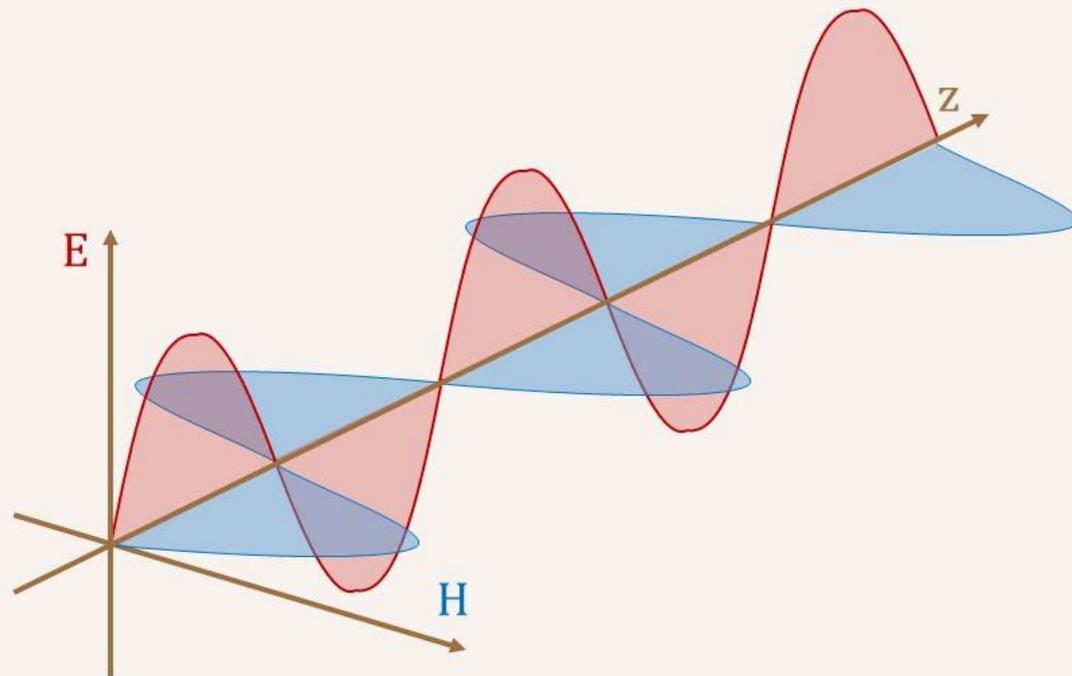


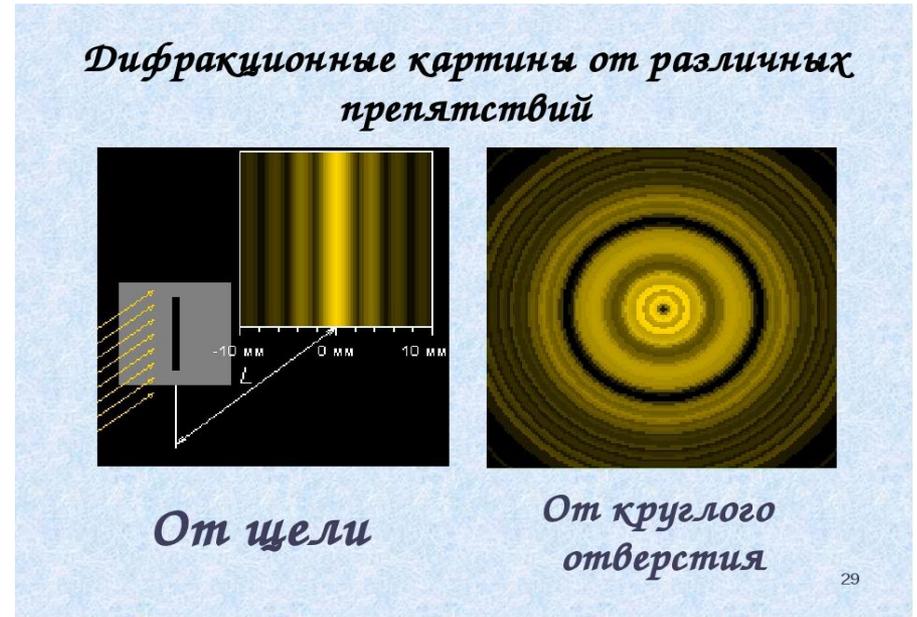
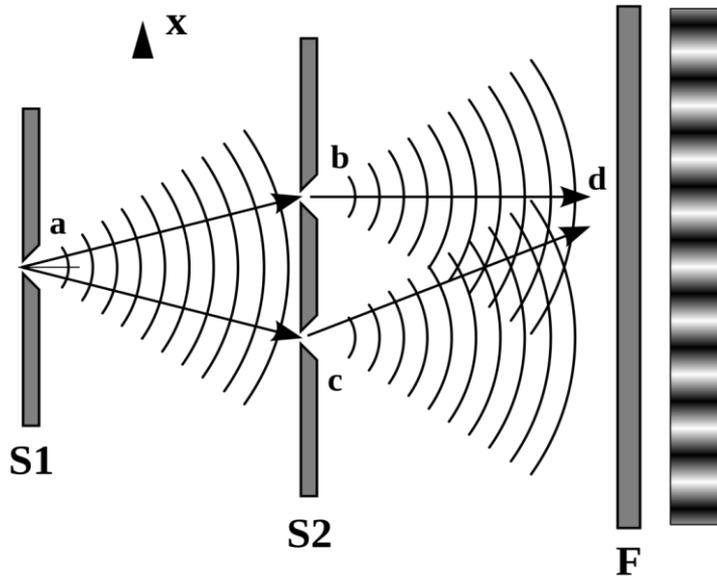
Квантовые свойства микрочастиц

Лекция-презентация разработана
Мамаевой Ириной Алексеевной,
Кострома.

СВЕТ – ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА



СВЕТ – ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА

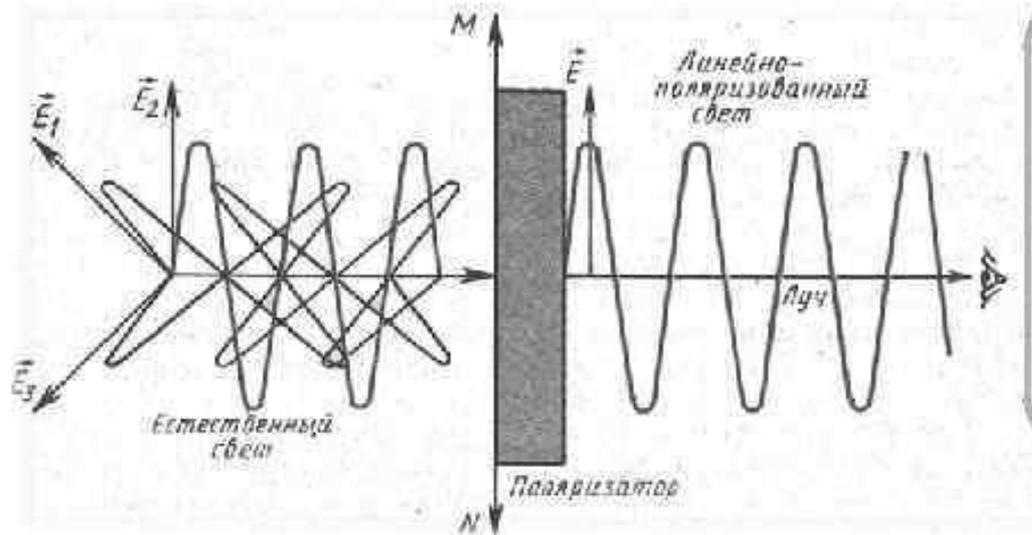


Доказательства – интерференция, дифракция, поляризация.

Для сравнения приведена интерференция механических волн.

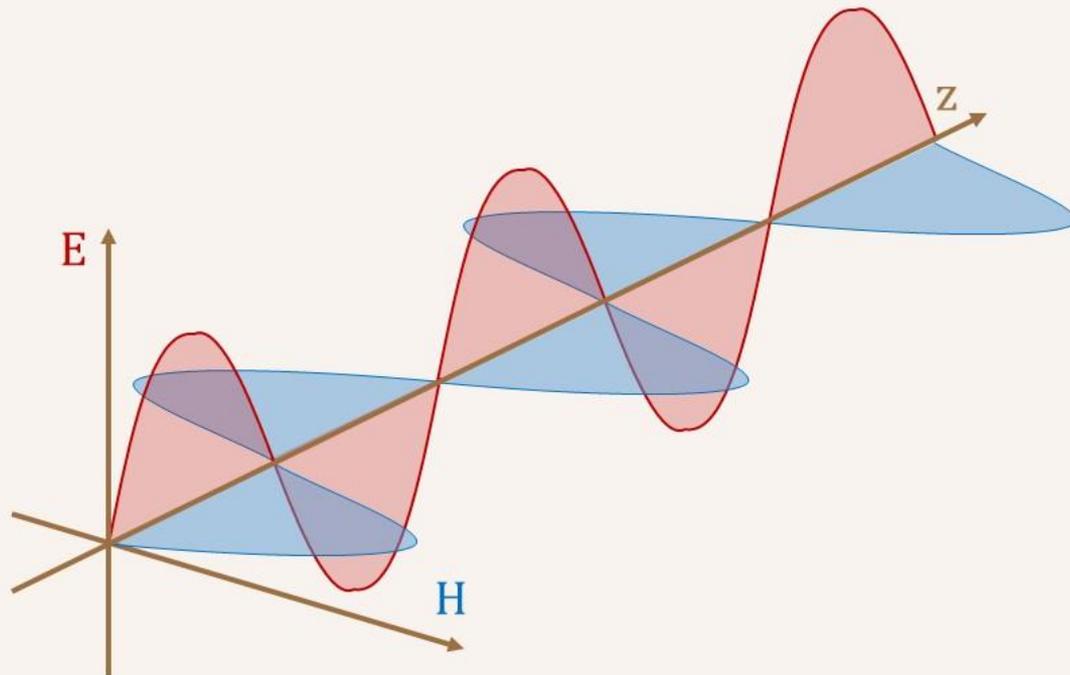
Поляризация света

Поляризация – выделение из естественного света световых колебаний с определенным направлением электрического вектора \vec{E}

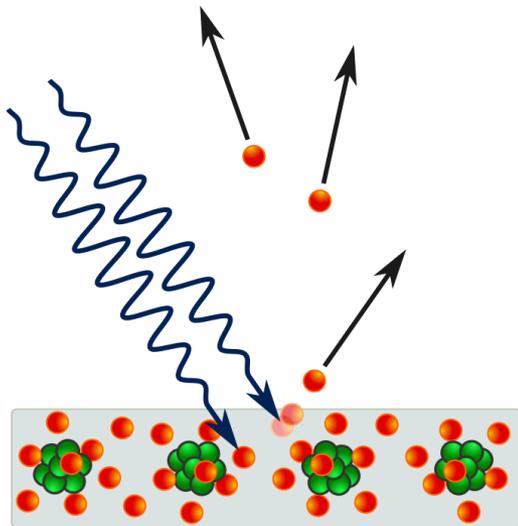


Поларизатор – устройство, выделяющее одно из всех направлений колебаний вектора \vec{E}

СВЕТ – НЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА?



СВЕТ – НЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА, А ПОТОК ФОТОНОВ



Фотоэффект (Википедия).



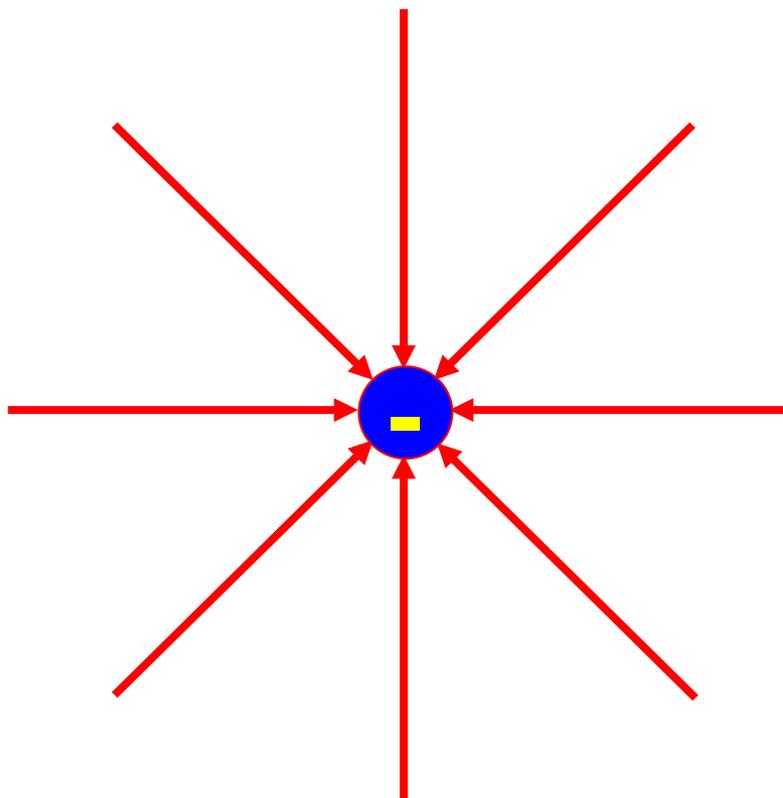
Тепловое излучение.

Доказательства – фотоэффект, тепловое излучение,
эффект Комптона.

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ
ОБЛАДАЕТ ДВОЙСТВЕННОСТЬЮ –
КОРПУСКУЛЯРНО-ВОЛНОВЫМ ДУАЛИЗМОМ**

Что такое электрон?

$-q$

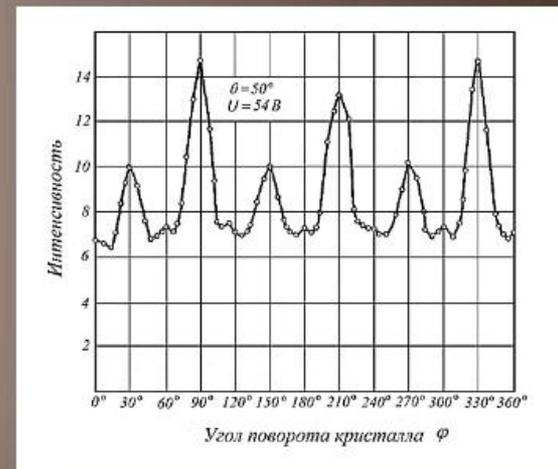
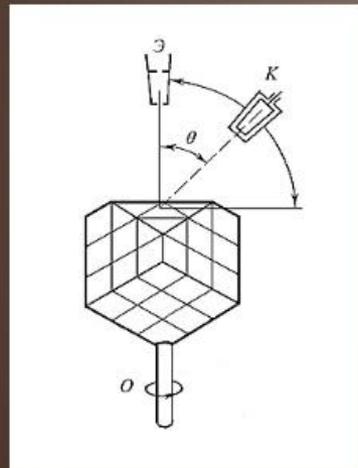


?

Что такое электрон?

Опыты К. Дэвиссона и Л. Джермера

В опытах исследовалось распределение электронов при рассеянии на монокристалле никеля.



Отчетливо наблюдаемые дифракционные максимумы указывали на волновые свойства электронов.

1927 год

Что такое электрон?

Гипотеза де Бройля (1924)

1. Дуализм (корпускулярные и волновые свойства) не является только оптическим явлением. Все частицы обладают этим свойством.
2. Движение любой частицы является волновым процессом с длиной волны λ .

формула
де Бройля

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

p - импульс частицы

Длина волны де Бройля

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

Длина волны де Бройля
и связь корпускулярных и волновых свойств

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

$$\varepsilon = h \cdot \nu \quad \vec{p} = \hbar \cdot \vec{k}$$

Что такое электрон?

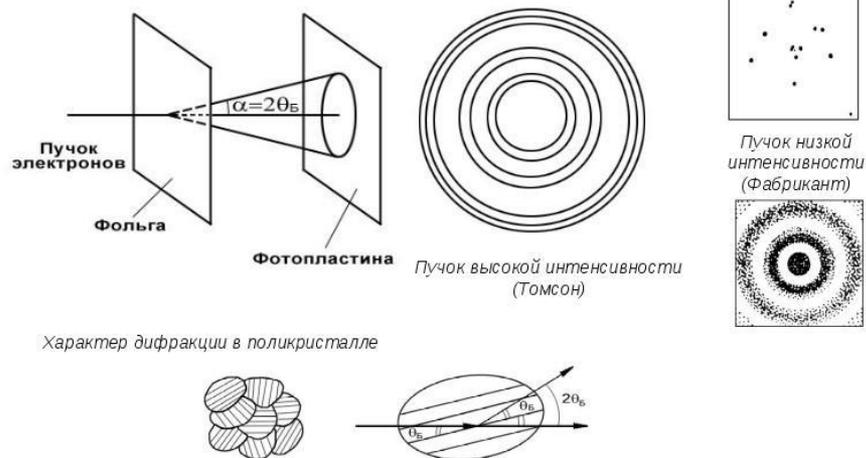
Подтверждение гипотезы де Бройля

Опыт Девиссона и Джермера (1927) – дифракция электронов при их рассеянии на кристалле.



Подтверждение гипотезы де Бройля

Опыт Дж. Томсона (1927) – дифракция электронов при их прохождении через кристалл.



Электрон обладает
корпускулярно-волновым дуализмом.

Электрон – квантовая частица!

Все микрочастицы обладают
корпускулярно-волновым дуализмом.
Все микрочастицы – квантовые объекты!

Наш мир состоит из квантовых частиц:
наш мир – квантовый!

Соотношение неопределенностей Гейзенберга (СНГ)

*Закон квантовой физики,
отражающий волновую природу микрочастиц
на языке механических состояний*

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \hbar$$

$$\Delta y \cdot \Delta p_y \geq \hbar$$

$$\Delta z \cdot \Delta p_z \geq \hbar$$

Уравнение Шредингера

Фундаментальный закон квантовой физики,
исследующий поведение и состояние микрочастицы

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + u(x, y, z, t) \cdot \psi = \hbar i \frac{d\psi}{dt}$$

$$\nabla^2 \psi = \frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{d^2 \psi}{dy^2} + \frac{d^2 \psi}{dz^2}$$

Волновая функция или пси-функция полностью и однозначно описывает поведение и состояние одной микрочастицы

Уравнение Шредингера

Свойства волновой функции

Правильную интерпретацию физического смысла волновой функции дал М. Борн в 1926 г.

1. **Физический смысл** имеет не сама волновая функция, а квадрат ее модуля: **квадрат модуля волновой функции равен плотности вероятности нахождения частицы в соответствующем объеме пространства.**

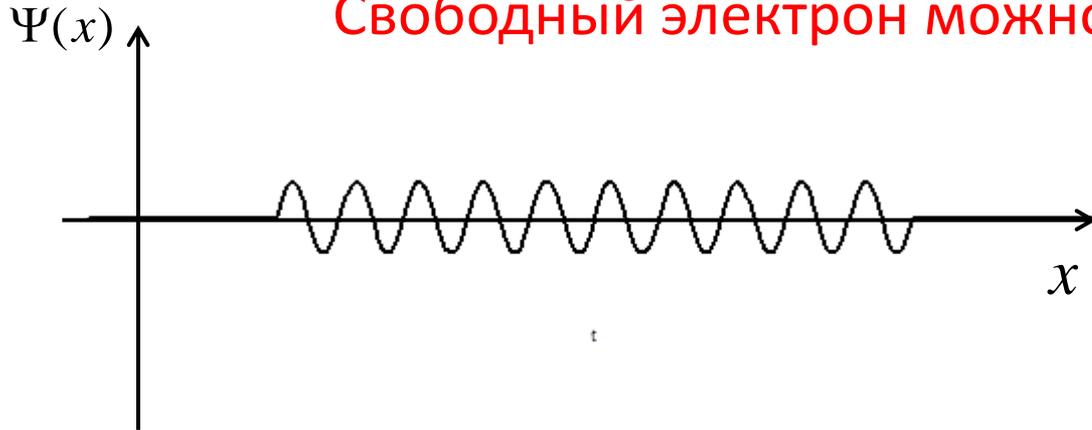
$$|\Psi|^2 = \frac{dP}{dV}$$

2. **Вероятность P** нахождения микрочастицы в заданном объеме **V равна единице:**

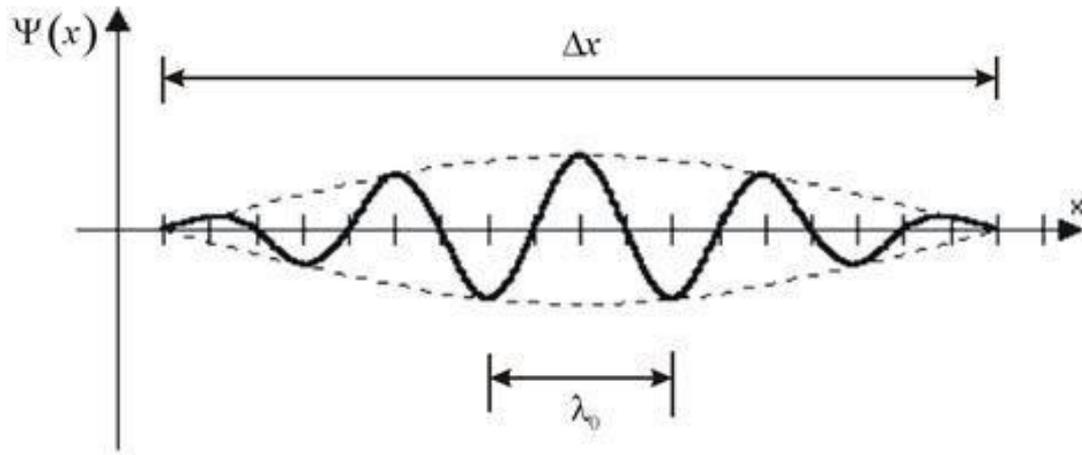
$$P = \int_{-\infty}^{\infty} dP = 1$$

Электрон свободно движется в пространстве

Свободный электрон можно представить как:



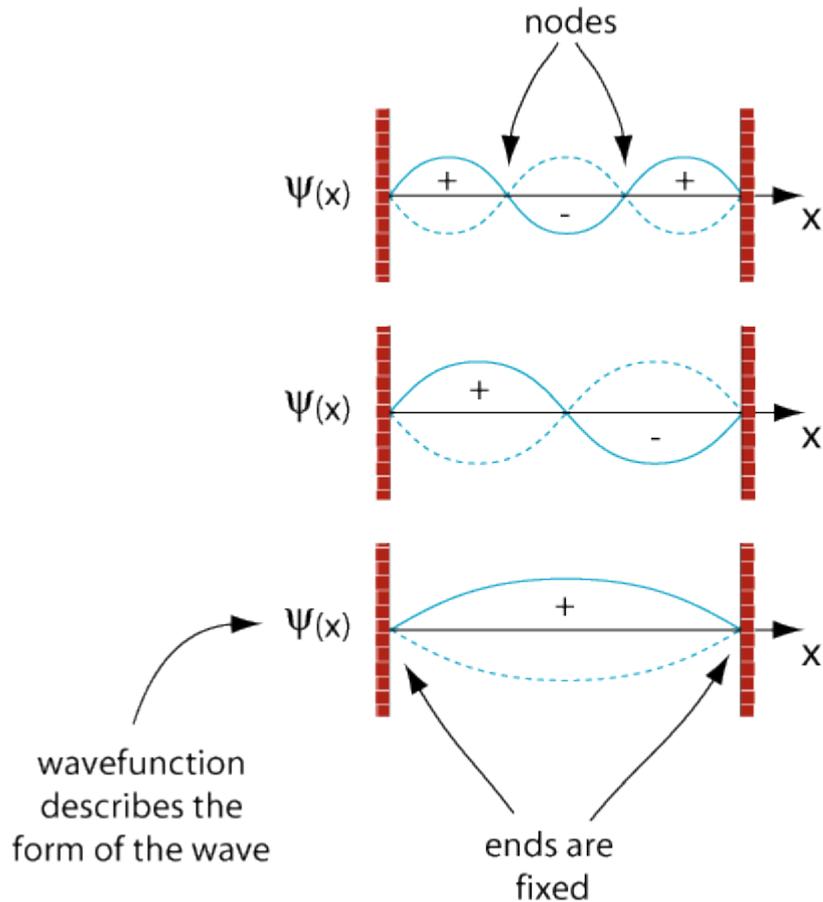
цуг волн



волновой пакет

Познакомьтесь, это электрон!

Электрон (не свободный) в атоме – стоячая волна



nodes

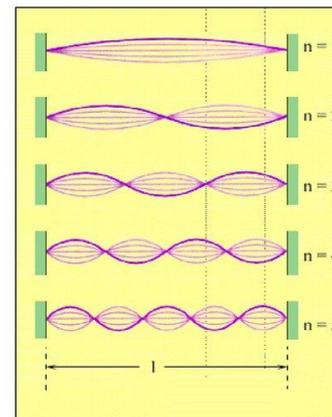
2

1

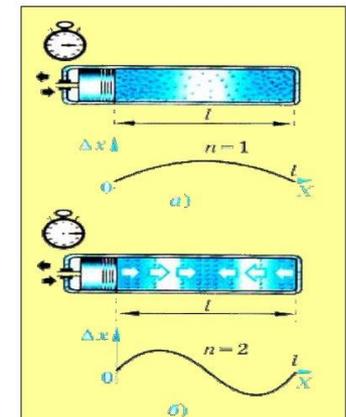
0

Сравнение электрона
(стоячей волны)
со звуковыми стоячими
волнами

Моды колебаний

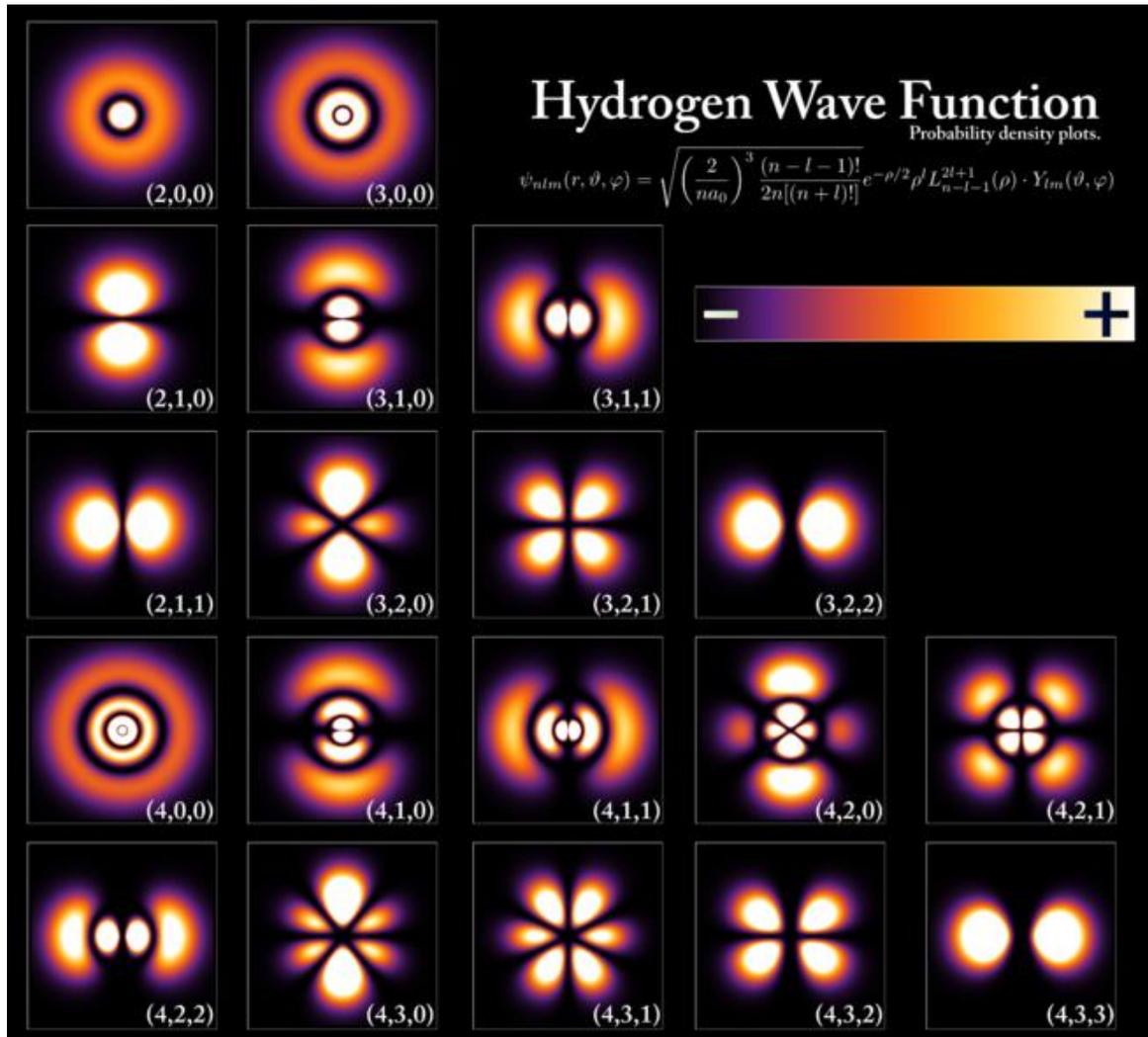


в струнах



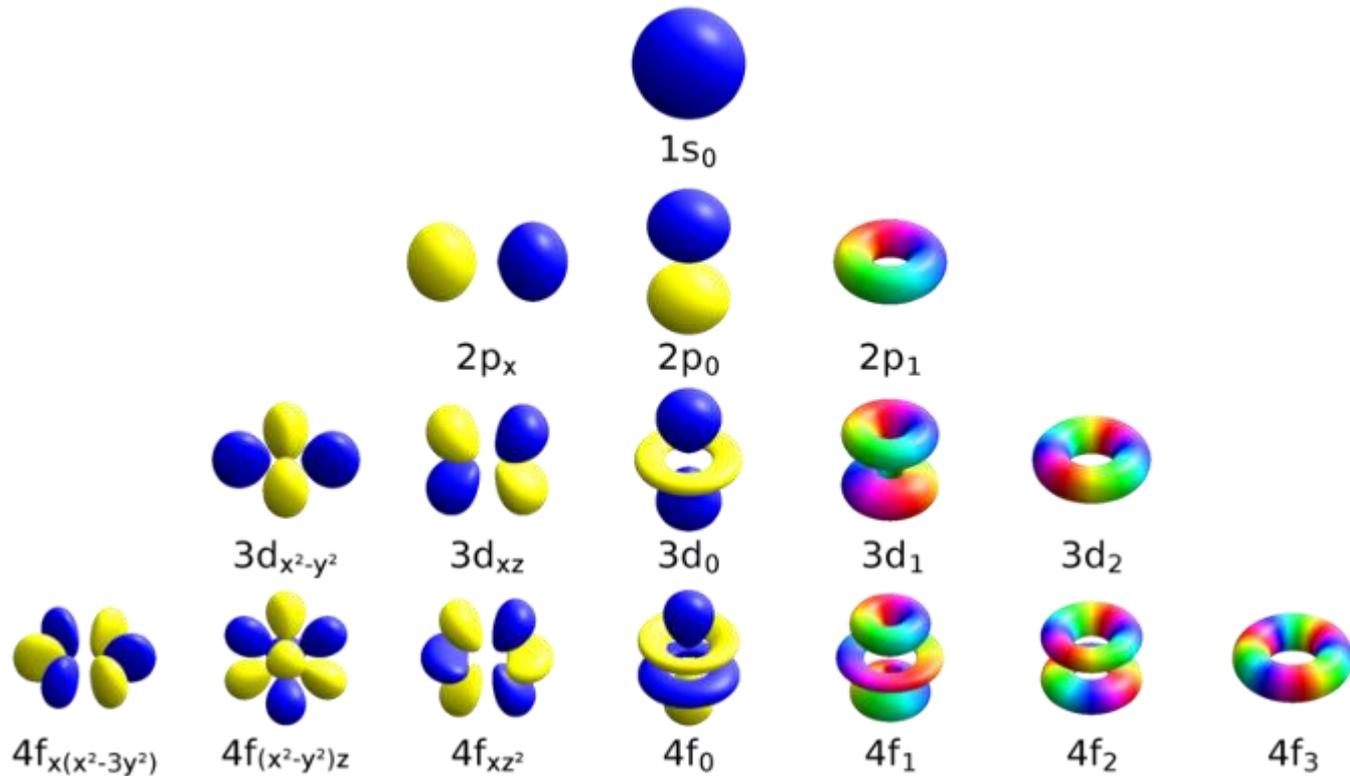
в воздушных столбах

Электрон в атоме – стоячая волна (модели электронных оболочек)



*Моделирование
электронного
облака 2D.
(Иллюстрация:
WikiCC)*

Электрон в атоме – стоячая волна (модели электронных оболочек и их название)



Водородные орбиты 3D. (Иллюстрация: WikiCC)

Электрон в атоме

НЕ может быть в любом состоянии,
а только в «состоянии стоячей волны»,
а потому электрон в атоме обладает
следующими свойствами:

1. Его энергия движения W или E квантуется.
2. Его орбитальный момент импульса L квантуется.

Квантуется – принимает строго определенные (дискретные) значения, соответствующие определенным возможным состояниям электрона.

Например, энергия электрона на первой боровской «орбите» в атоме водорода равна 13,6 эВ.

Кроме указанных двух свойств электрон в атоме обладает свойствами (всего четыре основных свойства):

1. Его энергия движения W или E квантуется.
2. Его орбитальный момент импульса L квантуется.
3. Проекция его момента импульса L_z квантуется.
4. Электрон обладает собственным моментом импульса, который может принимать только два значения!!!!

Квантуется – принимает строго определенные значения (дискретные, а не непрерывные) .

Строго дискретные значения величин зависят от **четырёх квантовых чисел** (формулы для расчета величин не приводятся).

1. Энергия квантуется – **главное квантовое число**.
2. Орбитальный момент импульса L квантуется – **орбитальное квантовое число**.
3. Проекция его момента импульса L_z квантуется. – **магнитное квантовое число**.
4. Электрон имеет **собственный момент импульса**, который может принимать только два полуцелых значения, как и его проекция – **магнитное спиновое квантовое число**.

Квантовые числа

Квантовое состояние электрона в атоме определяет набор *четырёх квантовых чисел*

Квантовое число	Символ	Возможные значения
Главное	n	1, 2, 3, ...
Орбитальное	l	0, 1, 2, 3, ... ($n-1$)
Магнитное	m	$-l, \dots, -1, 0, +1, \dots, +l$
Спиновое	m_s	$-\frac{1}{2}, +\frac{1}{2}$

Квантовые числа - это целые числа, которые определяют состояние электрона в атоме, молекуле, веществе.

А состояние электрона в атоме, молекуле, веществе – уникально (не повторяется ни у одного тождественного электрона)!!!

Квантовые числа

- Состояние электрона в атоме задается 4 квантовыми числами

$$n = 1, 2, 3, \dots \quad - \text{главное квантовое число}$$

$$l = 0, 1, 2, 3, \dots, n - 1$$

- орбитальное квантовое число

$$m_l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$$

- магнитное квантовое число

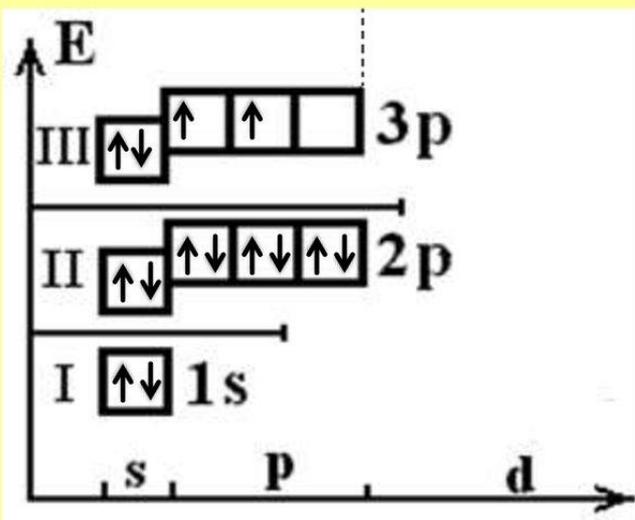
$$m_s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$$

- магнитное спиновое квантовое число

Принцип Паули – фундаментальный принцип квантовой механики:

В атоме, молекуле, веществе две и более тождественные частицы с полуцелым спином не могут одновременно находиться в одном и том же состоянии, с одинаковым набором четырех квантовых чисел.

Строение атома кремния



Электронная формула $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$

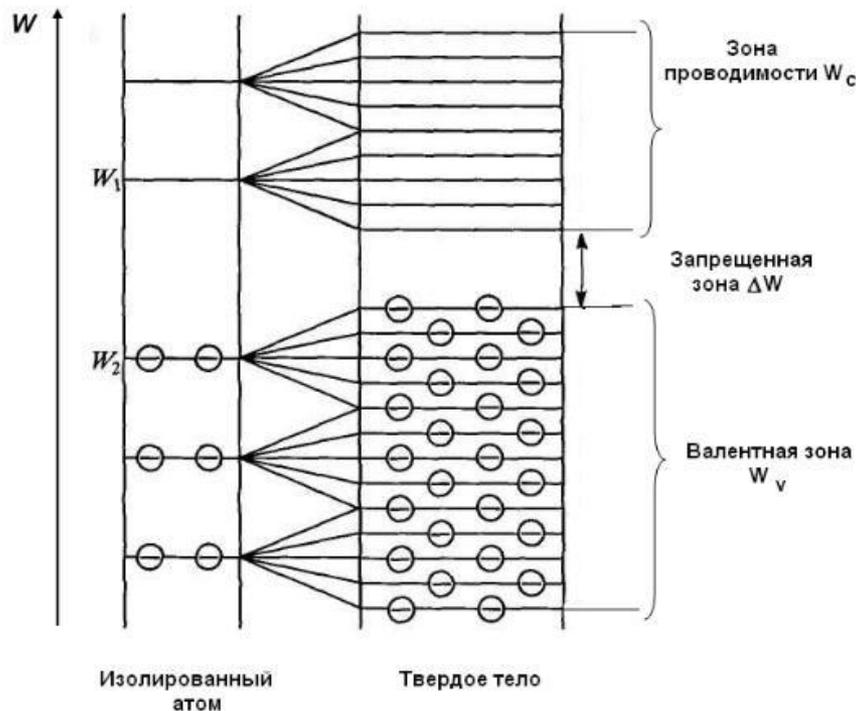
Принцип Паули,
принцип наименьшей
энергии,
принцип максимального
значения суммарного
спина на одном
энергетическом
подуровне
объясняют
строение электронных
оболочек атомов
(см. пример Si).

Электроны = фермионы (подчиняются принципу Паули)

Если N -ое количество электронов собираются вместе в твердом теле – принцип Паули не нарушается: значения их энергий «расщепляются» на N -уровней вблизи одного основного энергетического уровня, то есть образуется зона «разрешенных» собственных значений энергий.

Зонная структура энергий электронов в твердом теле используется для объяснения работы всех устройств электроники.

Зонная теория – теория валентных электронов, движущихся в периодическом потенциальном поле кристаллической решетки. Она справедлива для тел с ковалентными и металлическими связями.



Выводы:

«Квантовая частица - это...»

«Квантовые свойства микрочастиц
закljučаются в том, что ...»

«Квантовые числа – это ...»

«Уравнение Шредингера исследует...»

«Соотношение неопределенностей
Гейзенбарга говорит о том, что...»

«Принцип Паули: ...»