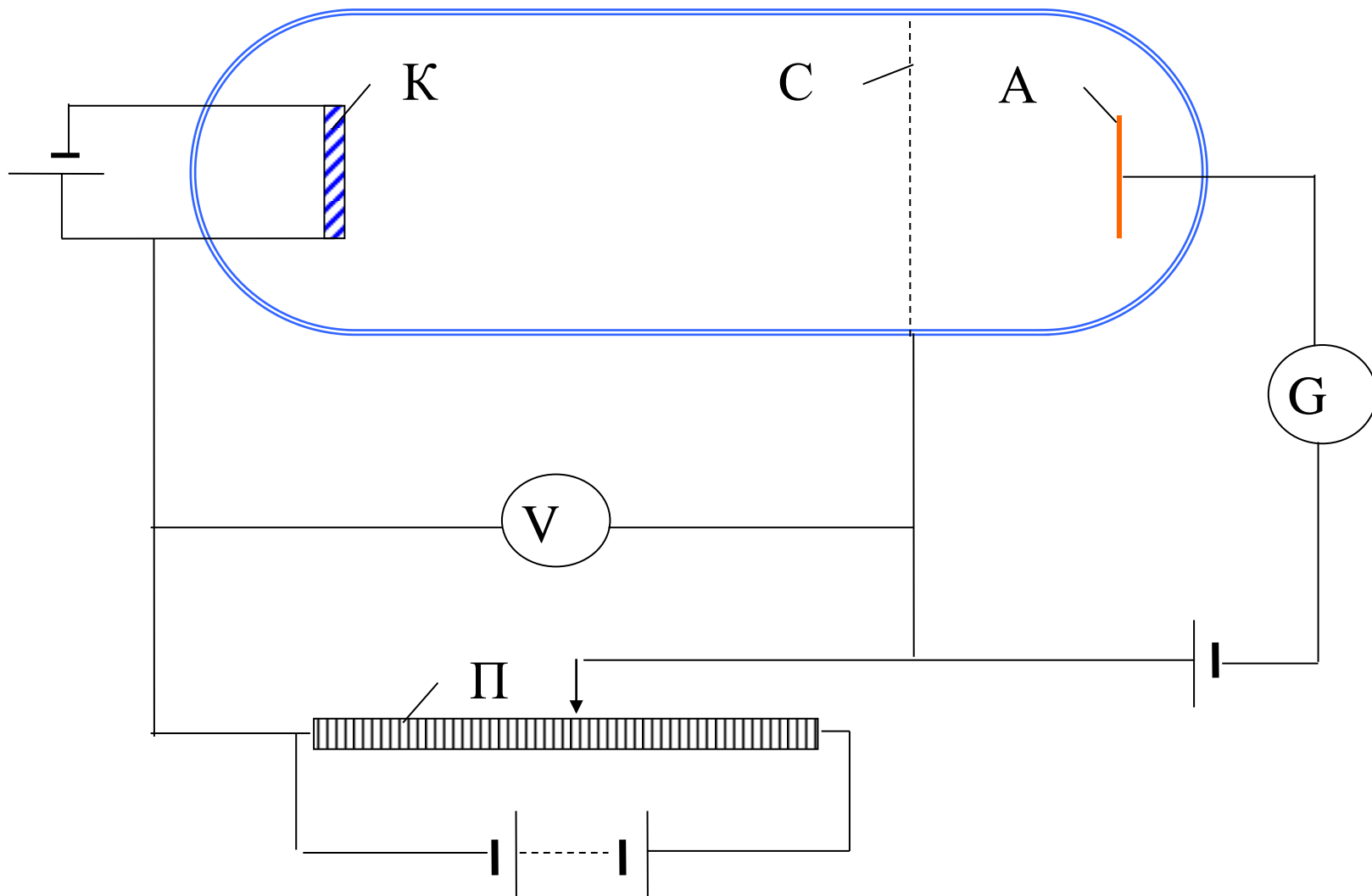
1.  $E = E_n; \quad n = 1, 2, 3, \dots$

2.  $E_n - E_m = h\nu = \hbar\omega$

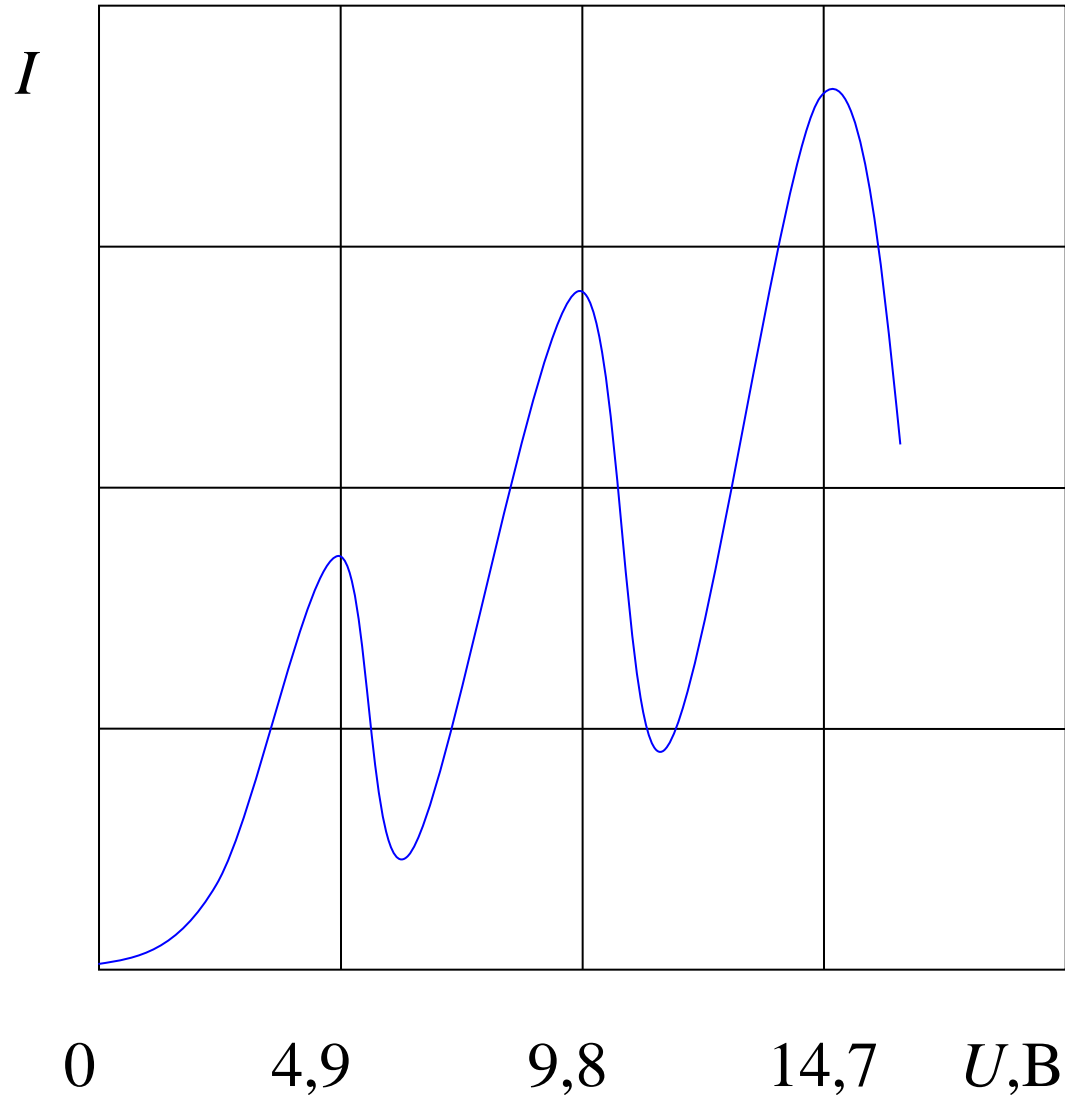
3.  $L = mvr = n\hbar$

# ОПЫТ ФРАНКА И ГЕРЦА (1914 г.)

$$p_{\text{Hg}} = 1 \text{ мм.рт.ст.}, U_{\text{ca}} = 0,5 \text{ В}$$

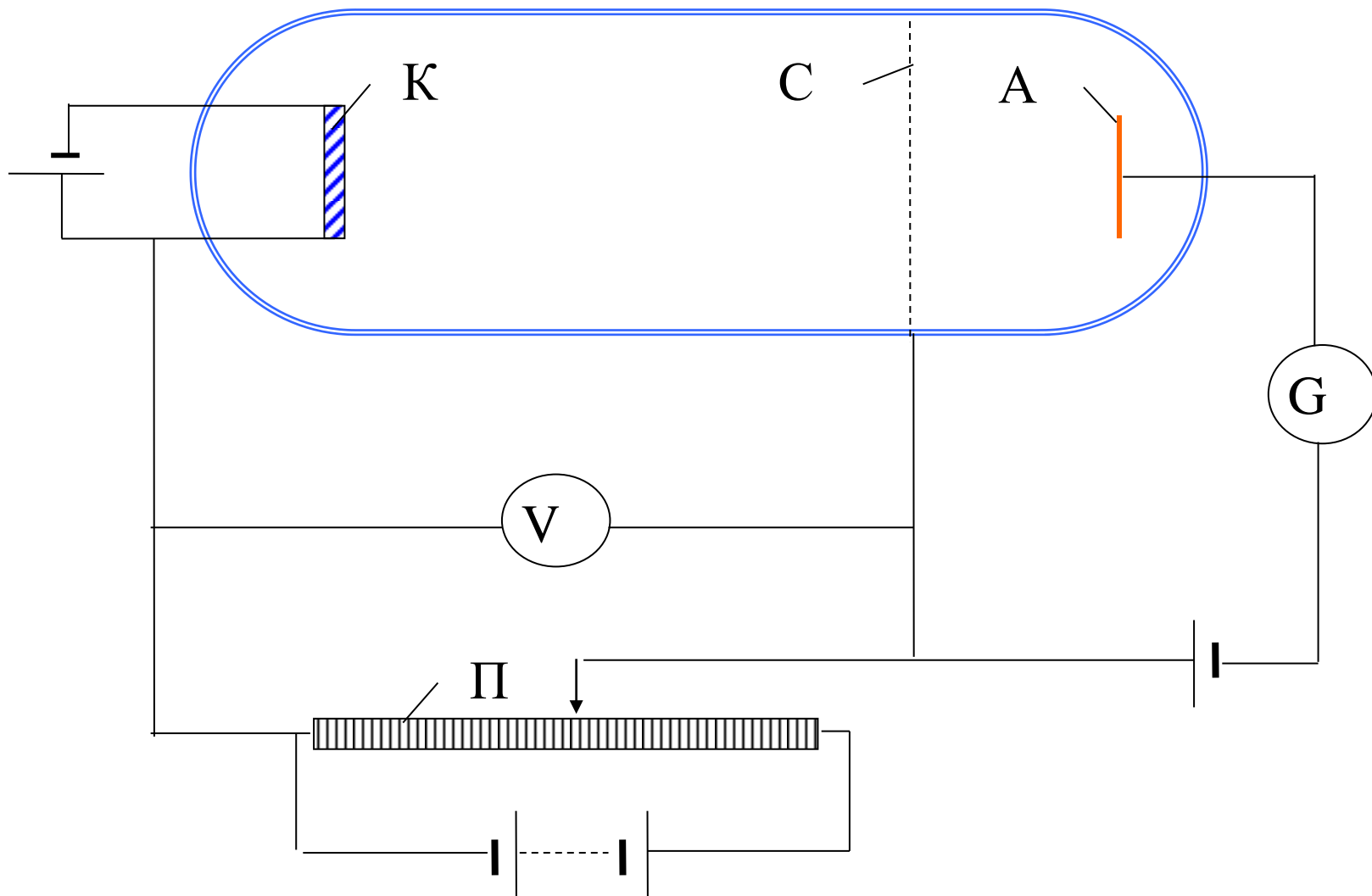


# Зависимость силы тока $I$ в цепи анода от напряжения $U_{\text{КС}}$



# ОПЫТ ФРАНКА И ГЕРЦА (1914 г.)

$$\rho_{\text{Hg}} = 1 \text{ мм.рт.ст.}, U_{\text{ca}} = 0,5 \text{ В}$$





# Квантовые свойства элементарных частиц

- Электроны –  $e^- = \text{const}$ ,  $m_e = \text{const}$
- Протоны –  $e^+ = \text{const}$ ,  $m_p = \text{const}$
- Нейтроны –  $q = 0$ ,  $m_n = \text{const}$

# Тема 1. Корпускулярно-волновой дуализм

- 1.5. Квантовые свойства атомов вещества
- 1.6. Гипотеза де Бройля

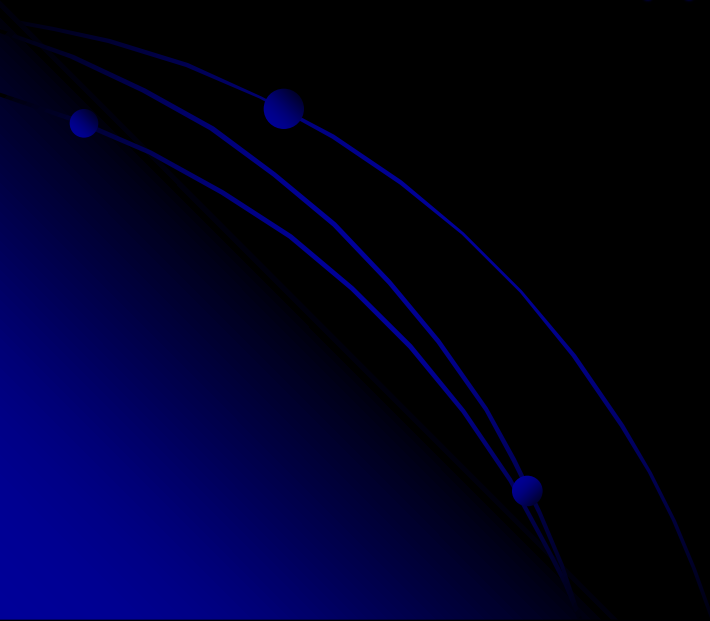
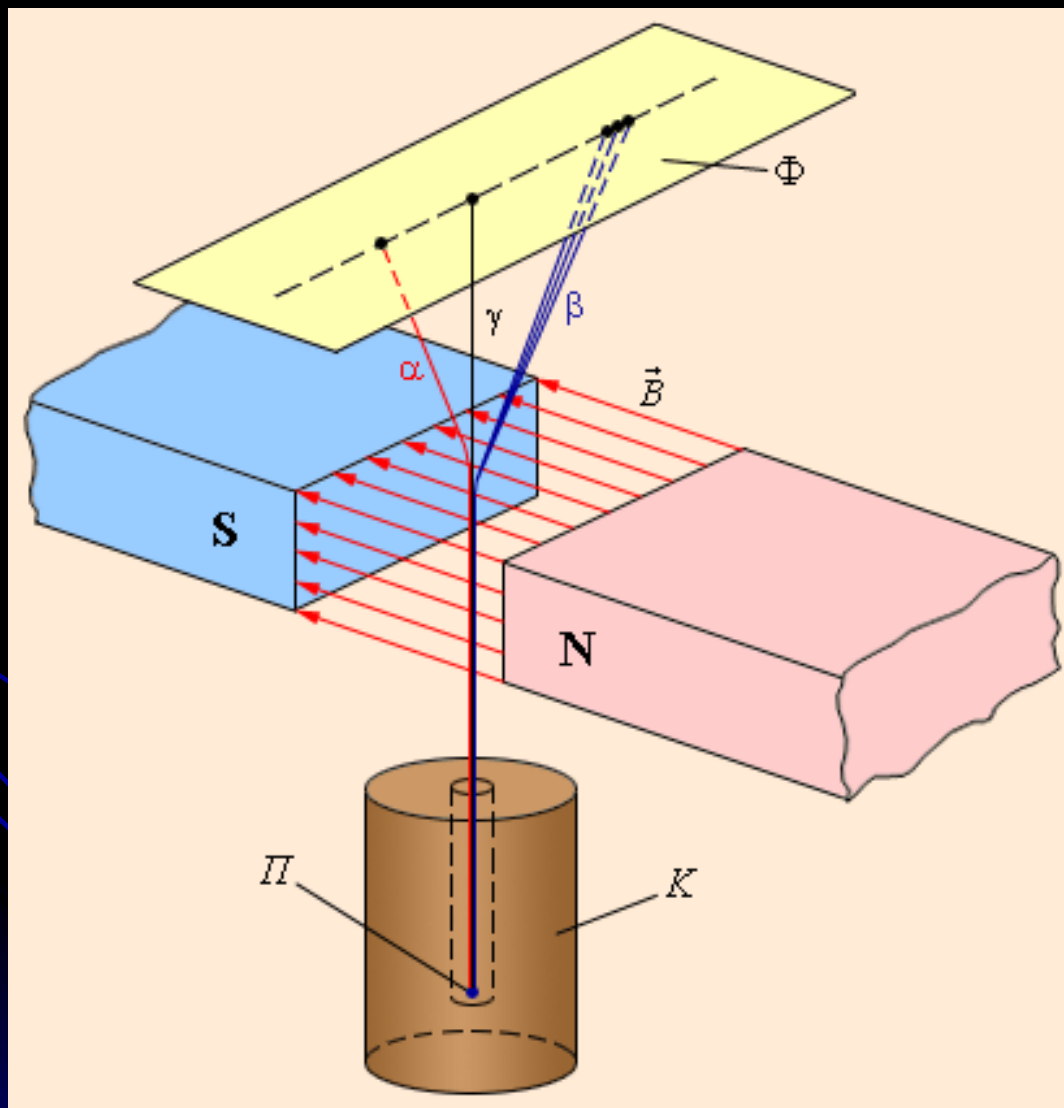
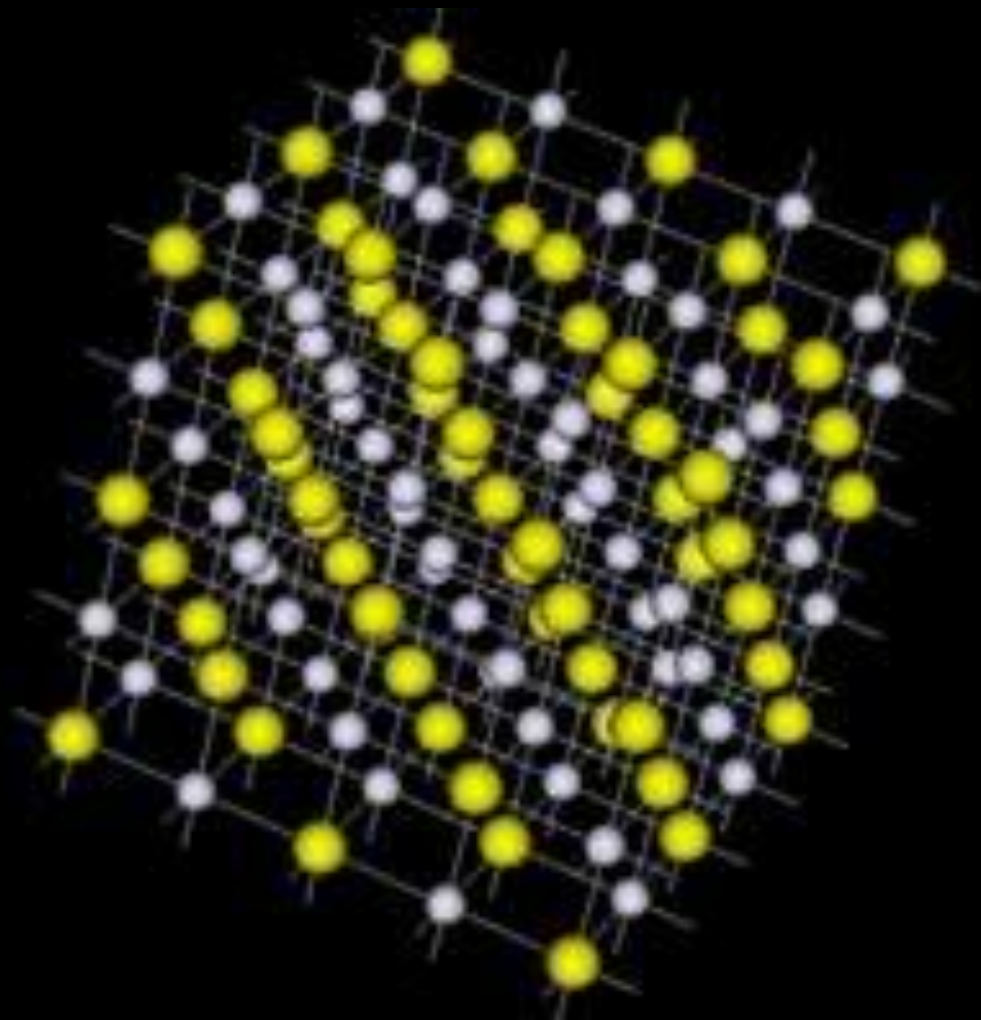
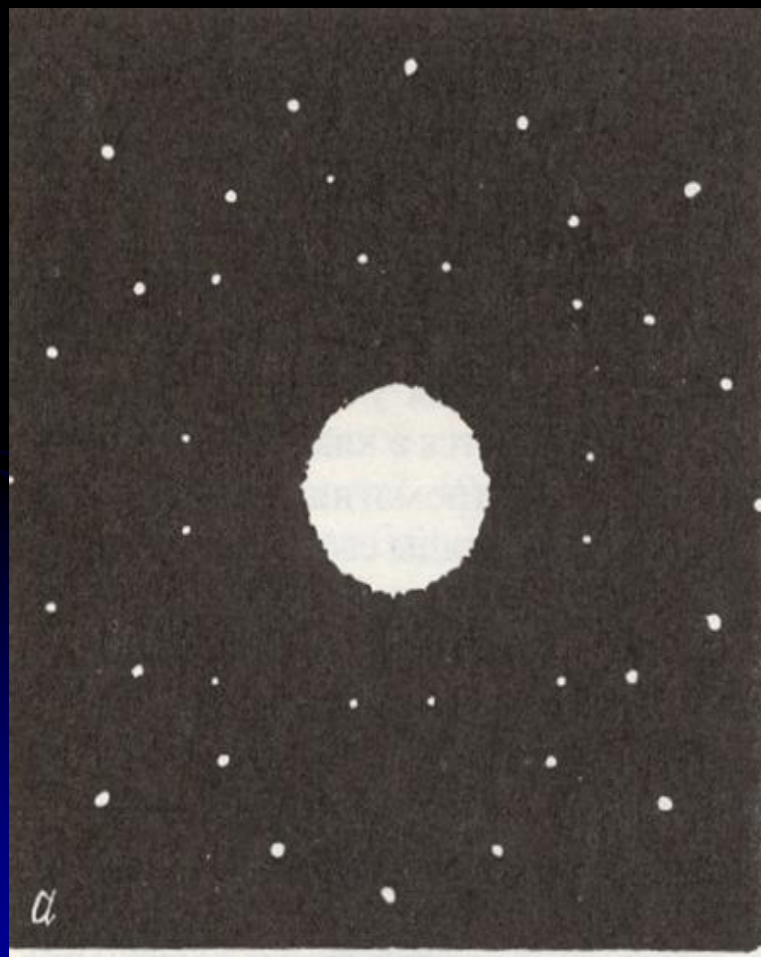


Схема опыта по обнаружению  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений. К – свинцовый контейнер, П – радиоактивный препарат, Ф – фотопластинка,  $\vec{B}$  – магнитное поле.



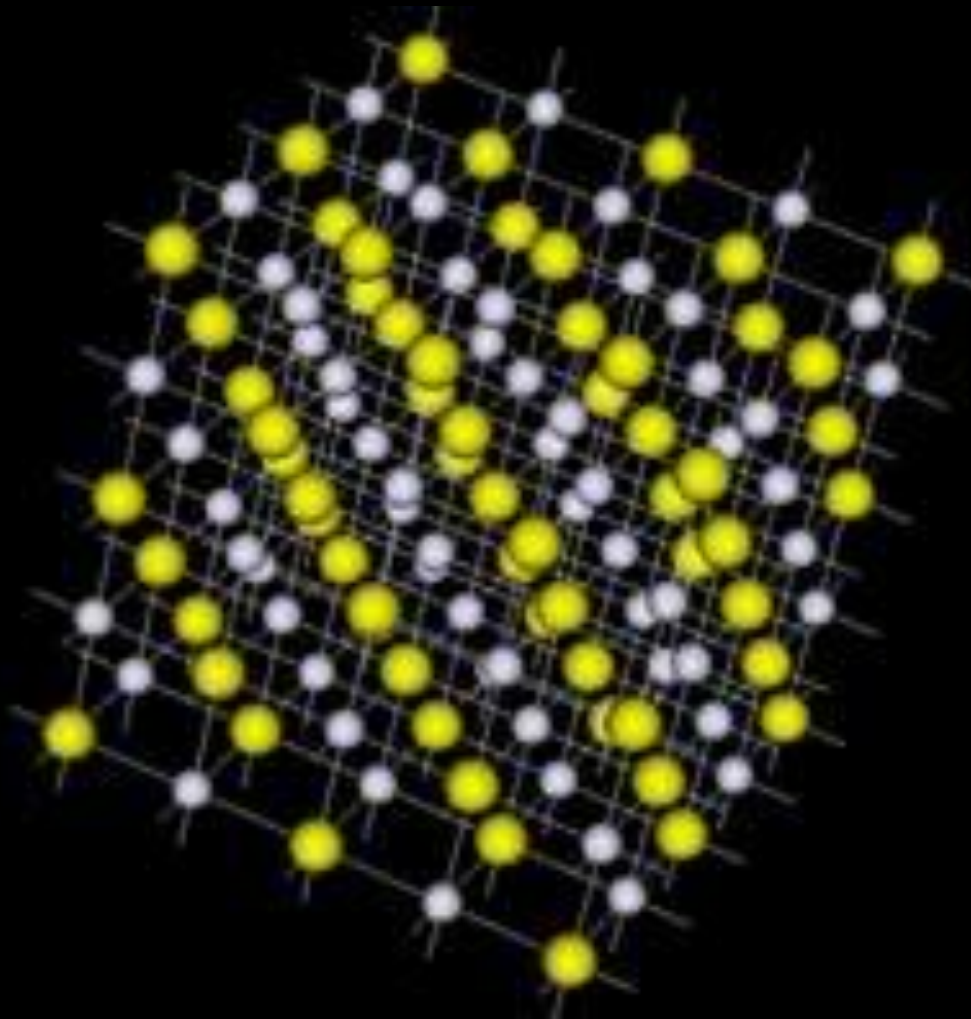
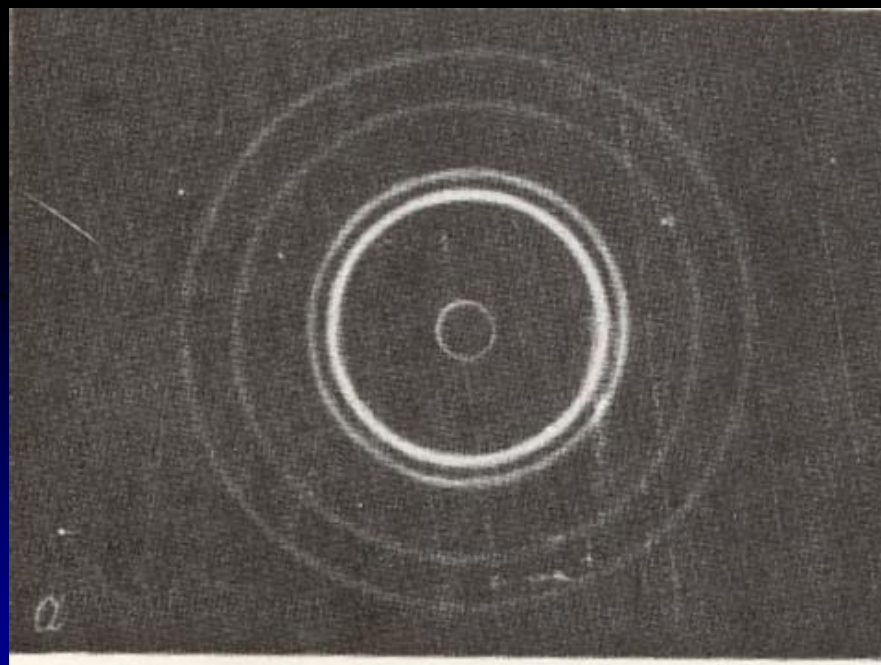
# Опыты по выявлению волновых свойств излучения

## 1. Лауэграмма после дифракции на кристалле рентгеновских лучей



# Опыты по выявлению волновых свойств излучения

## 2. Дебаеграмма после дифракции на поликристалле рентгеновских лучей




# Гипотеза де Бройля (1923 г.)

Корпускулярные свойства ЭМВ

Энергия

$$\varepsilon = h\nu = \hbar\omega$$

Импульс

$$p = \frac{h}{\lambda}$$
A diagram showing several white dots representing particles moving along curved, downward-sloping paths. The paths are represented by thin white lines.

Волновые свойства частиц

Частота

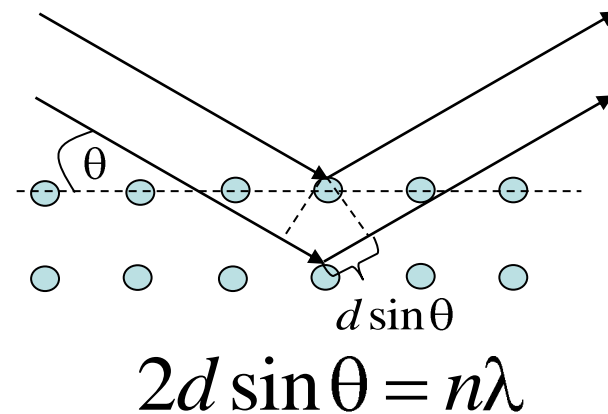
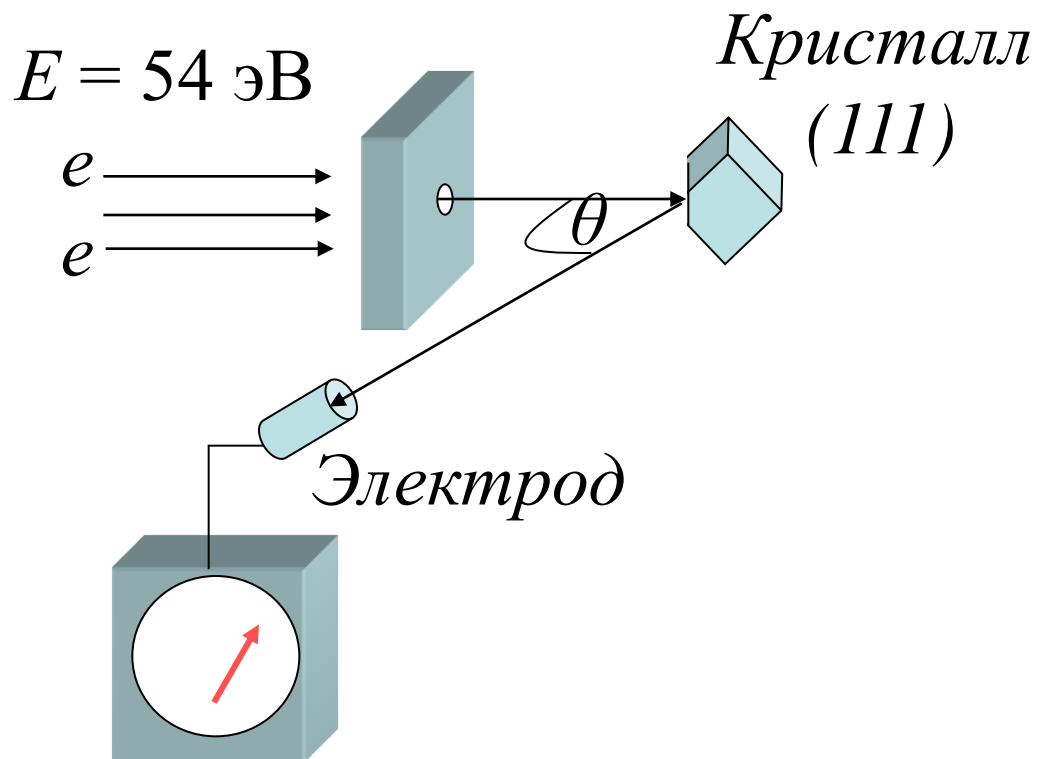
$$\omega = \frac{E}{\hbar}$$

Длина волны

$$\lambda_B = \frac{h}{p}$$

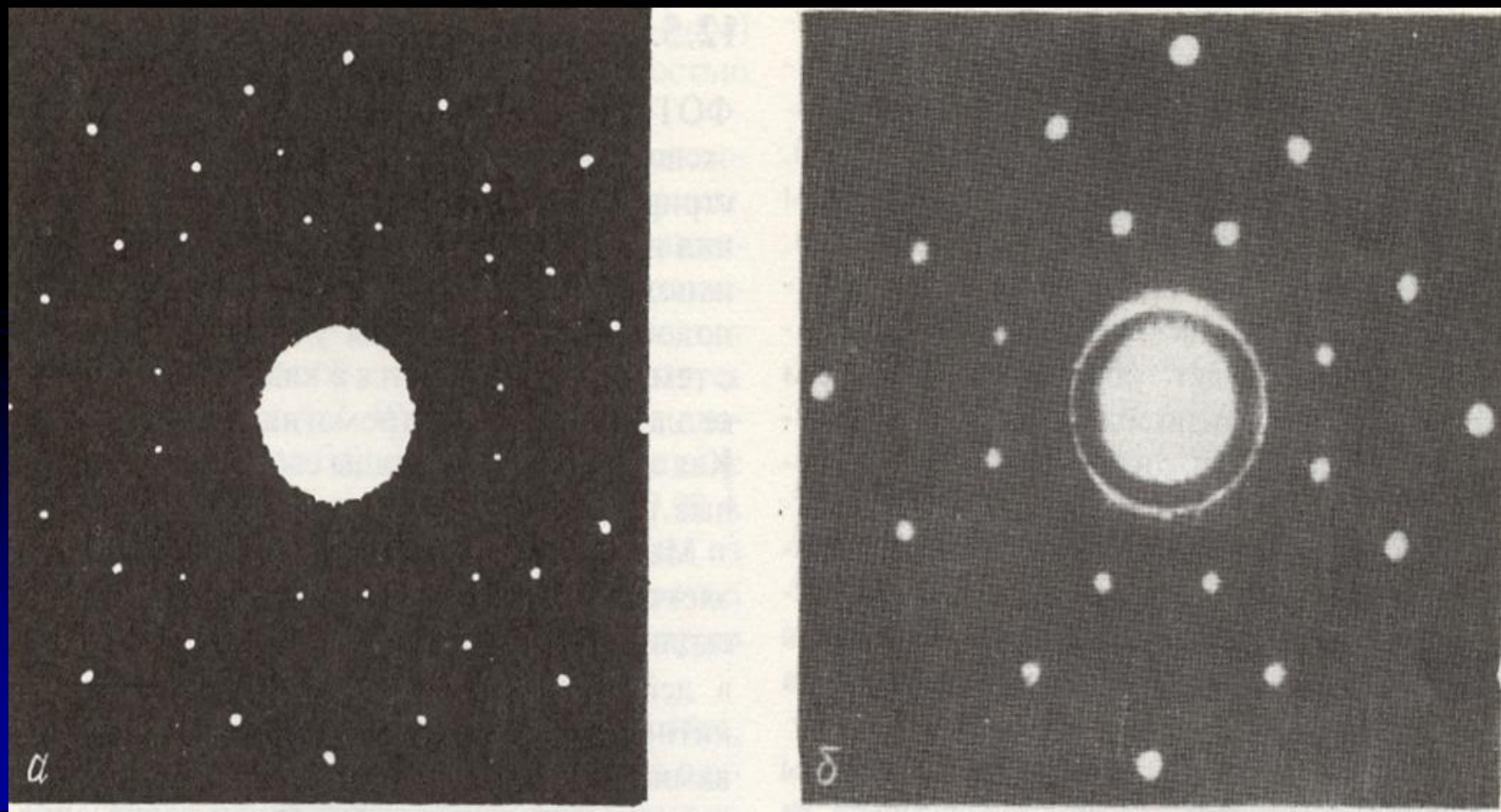
длина волны  
де Бройля

# Эксперимент Девиссона и Джермера (1927 г.)



-условие максимумов  
Вульфа-Брегга

Лауэграммы после дифракции на кристалле  
поваренной соли:  
а) рентгеновских лучей;  
б) электронов

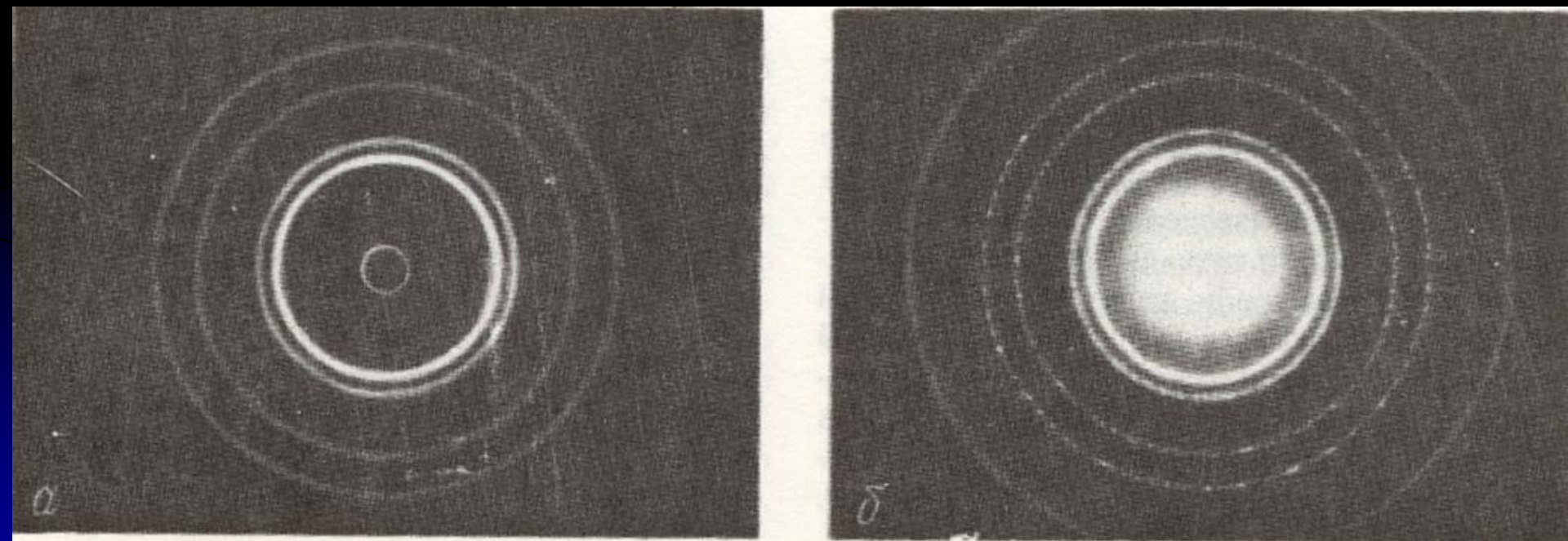




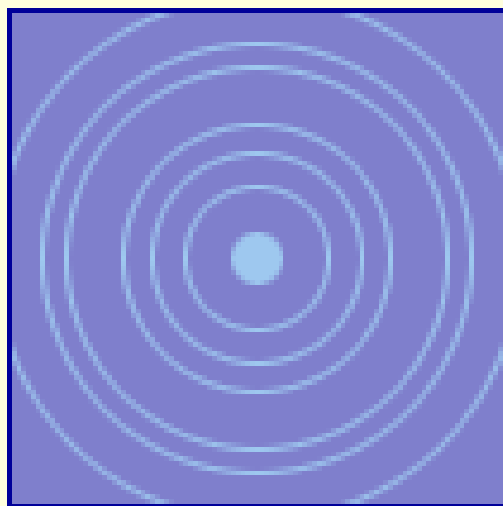
Дифракция на поликристалле (дебаеграммы):

а) рентгеновских лучей;

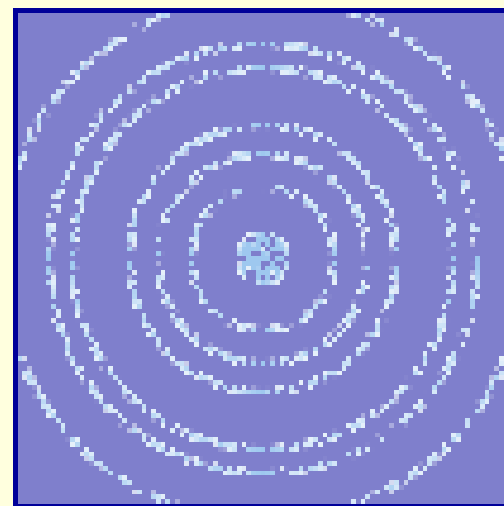
б) электронов (1927 г. Дж.П. Томсон ; П.С. Тарковский)



Картина дифракции электронов на поликристаллическом образце при длительной экспозиции (а) и при короткой экспозиции (б).

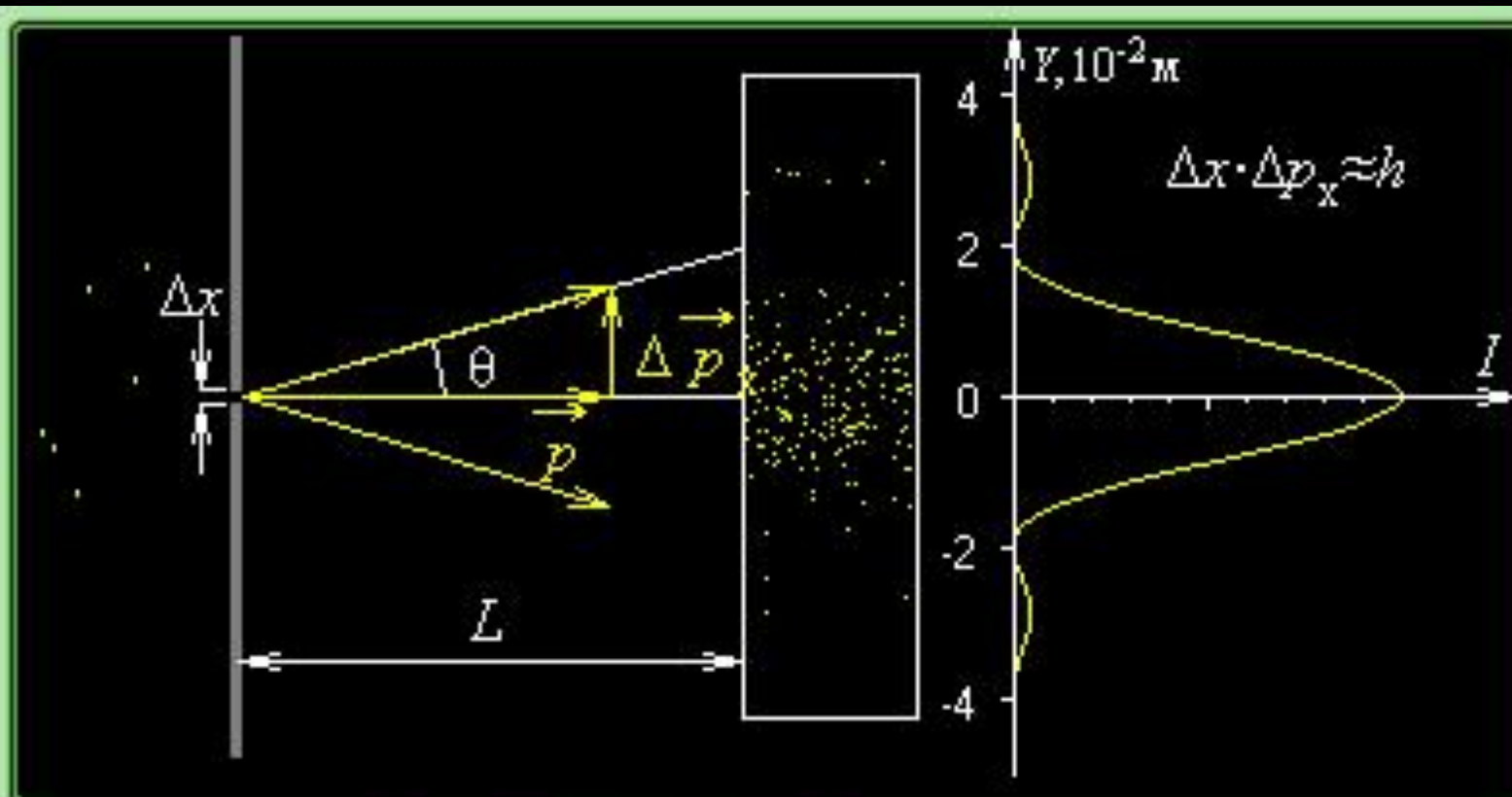


(a)



(b)

# Дифракция электронов (5.3)



Ширина  $\Delta x =$      $\cdot 10^{-10}$  м

$\lambda = h/p = 0.40 \cdot 10^{-10}$  м

$L = 0.1$  м

Одна щель  Две щели

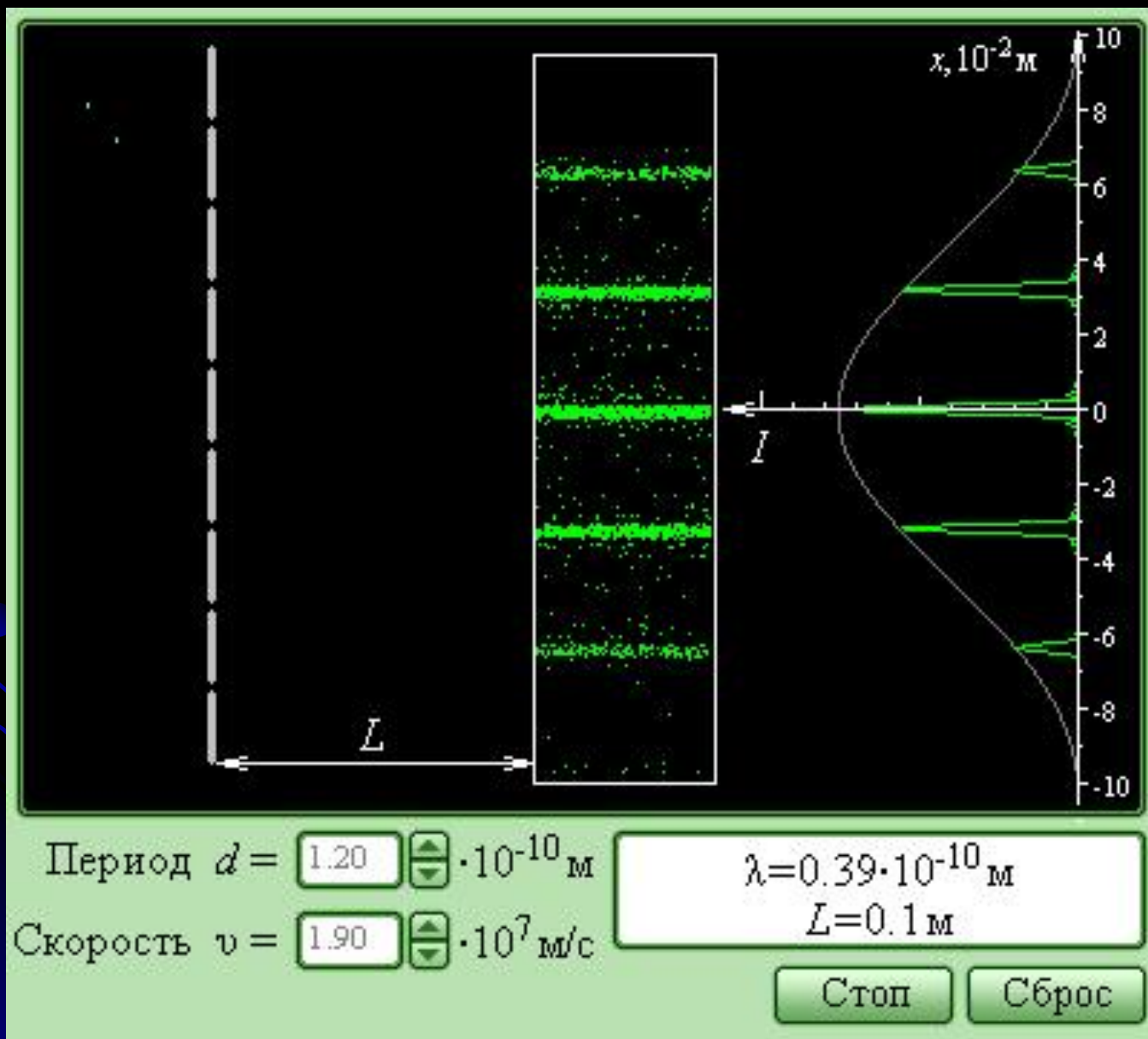
$\Delta x \cdot \sin \theta = \lambda$   $\theta \approx \lambda / \Delta x$

$\Delta p_x \approx \theta \cdot p \approx h / \Delta x$

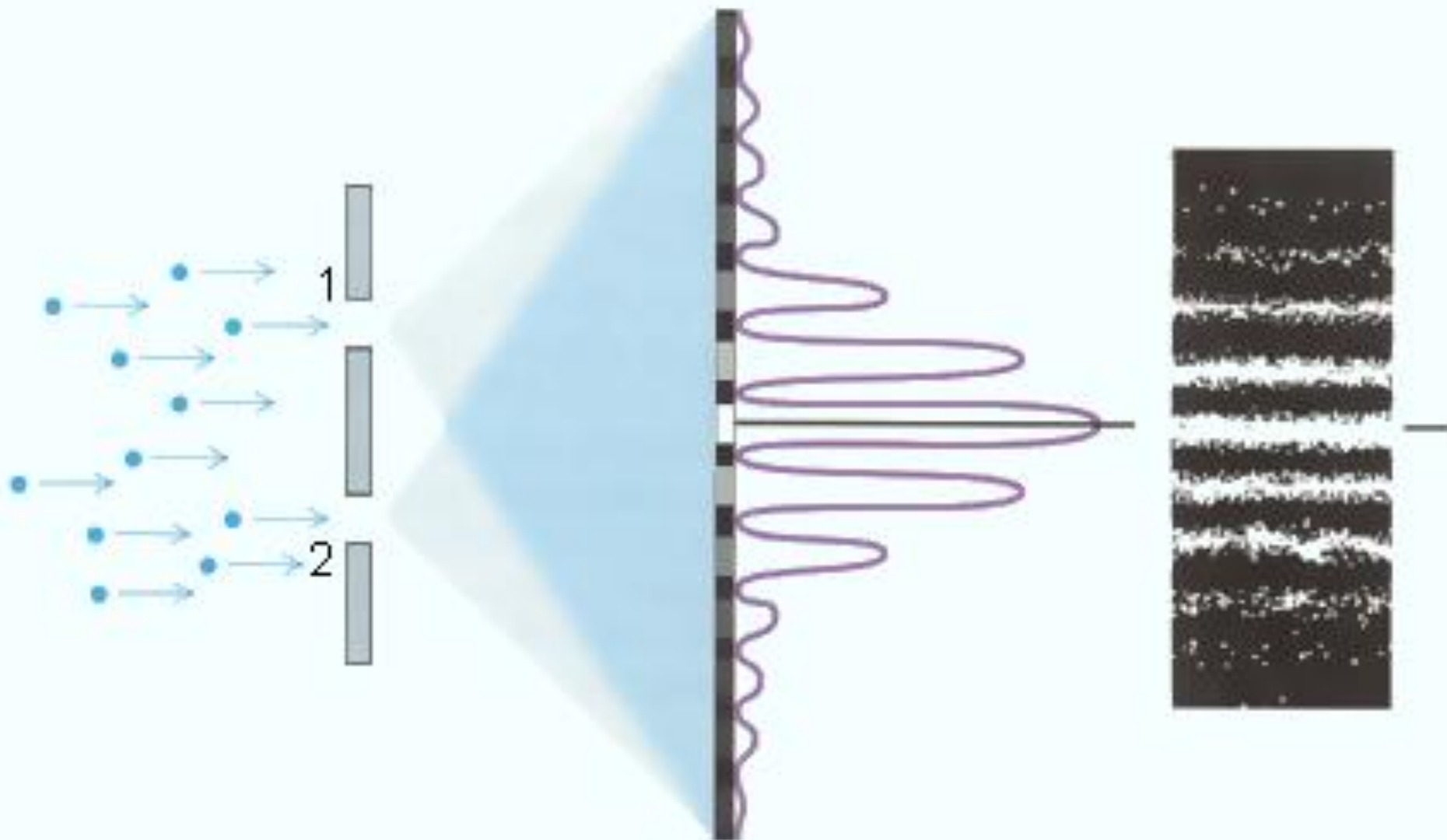
Стоп

Сброс

# Дифракция электронов (5.4).



# Дифракция электронов на двух щелях.

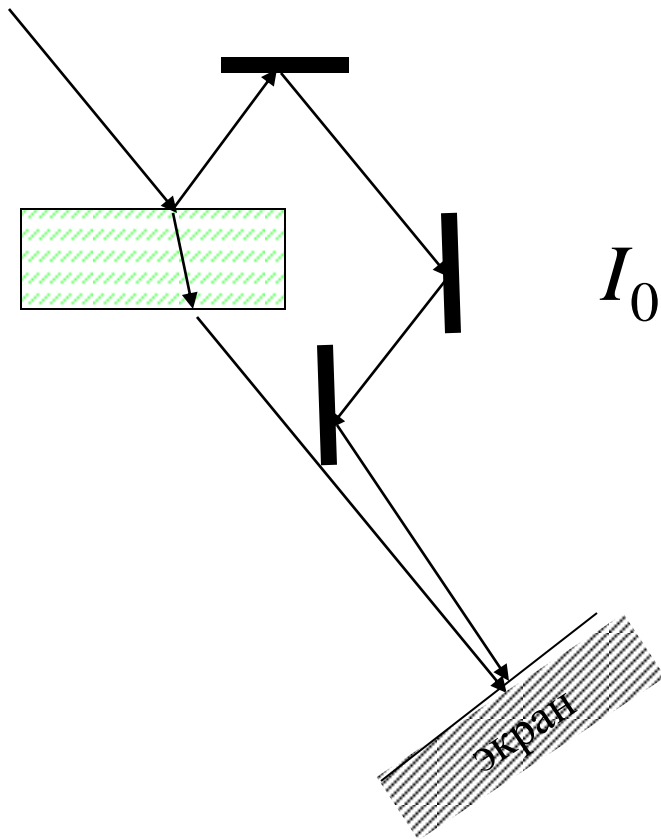


# Тема 1. Корпускулярно-волновой дуализм

- 1.6. Гипотеза де Бройля.
- 1.7. Волновая функция и ее физический

СМЫСЛ





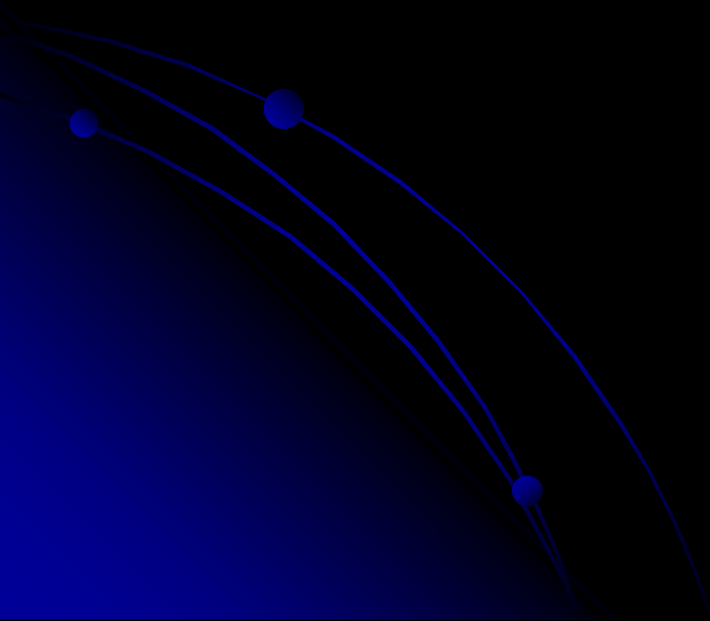
Для волн (света)

$$I_0 \neq I_1 + I_2, \text{ НО } E_0 = E_1 + E_2$$

$$W = \left| \Psi_1 + \Psi_2 \right|^2 = a_1^2 + a_2^2 + 2a_1a_2 \cos \alpha_1 - \alpha_2$$

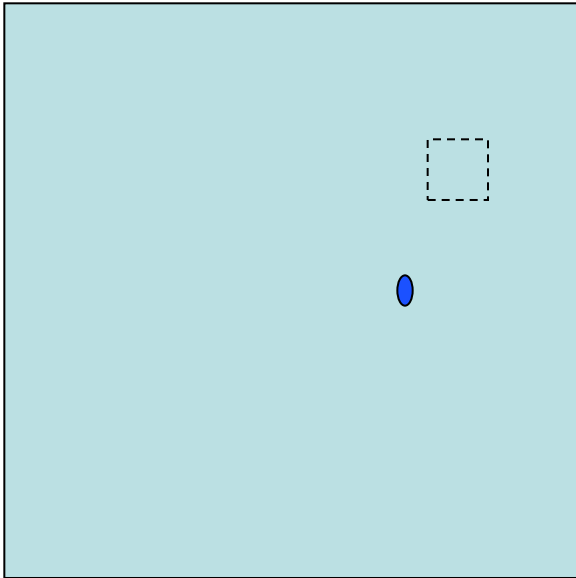
# Вывод:

- Микрочастицу нельзя отождествлять с пакетом волн де Бройля



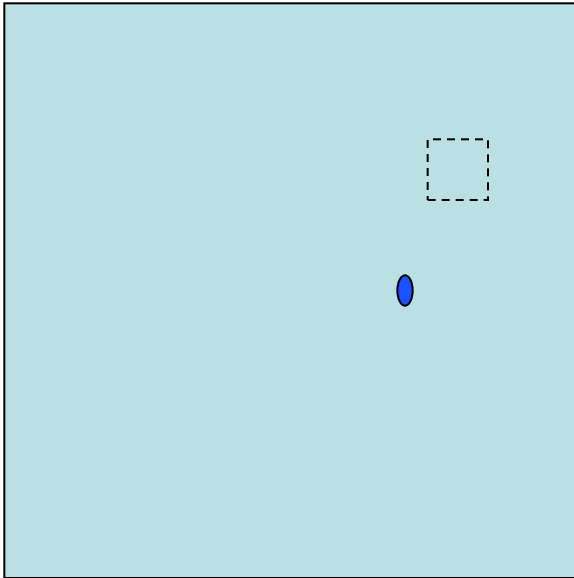


# Вероятность обнаружения частицы в классической физике



$$W_{\Delta V} = \int_{\Delta V} \rho dV$$

# Физический смысл волновой функции (М.Борн 1926 г.)



$$|\Psi|^2 = \rho$$

# Свойства волновой функции $\psi(x, t)$

1. Однозначность.
2. Непрерывность.
3. Вероятность обнаружения частицы в объеме  $dV$ :

$$dW = |\Psi|^2 dV = \Psi^* \Psi dV$$

$|\Psi|^2$  - плотность вероятности нахождения частицы в данной точке пространства

4. Условие нормировки:

$$\int_V |\Psi|^2 dV = 1$$

5. Принцип суперпозиции:

$$\Psi = \Psi_1 + \Psi_2$$

# Физический смысл $\Psi$ -функции

- - является амплитудой плотности вероятности обнаружения объекта в окрестности точки  $\vec{r}$  в момент времени  $t$ .

# Тема 1. Корпускулярно-волновой дуализм

- 1.7. Волновая функция и ее физический смысл
- 1.8. Соотношение неопределенностей Гейзенберга

# 1. Свободная частица

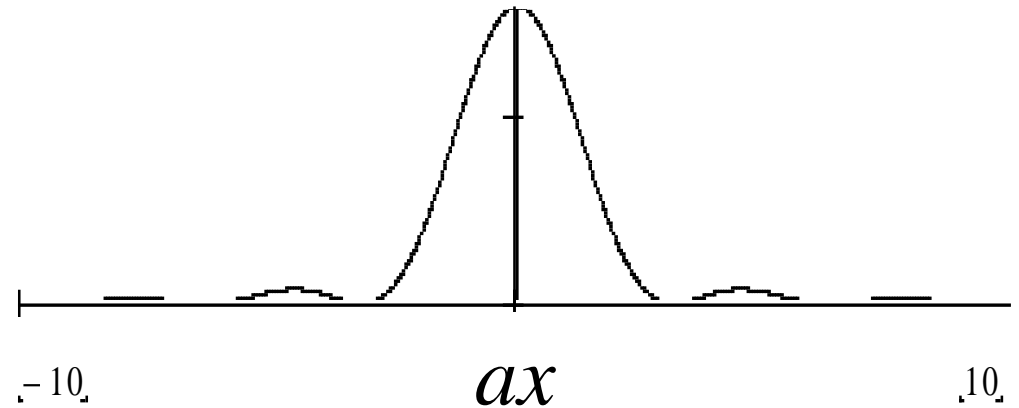
$$\Psi(x, t) = A e^{\frac{i}{\hbar}(p_x x - Et)}$$

волновая функция  
свободной частицы

$$\psi^2 = \text{const}$$

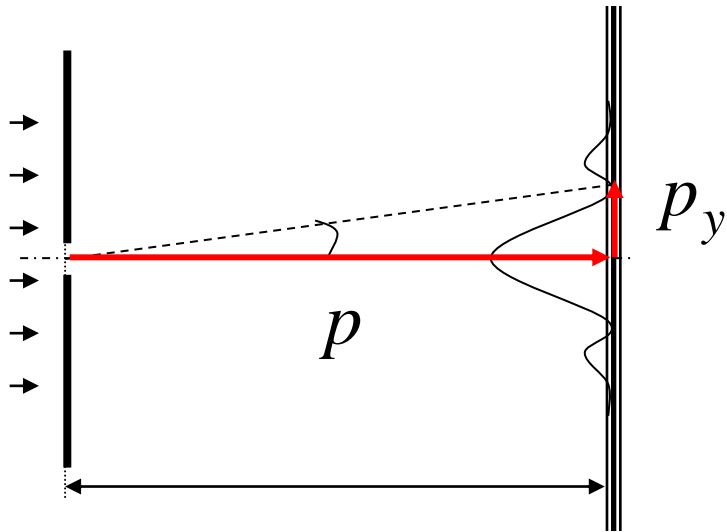
$$\Delta p_x = 0; \quad \Delta x \rightarrow \infty \quad (*)$$

## 2. Пакет волн де Бройля



$$\Delta x \Delta p \approx 4\pi\hbar \quad (**)$$

### 3. Дифракция электронов на щели



$$\Delta y \Delta p_y \approx h \quad (***)$$



# Соотношения неопределенностей

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2} \\ \Delta y \cdot \Delta p_y \geq \frac{\hbar}{2} \\ \Delta z \cdot \Delta p_z \geq \frac{\hbar}{2} \end{array} \right.$$

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$$



**Гейзенберг Вернер**  
(5.XII.1901–1.II.1976)



**Бор Нильс**  
(7.X.1885–18.XI.1962)