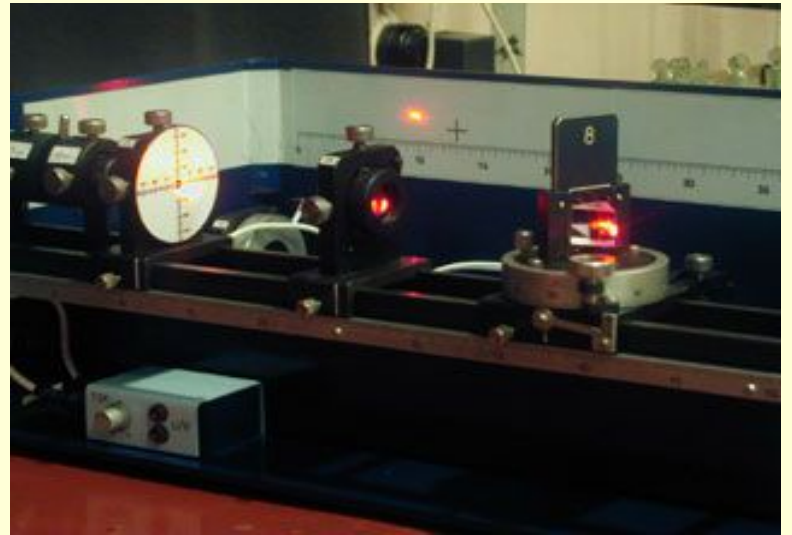


Оптика и квантовая физика

для студентов
2 курса ФТФ и ГГФ



Кафедра общей физики



Элементы квантовой механики

- Гипотеза де Бройля
- Опыты Дэвиссона и Джермера
- Дифракция микрочастиц
- Соотношение неопределенностей Гейзенберга

Гипотеза де Бройля



Л. де Бройль

1892 – 1987

Нобелевская премия
по физике, 1929 г.

В 1923 г. французский физик Луи де Бройль высказал гипотезу о том, что поскольку свет ведет себя в одних случаях как волна, в других – как частица, то и объекты природы, которые мы считаем частицами (элементарные частицы, атомы, молекулы и т.д.), могли бы обладать волновыми свойствами. Де Бройль предположил, что длина волны, отвечающая материальной частице, связана с ее импульсом так же, как в случае фотона

$$p = h/\lambda$$

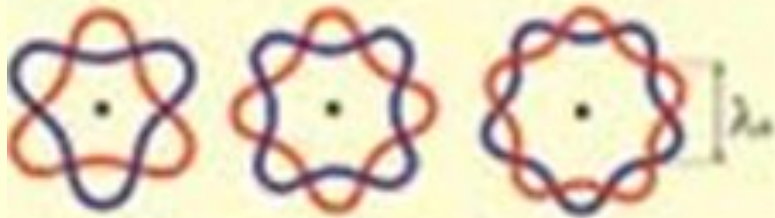
Любой частице с массой m , которая движется со скоростью V , соответствует волна, для которой

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{2\pi\hbar}{p} = \frac{h}{mV}$$

- дебройлевская длина
волны частицы

Для шарика $m=10^{-3}$ кг, движущегося со скоростью $V=10^2$ м/с, $\lambda = 6,62 \cdot 10^{-33}$ м.
Для электрона, движущегося со скоростью $V = 2 \cdot 10^7$ м/с, $\lambda = 0,0025$ нм

Гипотеза де Бройля



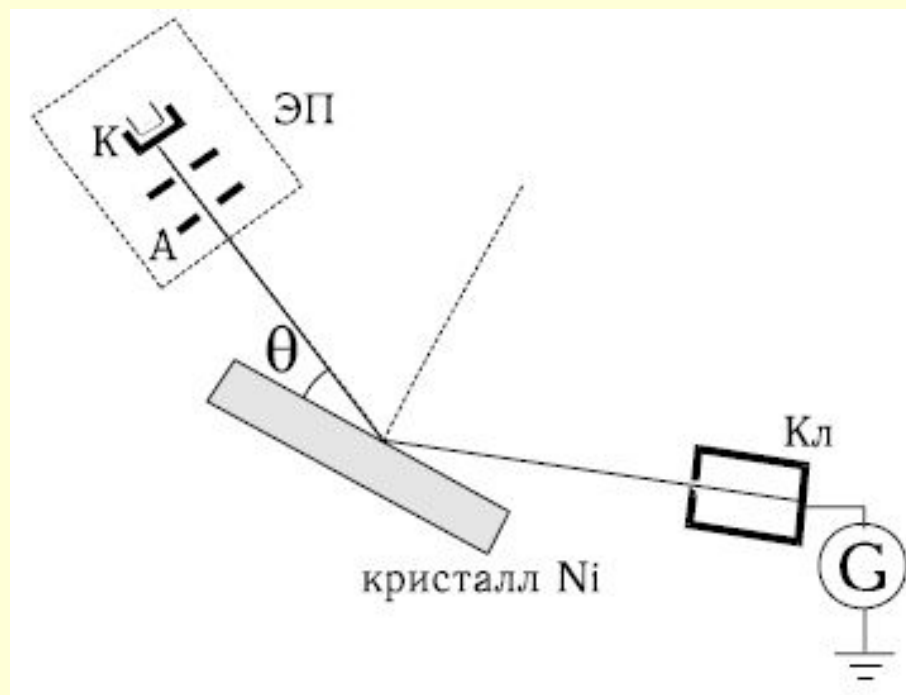
Волновая модель атома

Скорость электрона на определенной орбите, находящейся на определенном расстоянии от ядра, соответствует определенному импульсу (скорости, умноженной на массу электрона) и, следовательно, по гипотезе Б., определенной длине волны электрона. По утверждению Б., «разрешенные» орбиты отличаются тем, что на них укладывается целое число длин волн электрона. Только на таких орбитах волны электронов находятся в фазе (в определенной точке частотного цикла) с самими собой и не разрушаются собственной интерференцией.



Опыты Дэвиссона и Джермера

1927 г.



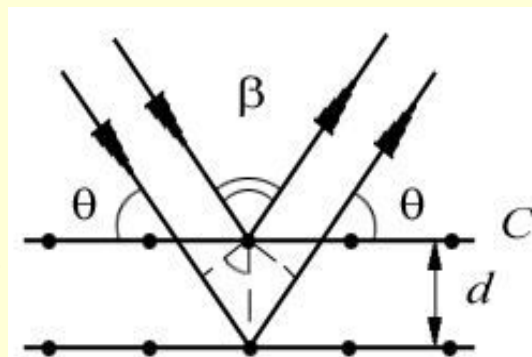
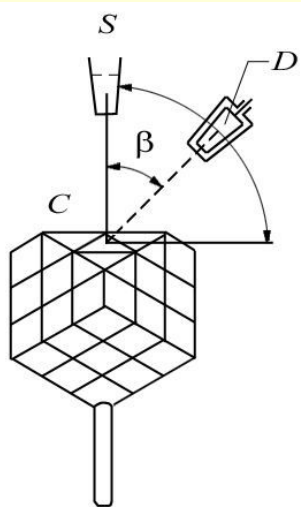
Наблюдалось рассеяние параллельного пучка моноэнергетических электронов, создаваемого электронной пушкой ЭП, на монокристалле никеля. Рассеянные электроны улавливались коллектором Кл, соединенным с гальванометром G.



Опыты Дэвиссона и Джермера

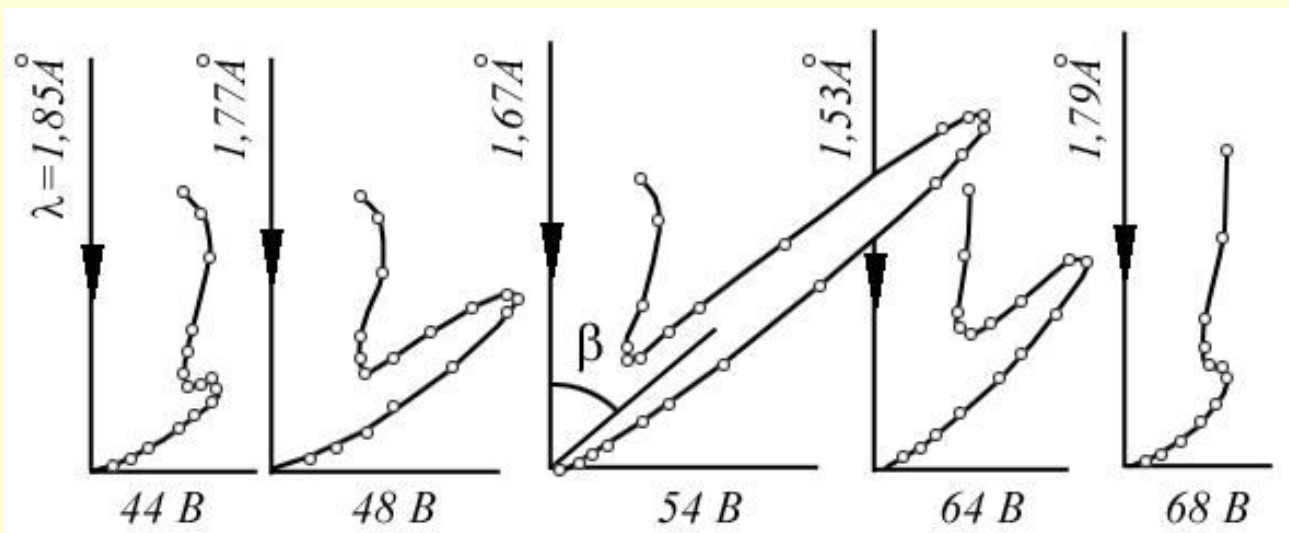
Если электрон обладает волновыми свойствами, то дифракционный максимум (максимум тока коллектора) должен наблюдаться при выполнении условия Вульфа - Брэггов

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (n=0,1,2,\dots)$$



$\theta = 65^\circ$

$\beta = 50^\circ$



Полярные диаграммы дифракционного отражения электронов при изменении ускоряющей разности потенциалов U



Опыты Дэвиссона и Джермера

$$\frac{mV^2}{2} = eU$$

V – скорость электронов

$$V = \sqrt{2(e/m)U}$$

$$\lambda = \frac{h}{mV} = \frac{h}{\sqrt{2emU}} = 0,167 \text{ нм}$$

– Дебройлевская длина волны электрона

Длина волны, определяемая из условия Вульфа – Брэггов для постоянной решетки никеля $d = 2,15 \cdot 10^{-1} \text{ м}$ равнялась $\lambda_B = 0,165 \text{ нм}$.

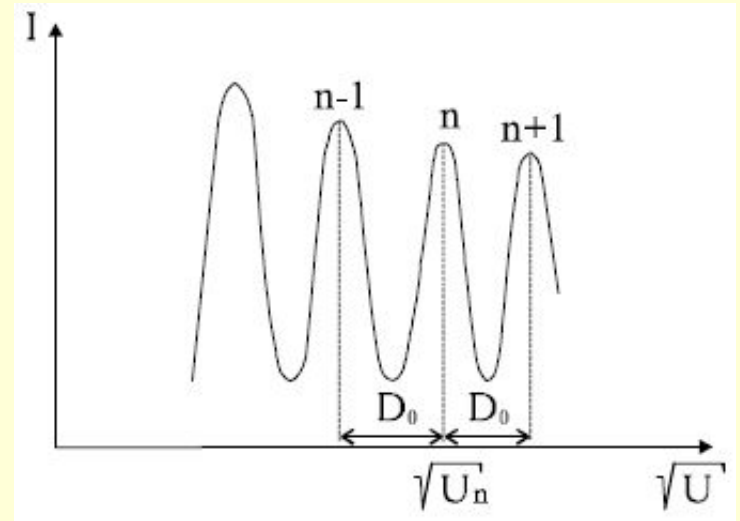
Т.о., доказана гипотеза о наличии у элементарных частиц волновых свойств.



Опыты Дэвиссона и Джермера

$$\lambda = \frac{h}{mV} = \frac{h}{\sqrt{2emU}}$$

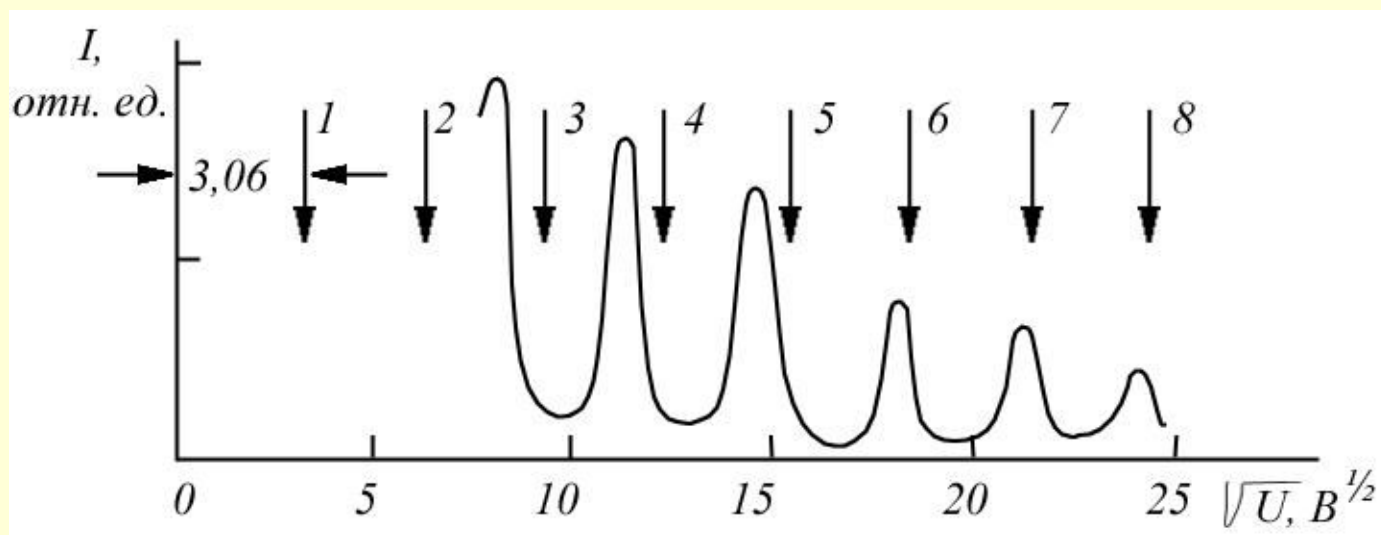
$$2d \sin \theta = n\lambda \quad (n=0,1,2,\dots)$$



$$\frac{nh}{\sqrt{2emU_n}} = 2d \sin \theta, \quad \text{откуда} \quad \sqrt{U_n} = \frac{h}{\sqrt{2em} 2d \sin \theta} n = D_0 n$$

где U_n - ускоряющая разность потенциалов,
отвечающая n -му порядку отражения

Опыты Дэвиссона и Джермера



Зависимость интенсивности пучка электронов, дифрагировавшего на монокристалле никеля, от ускоряющего напряжения U при постоянном значении угла тета.

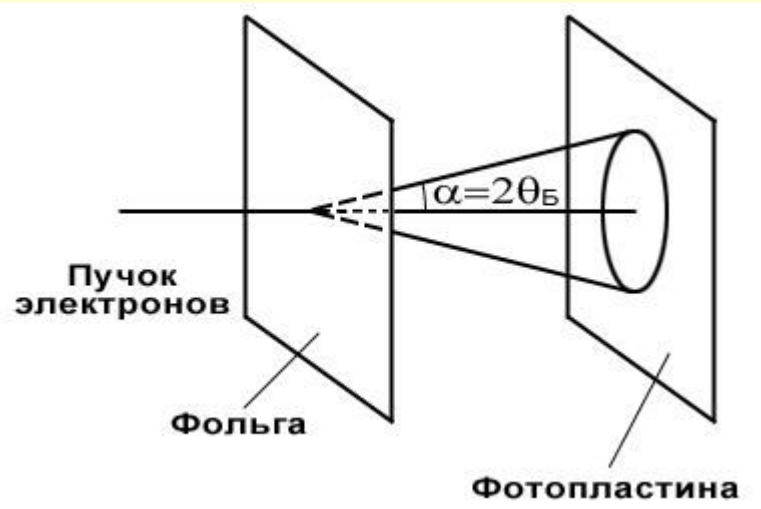
Расхождение теории и эксперимента

С учетом преломления электронных волн в металле условие Брэгга-Вульфа принимает вид

$$2d(n_e^2 - \cos^2 \theta_B)^{\frac{1}{2}} = n\lambda_B,$$

где n_e - показатель преломления электронных волн

Дифракция микрочастиц



электроны с высокой энергией ($\sim 10^4$ эВ) пропускались через тонкую (0.1 мкм) золотую фольгу

Дж.П.Томсон - дифракция электронов на кристалле

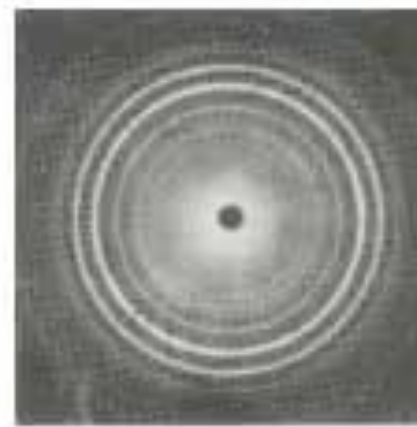
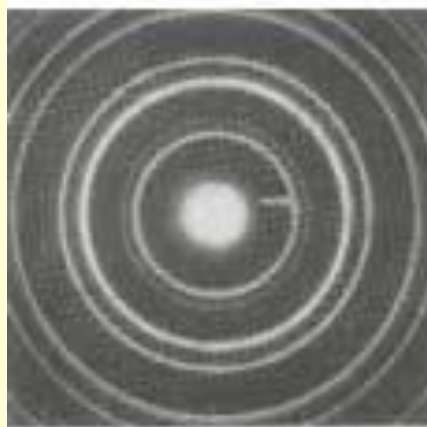


Рис.4 Дифракция на кристалле

электронов в золотой фольге

рентгеновских лучей через кристалл оксида циркония



Дифракция микрочастиц

К.Йенсон (1961г.)

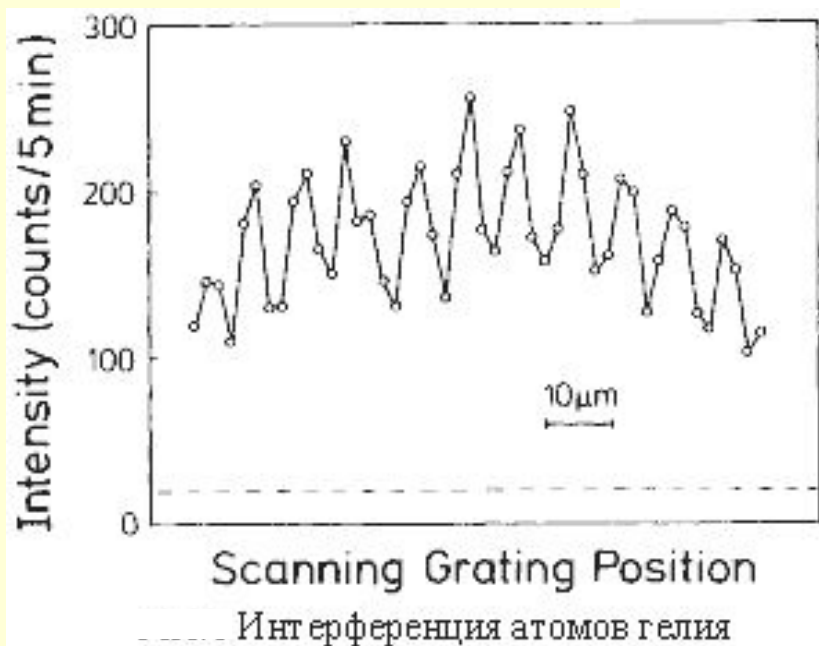
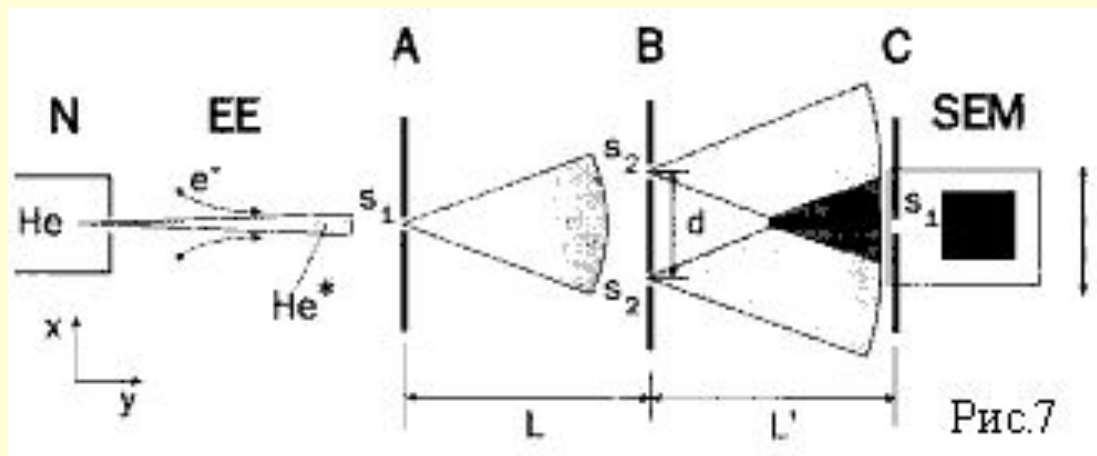


Опыты по дифракции электронов,
ускоренных разностью потенциалов 40 кВ,
на двух щелях - прямой аналог опыта Юнга
для видимого света



Дифракция микрочастиц

О. Carnal и J. Mlynek (1991 г.) - известный интерференционный опыт Юнга, но не со световыми лучами, а с потоком атомов гелия



Многочисленные эксперименты убедительно показывают, что какие бы частицы мы не брали, все они проявляют в определенных условиях волновые свойства. Хотя, несомненно, остаются частицами.



Принцип неопределенности Гейзенберга

1927 г.

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq h = 2\pi \hbar$$

в природе в принципе не существует состояний частиц с точно определенными значениями обеих переменных x и p .

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h$$

$$\Delta y \cdot \Delta p_y \geq h$$

$$\Delta z \cdot \Delta p_z \geq h$$

В трехмерном случае

$$\Delta t \cdot \Delta \omega \geq 2\pi$$

ограниченный во времени волновой процесс не может быть монохроматическим

$$\Delta t \cdot \Delta E \geq 2\pi \hbar = h$$

соотношение неопределенностей Гейзенберга для времени и энергии

Чем короче время существования какого-то состояния или время, отведенное для его наблюдения, тем с меньшей определённостью можно говорить об энергии этого состояния

