

**Волны де Бройля.
Опыт Дэвиссона**

Волны де Бройля. Опыт Дэвиссона

Гипотеза де Бройля: все "обыкновенные частицы" (электроны, протоны, нейтроны и др.) обладают волновыми свойствами, которые, в частности, должны проявляться в явлениях интерференции, дифракции.

$$\lambda = h/mv \quad - \quad \text{длина волны де Бройля}$$

Волновые свойства частиц

Для фотона

$$p = \frac{E}{c} = \frac{hc}{c\lambda} = \frac{h}{\lambda}$$

Гипотеза Де Бройля для частиц

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

Девиссон и Джермер в 1927 г. наблюдали дифракцию электронов на монокристалле никеля

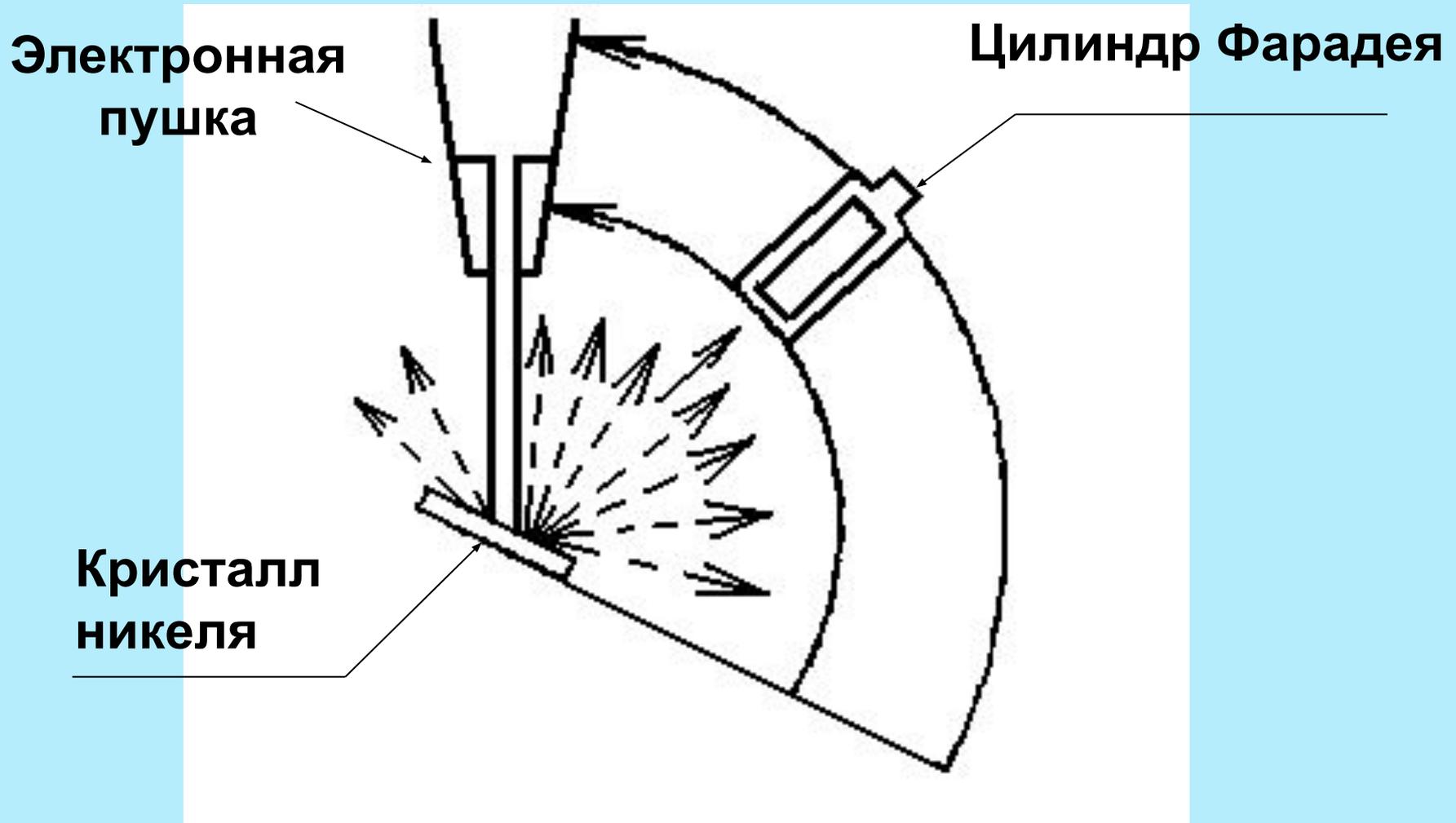
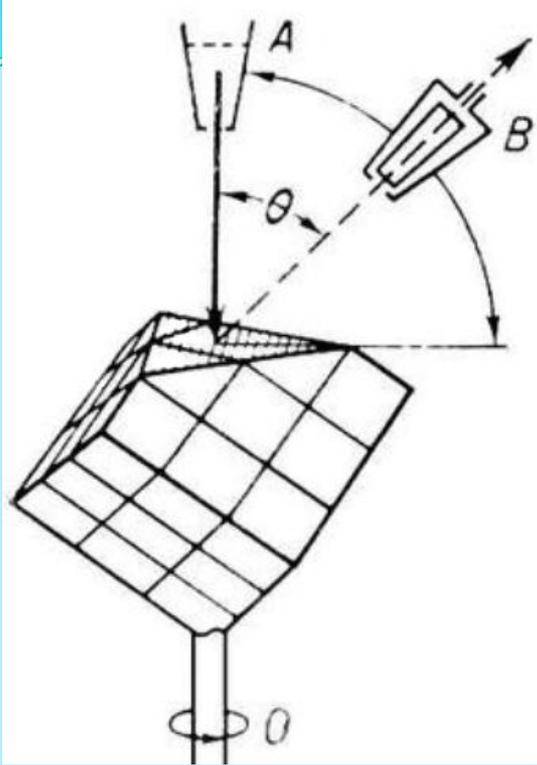


Схема опытов Девиссона

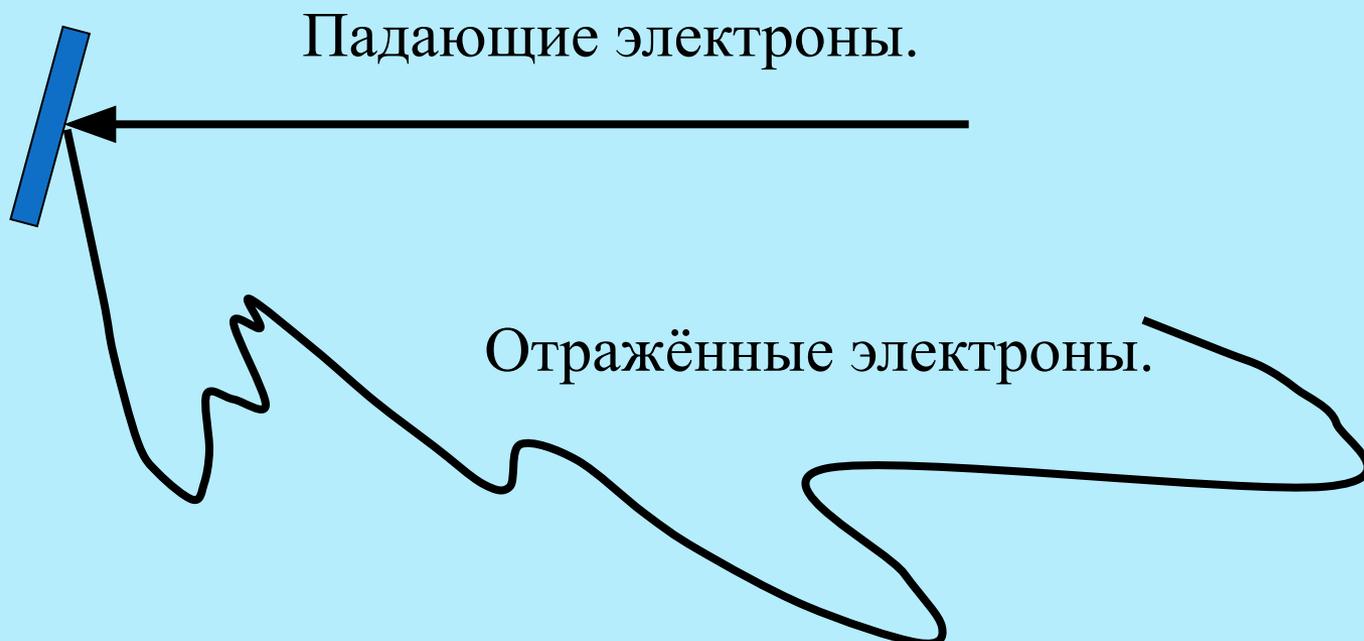
Опыты Дэвиссона и Джермера



При «отражении» электронов от поверхности кристалла никеля при определённых углах отражения возникали максимумы

При «отражении» электронов от поверхности кристалла никеля при определённых углах отражения возникали максимумы.

Дифракционная картина, аналогичная картине возникающей при дифракции рентгеновских лучей на том же кристалле



*Угловое распределение отражённых электронов
в опытах Девиссона и Джермера*

Применимость формулы де Бройля не ограничивается только электронами; любой частице соответствует волна, определяемая этой формулой.

Для теннисного мяча ($v = 25\text{ м/с}$) – $\lambda = 6 \cdot 10^{-22}\text{ см}$,

для атомов водорода – $\lambda = 1,2 \cdot 10^{-8}\text{ см}$, т.е около $1 \overset{\boxtimes}{\text{А}}$

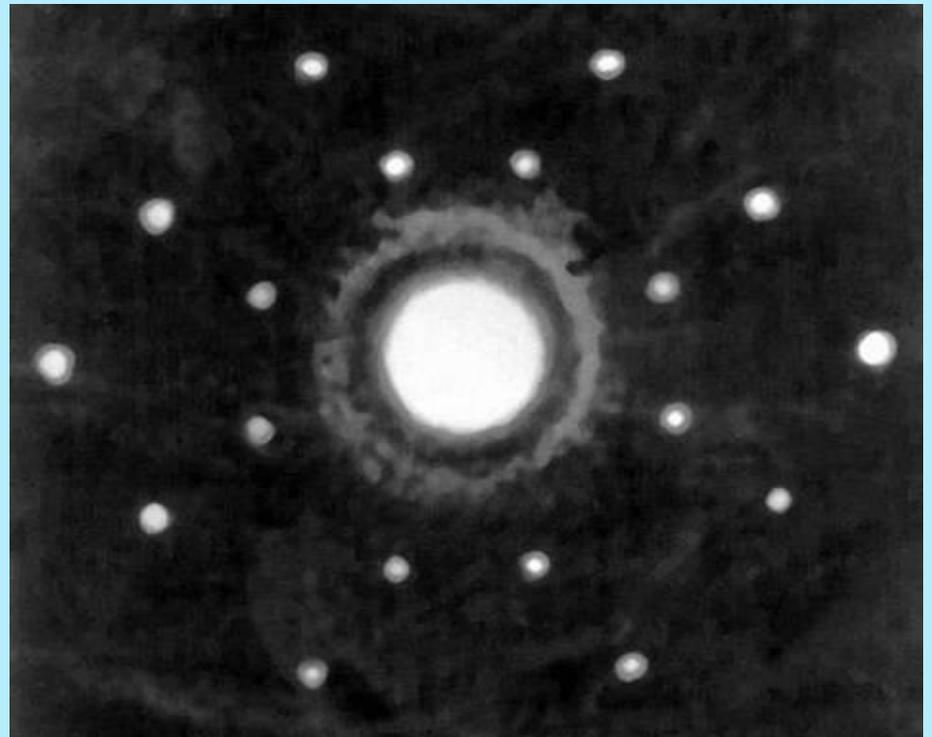
Экспериментально доказано, что волновые свойства присущи всем без исключения микро-частицам

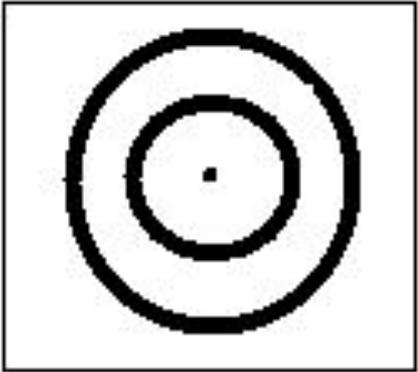
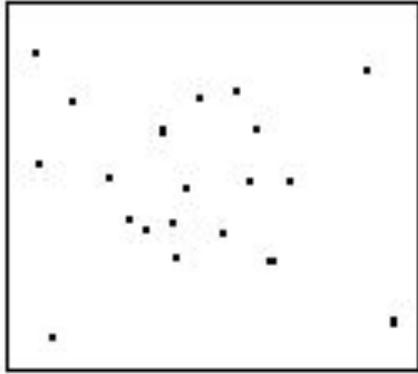
Дифракция наблюдалась и для более тяжелых заряженных частиц – протонов, ионов гелия и др.

**Дифракция электронов при прохождении плёнок
алюминия и золота впервые исследовали
Дж. Дж. Томсон и П. С. Тартаковский (1927 г.)**

Вскоре после этого удалось наблюдать и явления дифракции атомов и молекул

дифракция нейтронов



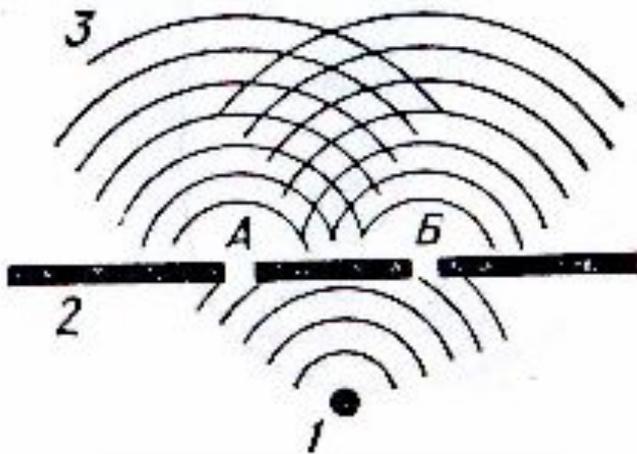
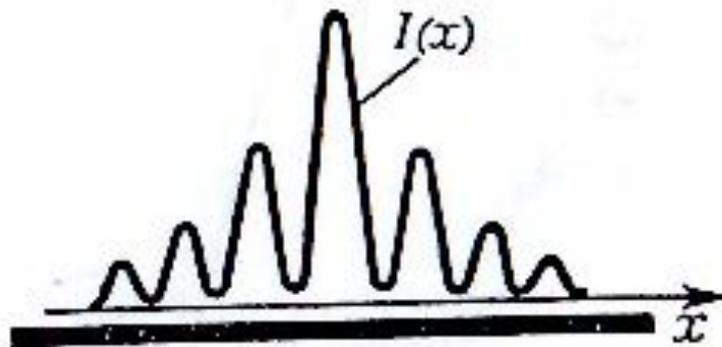


В 1949 г. *Л.М. Биберман, Н.Г. Сушкин, В.А. Фабрикант* использовали пучок малой интенсивности: каждый рассеянный электрон проходил через кристалл поодиночке и регистрировался фотопластинкой.

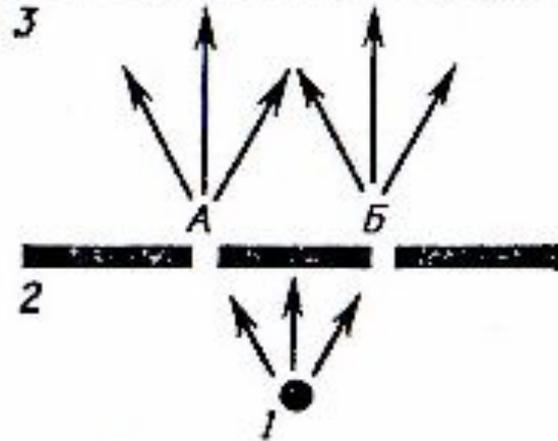
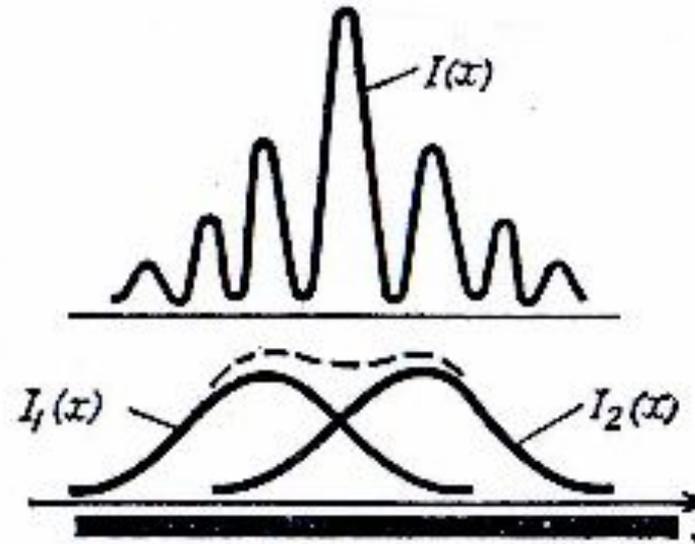
Было доказано, *что волновыми свойствами обладает каждый отдельный электрон.*

Таким образом, было доказано, что **волновые свойства являются универсальным свойством всех микрочастиц**

Прохождение микрочастицы через две щели



Опыт Юнга

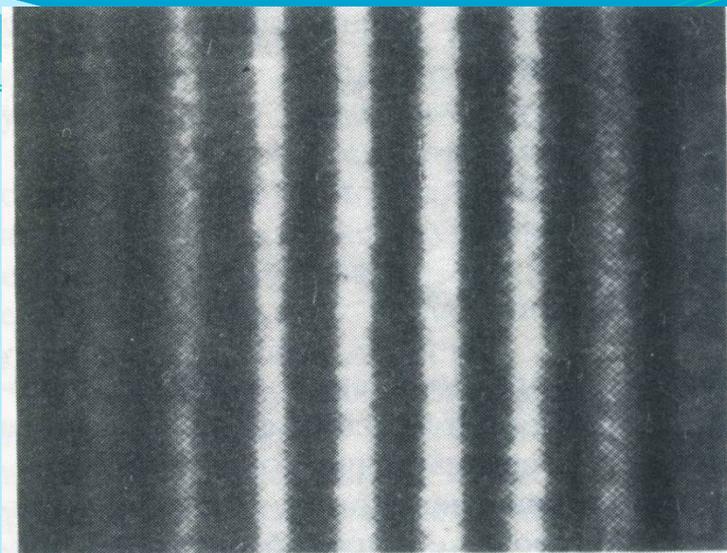


Электроны

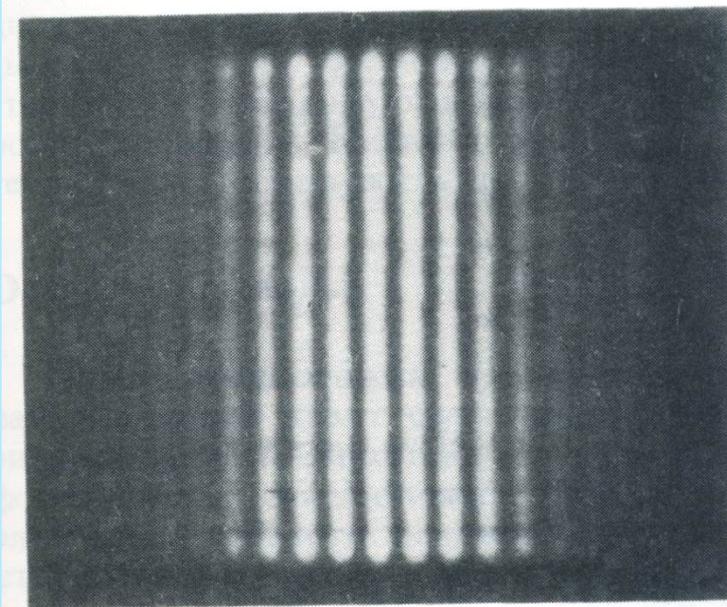
картина для электронов идентична картине для фотонов

интерференционная
картина от двух щелей
в случае электронов

интерференционная
картина от двух щелей
в случае света



a



б

Уравнения де Бройля

Микрочастицы обладают корпускулярно-волновым дуализмом

Каждой микрочастице соответствует волна, характеризующаяся частотой колебания ν и длиной волны λ - вследствие этого движение микрочастиц является волновым движением.

$$\varepsilon = h\nu = \hbar\omega = \frac{hc}{\lambda}.$$

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

Эти соотношения, выражающие связь между корпускулярными и волновыми свойствами микрочастиц, называются **уравнениями де Бройля**

В случае фотонов понятно, так как волна делится на две части, которые интерферируют.

Но электрон неделим и локализован в одной точке при попадании на фотопластинку. Значит, движение частицы подчиняется вероятностным законам.

Интерференционная картина лишь характеризует вероятность попадания электрона в определенную точку экрана.

Единственный способ «объяснения» этого явления - **создание математического формализма, который должен как бы объяснить прохождение электрона через две щели.**

В его основе - каждой частице поставлена в соответствие некоторая комплексная функция

$$\psi(\vec{r}, t) = \psi(x, y, z, t).$$

Поскольку формально она обладает свойствами классической волны ее **назвали волновой функцией - Ψ (пси - функция).**

В связи с тем, что нельзя указать через какую щель проходит электрон, понятие траектории теряет смысл.

Соотношение неопределенностей

В.Гейзенберг, учитывая волновые свойства микро-частиц, показал, что объект микромира невозможно одновременно с любой наперед заданной точностью характеризовать классически, то есть координатой и проекцией импульса на соответствующую ось.

Соотношения неопределенностей имеют вид:

$$\Delta x \Delta p_x \geq \hbar / 2$$

$$\Delta y \Delta p_y \geq \hbar / 2$$

$$\Delta z \Delta p_z \geq \hbar / 2$$

Δx - неопределенность значений координаты;
 Δp_x - неопределенность значений импульса.

Принцип неопределенности

1927, Вернер Гейзенберг

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{\hbar}{2}$$

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

Энергия и время являются канонически сопряженными величинами

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$$

ΔE - неопределенность значений энергии;

Δt - неопределенность определения времени.

Определение энергии с точностью ΔE должно занять интервал времени, равный по меньшей мере:

$$\Delta t \sim \hbar / \Delta E$$