

# **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

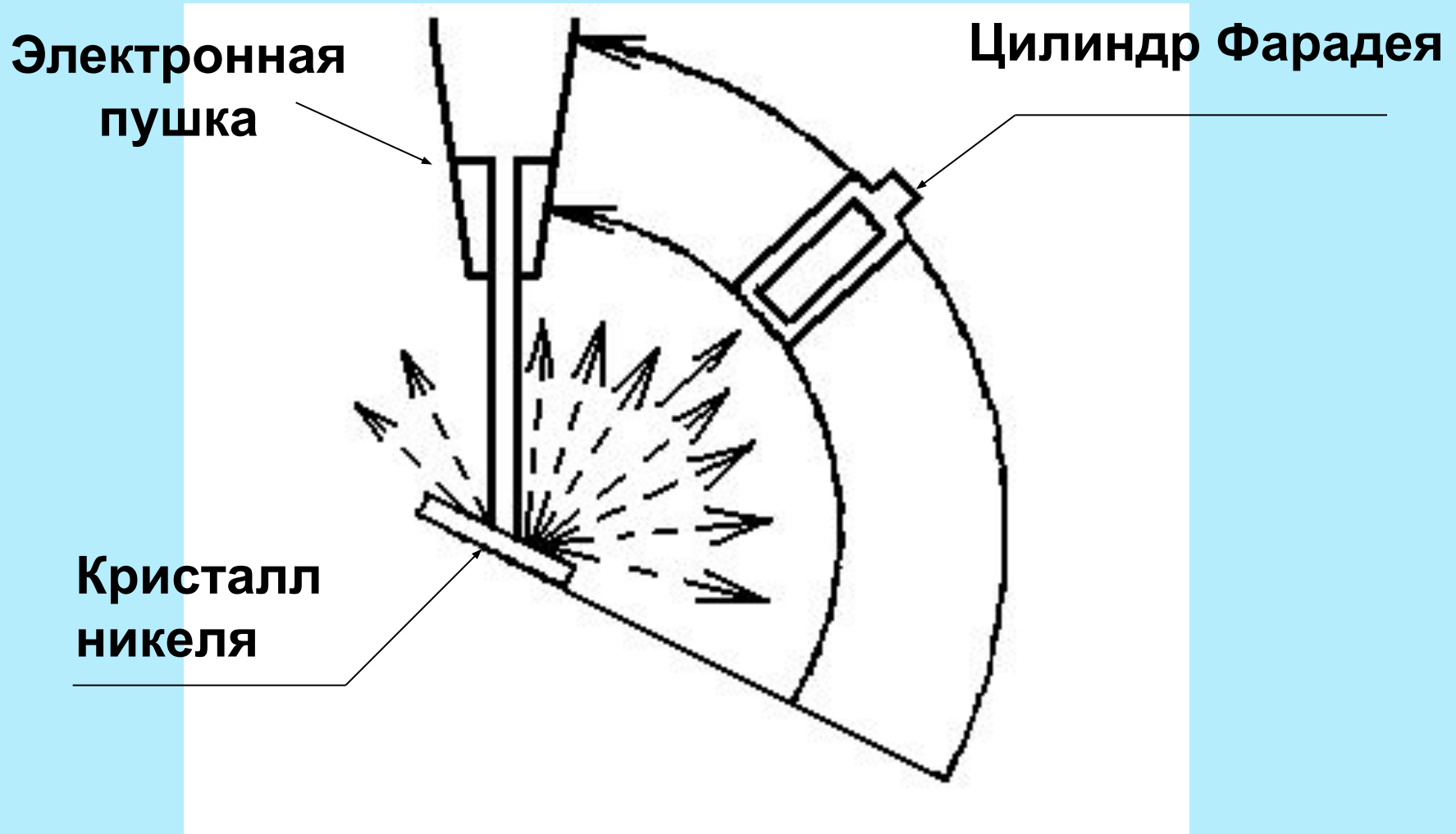
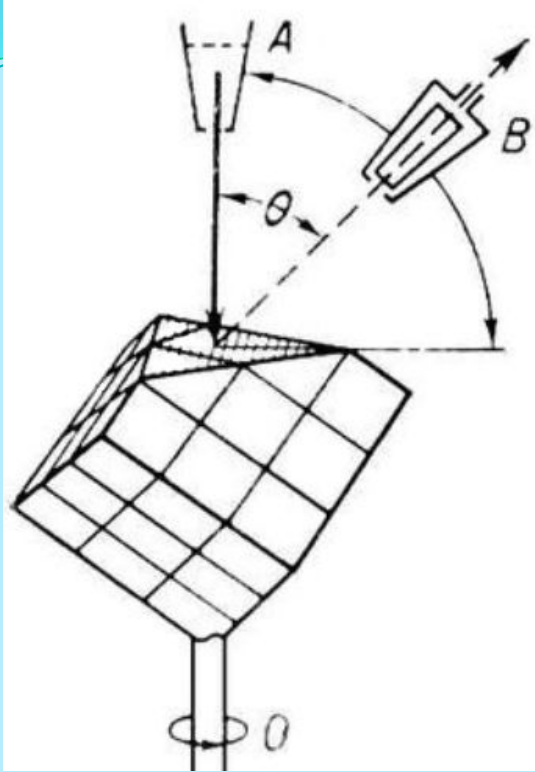


Схема опытов Девиссона

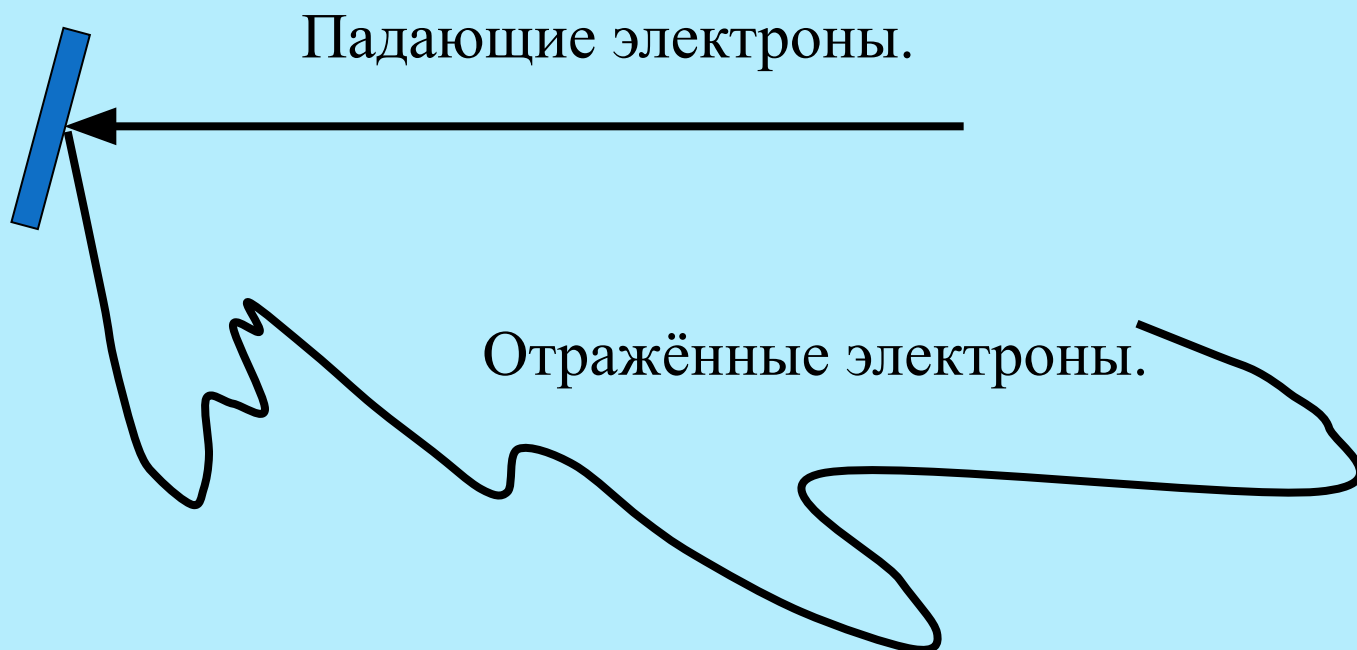
## Опыты Дэвиссона и Джермера



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  $1 \overset{\boxtimes}{\text{А}}$*

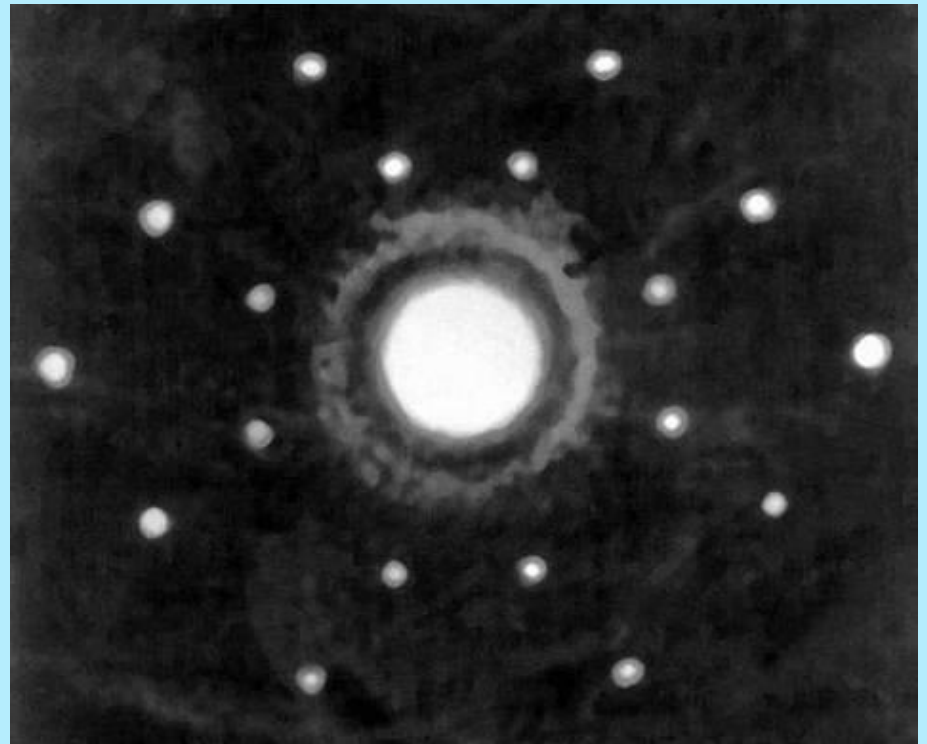
**Экспериментально доказано, что волновые свойства присущи всем без исключения микро-частицам**

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

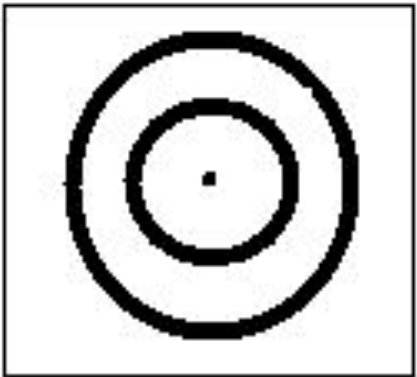
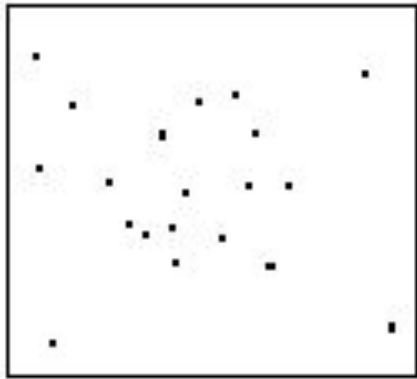
**Дифракция электронов при прохождении плёнок  
алюминия и золота впервые исследовали  
Дж. Дж. Томсон и П. С. Тартаковский (1927 г.)**

Вскоре после этого удалось наблюдать и явления дифракции атомов и молекул

**дифракция нейтронов**





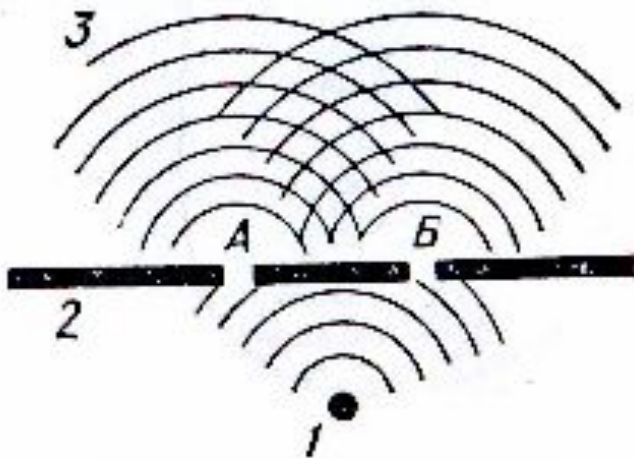
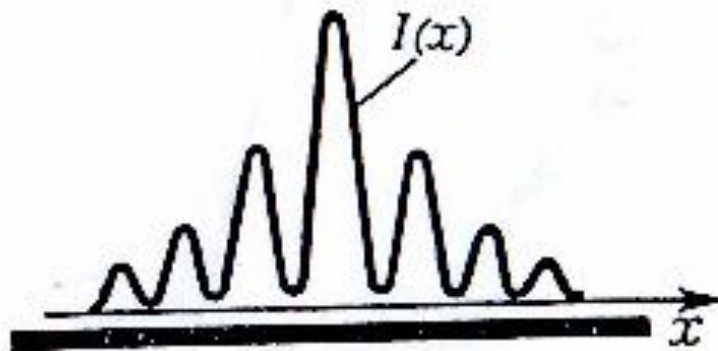


В 1949 г. *Л.М. Биберман, Н.Г. Сушкин, В.А. Фабрикант* использовали пучок малой интенсивности: каждый рассеянный электрон проходил через кристалл поодиночке и регистрировался фотопластинкой.

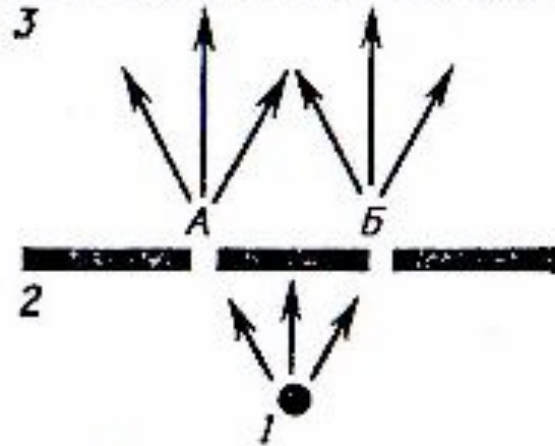
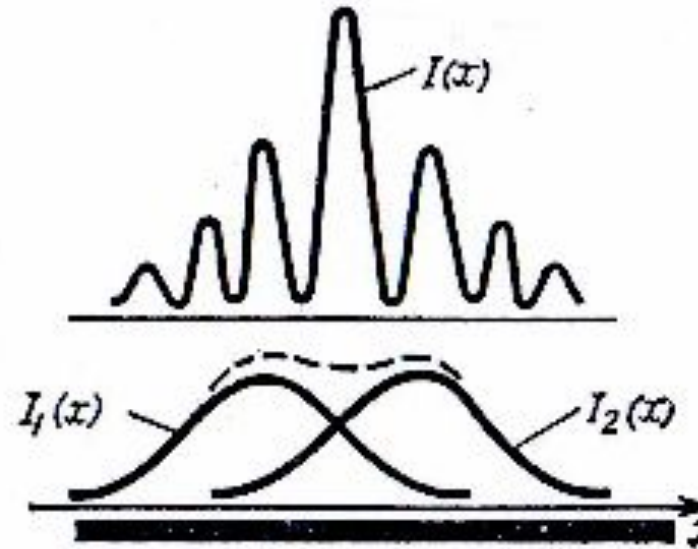
Было доказано, *что волновыми свойствами обладает каждый отдельный электрон.*

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

# Прохождение микрочастицы через две щели



Опыт Юнга

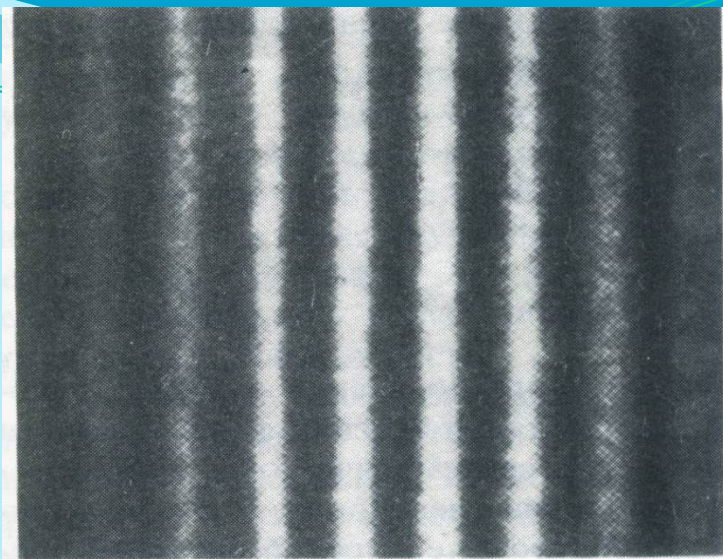


Электроны

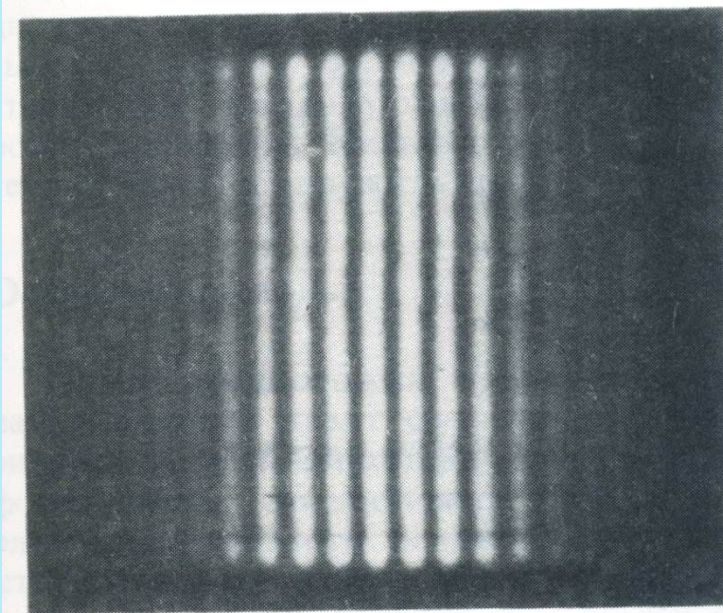
картина для электронов идентична картине для фотонов

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  $\nu$  и длиной волны  $\lambda$  - 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 -  $\Psi$  (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:**

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

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

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

$\Delta x$  - неопределенность значений координаты;

$\Delta p_x$  - 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

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

$\Delta E$  - неопределенность значений энергии;

$\Delta t$  - неопределенность определения времени.

Определение энергии с точностью  $\Delta E$  должно занять интервал времени, равный по меньшей мере:

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