

КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Тема лекции

Сегодня среда, 11 мая 2016 г.

План

1. Корпускулярно-волновой дуализм вещества.
2. Сотношение неопределённостей Гейзенберга.
3. Уравнение Шрёдингера.

Я думаю, что смело могу утверждать: квантовую механику не понимает никто.

Ричард Фейнман

Если же вы никогда не чувствуете себя ошеломленным, когда размышляете о квантовой механике, значит, вы далеки от ее понимания.

Нильс Бор

Волновые свойства вещества

Известно, что природа света обладает двойственностью (дуализмом).

В 1924 г. Луи де Бройль выдвинул гипотезу, что дуализм не является особенностью только света, а имеет универсальный характер. Если свет обладает свойствами частиц, то частицы вещества должны обладать волновыми свойствами.

Дуализм не является особенностью одного света, он свойственен материи в любой форме.

Согласно де Бройлю, с каждой микрочастицей связывается, с одной стороны, корпускулярные характеристики – энергия E и импульс p , а с другой стороны – волновые характеристики – частота ν и длина волны λ .

$$E = h\nu \quad p = \frac{h}{\lambda}$$

- Материя в любой её форме обладает двойственностью
- Свет (э/м волны) обладают свойствами частиц
- Вещество (электрон, протон, атом и т.д.) обладает свойствами волны

Любой частице, обладающей импульсом, соответствует волновой процесс с длиной волны, определяемой по **формуле де Бройля**:

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

p – импульс частицы,
 λ – дебройлевская длина волны частицы,
 h – постоянная Планка.

Это соотношение справедливо для любой частицы с импульсом $p=mv$.



Из гипотезы де Бройля вытекает, что поток частиц, например электронов, должен подобно свету испытывать дифракцию на щелях.

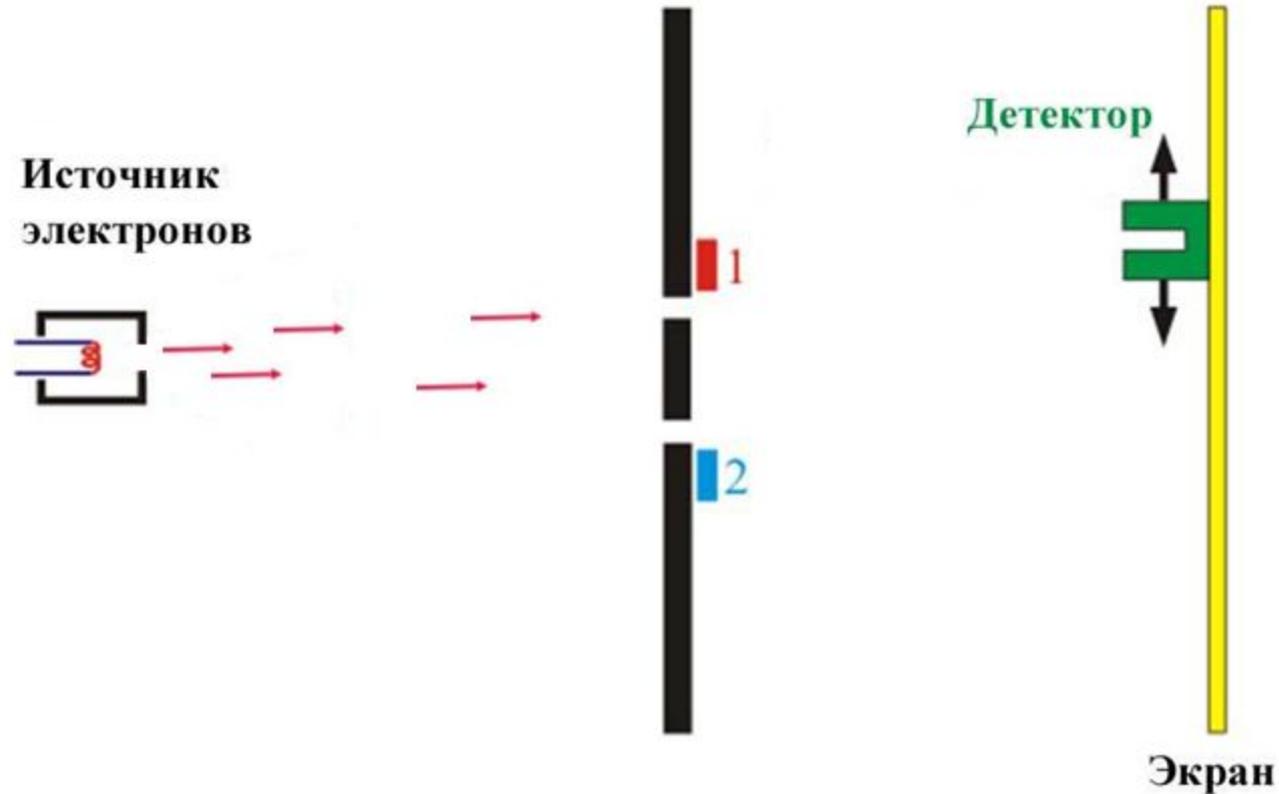
Гипотеза де Бройля вскоре была подтверждена экспериментально в опытах Дэвиссона и Джермера в 1927 г., и позднее в опытах Г. Томсона и П.С. Тартаковского.

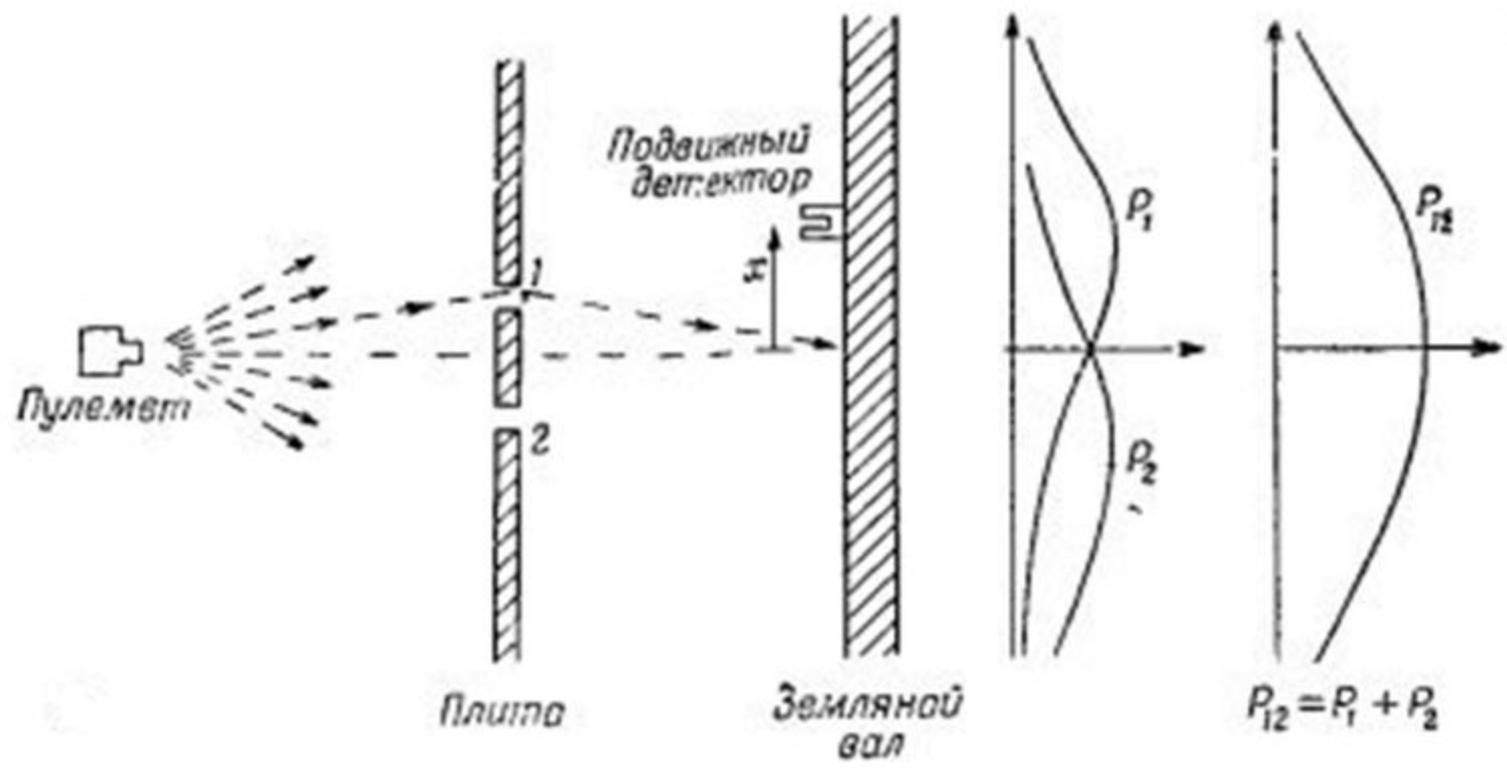
Эксперимент Фабриканта

В 1949 г. В.А. Фабрикант провел эксперимент, суть которого сводится к следующему.

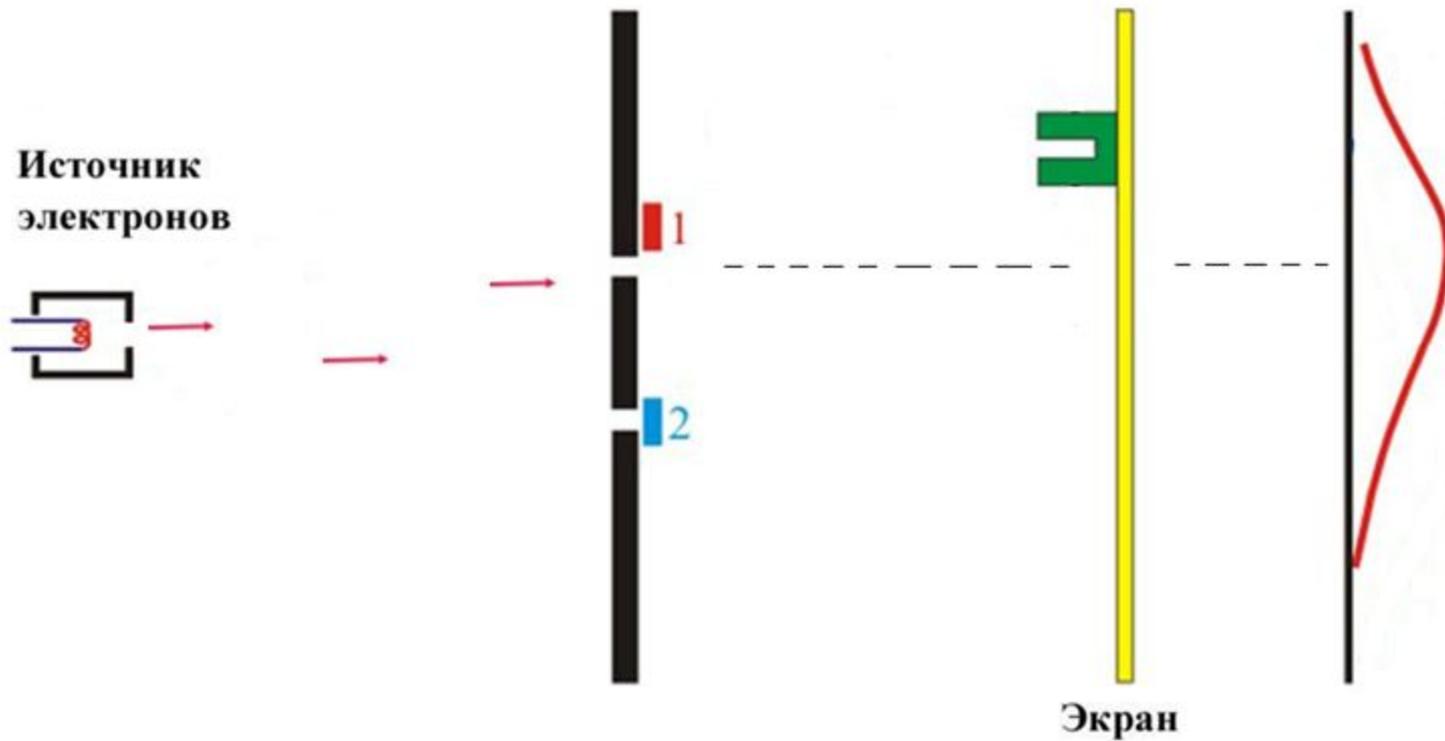
Из очень слабого источника по одному вылетали электроны и направлялись на преграду с двумя щелями. Электрон, пролетая через щель, попадал на экран. На экране установлен детектор, который регистрирует попадание в него электрона. Двигая детектор по экрану можно установить в какую часть экрана электрон попадает чаще.

Так же имелась возможность закрывать одну из щелей на преграде.

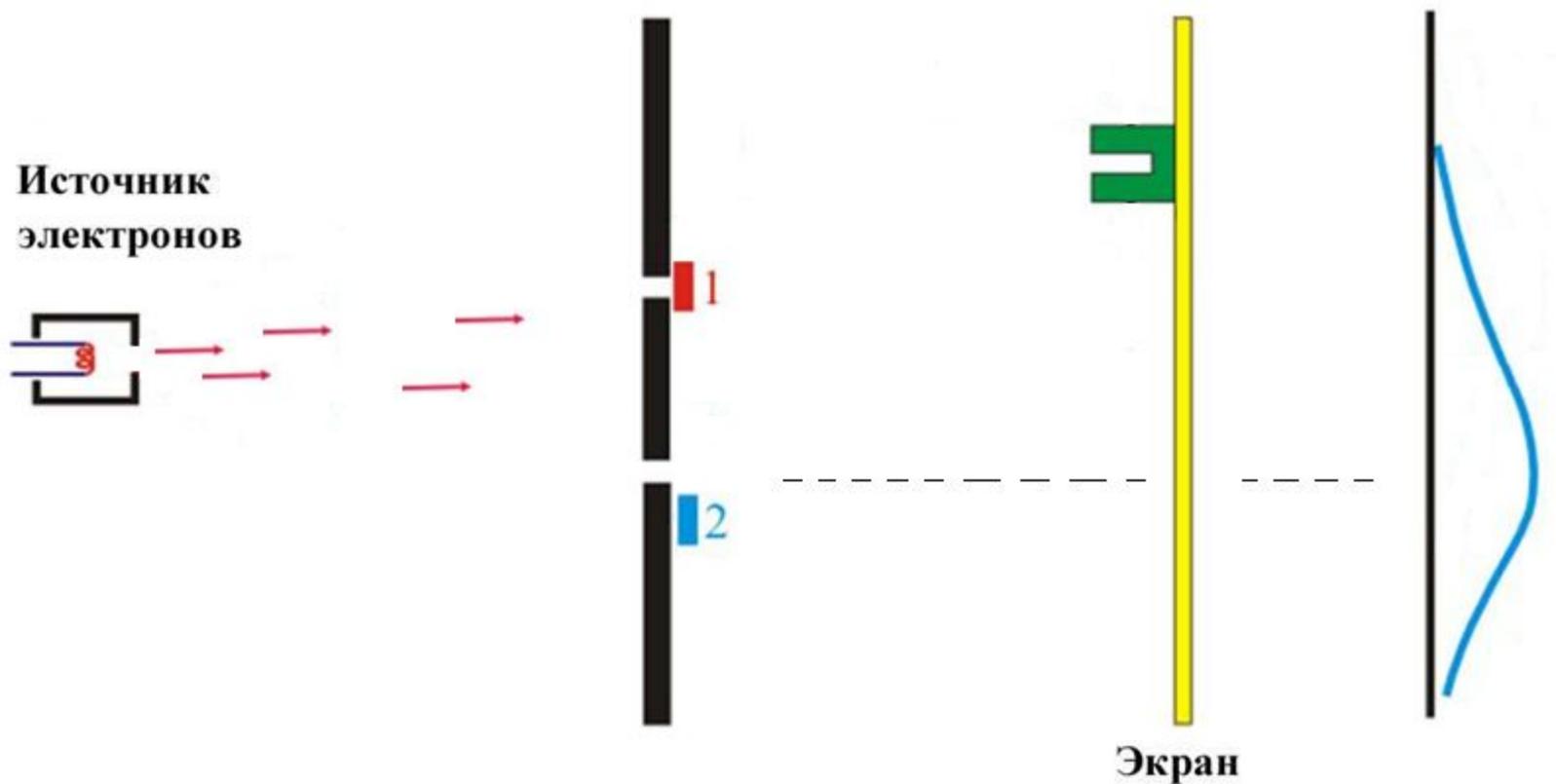




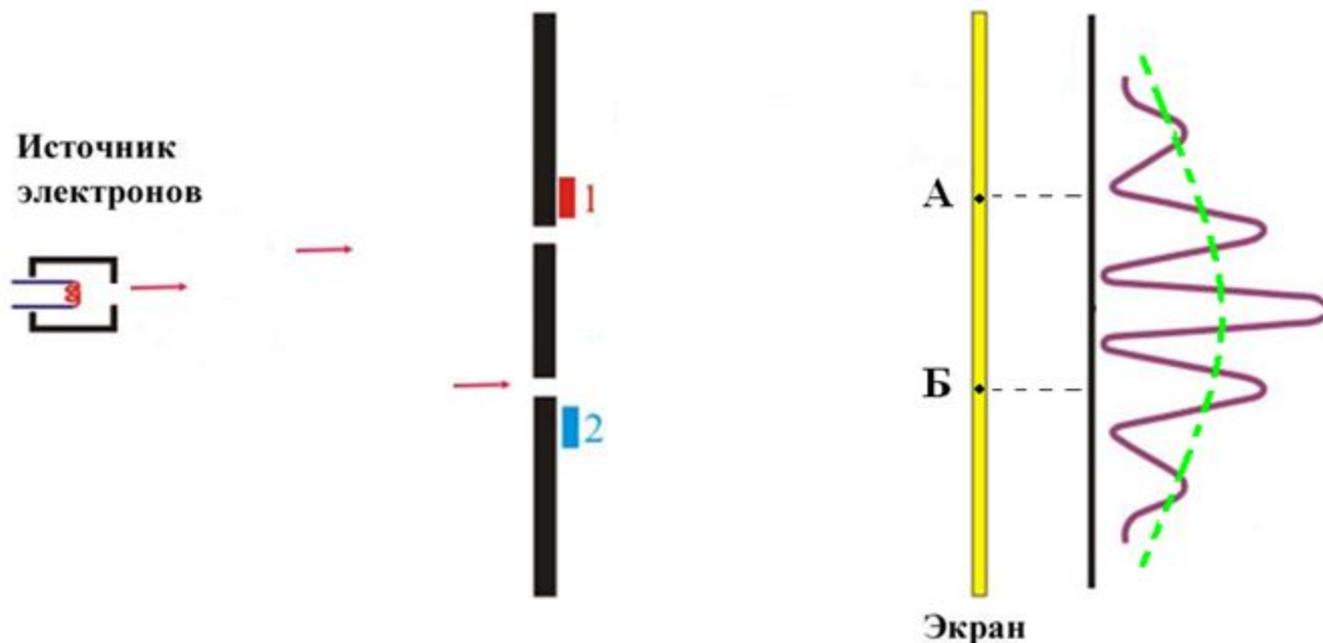
В эксперименте открывали одну из щелей и с помощью детектора выясняли в какой части экрана больше вероятность попадания электрона. Распределение вероятности представлялось графиком. Как и ожидалось прямо напротив открытой щели наблюдалось наибольшее попадание электронов (наибольшая вероятность). При отклонении детектора вверх или вниз вероятность попадания плавно снижалась.



Аналогичная картина наблюдалась при другой открытой щели.



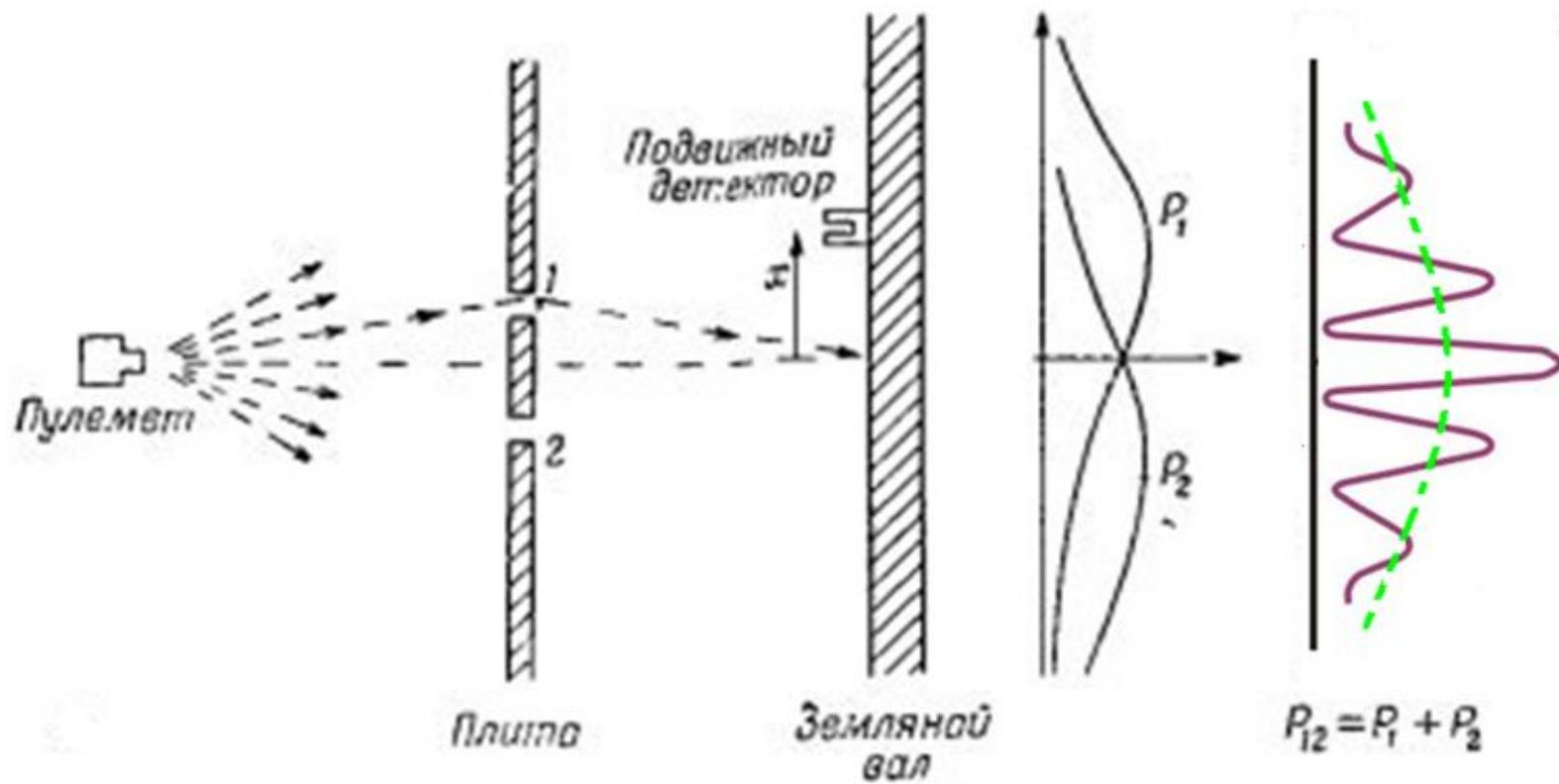
При открытии двух щелей на экране вместо ожидаемого наложения графиков вероятностей от двух щелей наблюдалась картина, схожая с дифракцией света.



На экране возникают области максимумов и минимумов как при интерференции света на щелях.

Рассмотрим точку **А**. Когда открыта только щель 1 электрон, пройдя её, с большой вероятностью попадает в точку **А** (т.к. **А** почти напротив щели 1).

Но если открыть вторую щель, то в точку **А** электрон почти не попадает. Электрон неделим, это означает, что он проходит либо через щель 1 либо через щель 2. Возникает вопрос: как проходя щель, электрон знает открыта или закрыта другая щель?



Соотношение неопределённостей Гейзенберга

В классической механике состояние материальной точки определяется заданием значений координат, импульса, энергии и т.д. Перечисленные величины называются *динамическими переменными*. Так как микрочастица не является частицей в классическом понимании, то ей, строго говоря, не могут быть приписаны указанные динамические переменные.

Данное обстоятельство проявляется в том, что не для всех переменных получаются при измерениях определенные значения. Так, например, электрон имеет неопределённость координаты и проекции импульса.

Соотношение или принцип неопределенностей Гейзенберга утверждает, что невозможно одновременно точно определить значения координаты и соответствующих проекций импульса частицы:

$$\begin{aligned}\Delta x & \text{ – неопределённость координаты,} \\ \Delta p_x & \text{ – неопределённость проекции импульса,} \\ h & \text{ – постоянная Планка}\end{aligned}$$

Чем точнее мы знаем координаты частицы, тем менее точно мы можем определить её импульс и наоборот.

Из-за неопределённостей координаты и импульса частицы теряют смысл такое понятие как траектория. Движение микрочастицы невозможно изобразить в виде какой-нибудь линии.

Энергия и время тоже не могут быть определены одновременно точно. Для них также справедливо соотношение неопределенностей:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h$$

ΔE – неопределённость энергии,
 Δt – неопределённость времени,
 h – постоянная Планка

Это соотношение означает, что если время перехода системы из одного состояния в другое характеризуется временем Δt , то неопределенность энергии системы равна ΔE .

Неопределённости величин не связаны с несовершенством измерительных приборов. Они являются следствием волновых свойств микрочастиц.

Волновая функция и её смысл

Итак, опыты доказали гипотезу де Бройля. Любой движущейся частице приписывается волна. Возникает вопрос: какова физической природа волн де Бройля?

По современным представлениям волны де Бройля показывают вероятность нахождения частицы в какой-либо части пространства.

М. Борн в 1926 г. ввел понятие волновой функции (или пси-функции) $\Psi(x, y, z, t)$.
В общем случае волновая функция зависит от координат и времени.

Смысл волновой функции: квадрат модуля волновой функции определяет вероятность нахождения частицы в момент времени t в области точки с координатами (x, y, z) .

$$dP = |\Psi|^2 dV$$

dV – элемент объёма в окрестности точки с координатами (x, y, z)
 dP – вероятность нахождения частицы в этом объёме

Физический смысл имеет не сама пси-функция Ψ , а квадрат ее модуля $|\Psi|^2$

Ограничения на волновые функции

1. *Условие конечности волновой функции.*

Волновая функция не может принимать бесконечных значений

2. *Условие однозначности волновой функции.*

Волновая функция должна быть однозначной функцией координат и времени, так как плотность вероятности обнаружения частицы должна определяться в каждой задаче однозначно.

3. *Условие непрерывности волновой функции.*

В любой момент времени волновая функция должна быть непрерывной функцией пространственных координат. Кроме того, непрерывными должны быть частные производные волновой функции $d\psi/dx$, $d\psi/dy$, $d\psi/dz$.

4. *Условие нормировки волновой функции.*

Вероятность найти частицу в момент времени t в конечном объеме V , согласно теореме сложения вероятностей, равна:

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

Если интеграл вычисляется по всему бесконечному пространству, то вероятность нахождения частицы должна быть равна 1. Это условие нормировки вероятностей.

$$P = \int_{\infty} |\Psi|^2 dV = 1$$

Уравнение Шрёдингера

Принципиальным положением квантовой механики является вероятностный подход к описанию микрочастиц.

Знать точно координату частицы невозможно, вместо этого квантовая механика предсказывает вероятность нахождения частицы в том или ином месте пространства.

Для того что бы рассчитать вероятность необходимо знать вид волновой функции.

Волновая функция является основным носителем информации о состоянии микрочастицы.

Вид волновой функции можно определить из **уравнения Шрёдингера**.

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \Delta \Psi + U(x, y, z, t) \cdot \Psi = i\hbar \frac{\partial \Psi}{\partial t}$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} \quad m \text{ — масса частицы,}$$

i – мнимая единица,

$$\Delta = \frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial z^2} \quad \text{- вторая производная пси-функции}$$

$$U(x, y, z, t) \quad \text{- потенциальная энергия частицы}$$

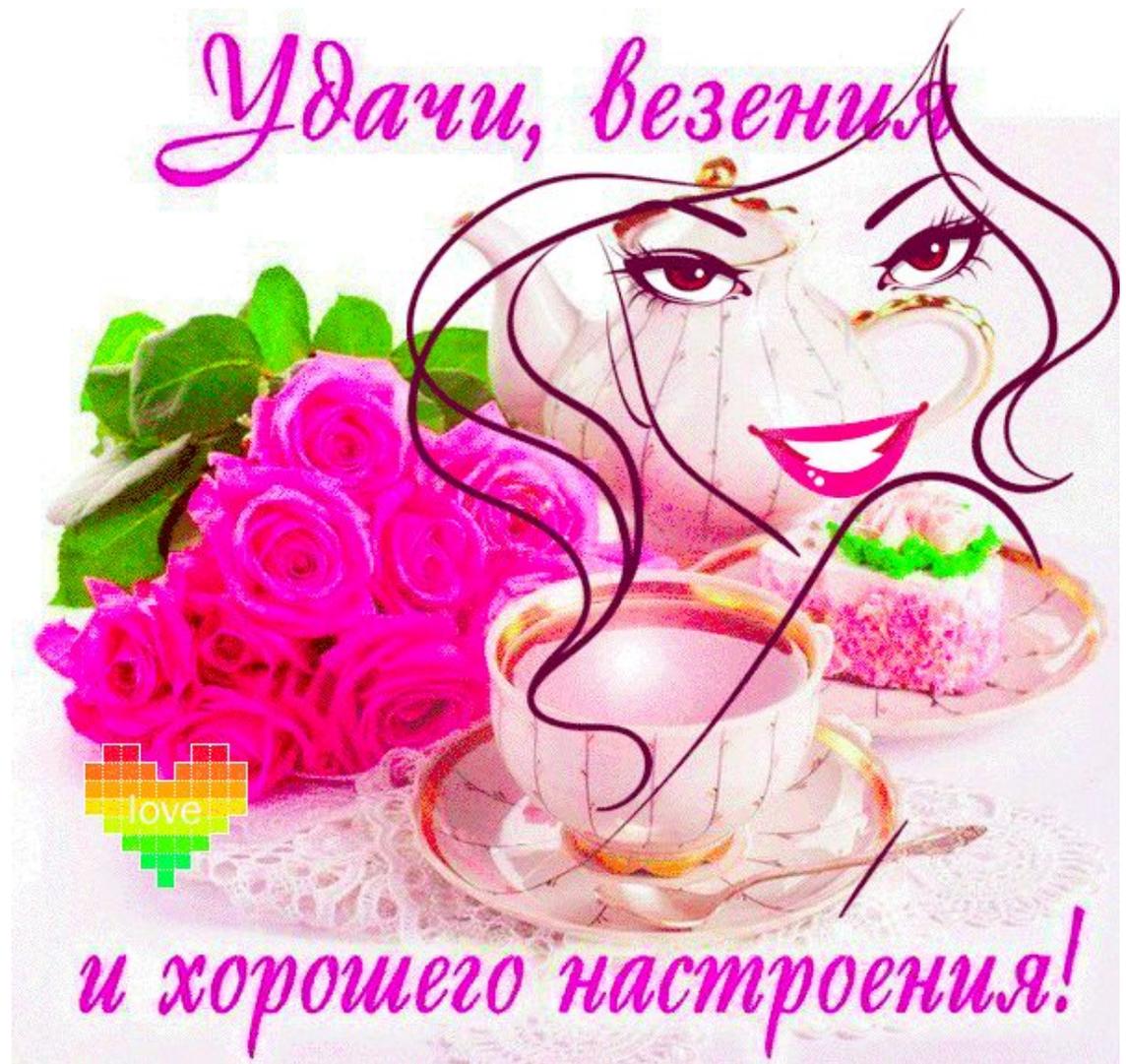
Уравнение Шредингера, как и все основные уравнения физики (например, законы Ньютона в классической механике и уравнения Максвелла для электромагнитного поля), не выводится, а постулируется.

Правильность этого уравнения подтверждается экспериментами.

Подготовить эту лекцию на
ПЗ № 8
с 16.05.16 по 20.05.16

Jennifer
Aniston





Лекция окончена.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ