Лектор – Мамаева Ирина Алексеевна

Прочитайте вступление к учебной лекции.

Если читали ранее – можно пропустить этот блок информации.

Учебная лекция в ДО – это учебный материал для конспектирования

Инструкция для работы с учебным материалом (для конспектирования):

1. Первый раз прочитайте всю лекцию, ничего не записывая.

2. Ответьте мысленно на вопрос, что главное в лекции, из скольких основных частей лекция состоит (*на сколько частей ее можно мысленно разбить*), придумайте название для каждой части – это будет план конспекта.

3. Откройте тетрадь для лекций и запишите в тетради тему, дату лекции и план конспекта.

4. Второй раз начинайте читать лекцию и приступайте к конспектированию: в соответствии с планом – в каждой части плана пишите определения величин, формулы законов, формулировки законов, делайте рисунки к разбираемым примерам или другому. Чем больше будет ваших записей, поясняющих о чем идет речь, тем лучше вы поймете и запомните учебный материал.

Внимание! Важно обращать внимание на то, что вы описываете – явление, закон, величину или другое понятие (например, модель объекта).

Руководствуйтесь правилами:

А) если описываете явление – запишите особенности рассматриваемого явления (*в чем заключается явление, каковы условия его возникновения, какие законы и величины используются для исследования явления*)

В) если описываете величину – запишите определение величины (*укажите физическая скалярная или векторная величина, формулу/ы для определения величины, единицу величины, поясните, что характеризует и, если векторная величина, то она как направлена*),

С) если описываете понятие (не величину) – запишите одно предложение, которое раскрывает смысл понятия (*для примера см. система отсчета, материальная точка, система материальных точек и др.*),

D) если описываете закон – название, *формулу, формулировку, физический смысл* запишите закона. **Помните, что при записи формулы надо расшифровать названия величин, входящих в данную формулу.**

КВАНТОВЫЕ СВОЙСТВА МИКРОЧАСТИЦ

Корпускулярно-волновой дуализм электрона. Гипотеза де Бройля. Длина волны де Бройля. Принцип неопределенности Гейзенберга. Уравнение Шредингера. Электрон в атоме водорода

Корпускулярно-волновой дуализм

Свет одновременно проявляет волновые и корпускулярные свойства $I \sim A^2$. С волновой точки зрения энергия пропорциональна квадрату амплитуды частоты. С корпускулярной точки зрения квадрат амплитуды волн определяет вероятность того, что фотон попадает в данную точку поверхности, т.е. распределение фотонов по поверхности имеет статистический характер.

1. Условия существования механических волн – это наличие среды и источника (кратковременного) механического возмущения (колебаний).
2. Условие существования э/м волн – наличие заряда, движущегося с ускорением.
3. Волны участвуют в процессах: интерференция, дифракция и др. Для механических волн $b \cdot \sin\varphi = 2m\frac{\lambda}{2}$ min I/
4. Дифракция – это интерференция от множества непрерывных источников. Минимум или максимум интенсивности в исследуемой точке дифракционной картины для простых случаев дифракции определяется числом зон Френеля. Четное число зон – минимум интенсивности, нечетное – максимум. Число зон Френеля для исследуемой точки в дифракционной картине зависит от угла наблюдения.
5. Дифракция присуща любому волновому движению. Прямолинейное распространение света – результат дифракции света.
6. Э/м волны обнаруживают двойственную природу: проявляют волновые свойства (в интерференции, дифракции, поляризации,

дисперсии); проявляют свойства потока частиц (фотонов) в фотоэффекте, тепловом излучении, эффекте Комптона.

$$\boldsymbol{E} = \boldsymbol{h} \cdot \nu \qquad \boldsymbol{E} = \hbar \cdot \omega \qquad \varepsilon = \boldsymbol{m} \cdot \boldsymbol{c}^2 \qquad \vec{\boldsymbol{p}} = \hbar \cdot \vec{\boldsymbol{k}}$$

т.е. **э/м излучение обладает корпускулярно-волновым дуализмом**, при этом, чем больше длина волны, тем в большей степени проявляются волновые свойства, чем меньше длина волны, тем в большей степени проявляются корпускулярные свойства.

Физический объект, который обладает подобным дуализмом, называется квантовым.

Объясняя механизм возникновения теплового излучения, М.Планк высказал гипотезу, что атомы-осцилляторы излучают энергию не непрерывно, а квантами э/м излучения (дискретно), порциями, кратными некоторому элементарному кванту с энергией $\varepsilon = \boldsymbol{h} \cdot \nu$ и с импульсом $\vec{\boldsymbol{p}} = \hbar \cdot \vec{\boldsymbol{k}}$. ħ = $6{,}66 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. $\hbar = \dfrac{\boldsymbol{h}}{2\pi}$ - элементарный квант действия.

Квантовые свойства микрочастиц

1923г. Луи де Бройль высказал гипотезу, что микрочастицы обладают волновыми свойствами, и для них также справедливы соотношения

$$\vec{\boldsymbol{p}} = \hbar \cdot \vec{\boldsymbol{k}},$$

$$\varepsilon = \boldsymbol{h} \cdot \nu$$

На основании которых он вывел

$\lambda = \dfrac{\boldsymbol{h}}{\boldsymbol{p}}$, λ – длина волны де Бройля. .

Первое подтверждение этой гипотезы было получено в опытах Дэвиссона и Джермера в 1927г.

Соотношение неопределенностей Гейзенберга

В классической механике состояние частицы определяется заданием точных значений координат, импульса и энергии – это динамические переменные. Движение частицы в классической механике происходит по вполне определенной траектории. Микрочастицы обладают наряду с корпускулярными свойствами и волновыми свойствами. А для волны понятие строгой траектории не имеет смысла. Следовательно, микрообъекту не может быть приписано точное значение всех динамических переменных. То есть для используемых переменных одновременно можно нельзя определить точное значение. Например, электрон или другая микрочастица не может иметь одновременно точных значений координаты и проекции импульса.

Для примера рассмотрим прохождение электрона через щель шириной Δx.

До прохождения через щель $p_x = 0$. Следовательно, данная проекция определена точно, значит $\Delta p_x = 0$. Координата x для электрона до прохождения через щель не определена, т.о. $\Delta x \to \infty$. При прохождении через щель координата x будет определена с точностью до Δx. Импульс электрона будет не определен вследствие дифракции. Электрон после прохождения через щель с большой вероятностью будет двигаться в пределах угла 2φ. $\Delta p_x = p\sin\varphi$. Если щель достаточно мала, то на экране будет наблюдаться только центральный максимум и два первых боковых минимумов.

Условие 1-го минимума $\Delta x \sin\varphi = \lambda$. λ – длина волны де Бройля.

$$\Delta x = \frac{\lambda}{\sin\varphi} = \frac{h}{p \cdot \sin\varphi}$$

Найдем произведение неопределенности в координате и проекции импульса

$$\Delta x \cdot \Delta p_x = \frac{h}{p\sin\varphi} \cdot p\sin\varphi = h$$

Из этого соотношения видно, что при точном определении координаты (Δx мало) импульс электрона будет неопределен, Δp_x будет велико.

Величины, точных значений которых не существует одновременно, называются сопряженными.

Соотношение неопределенностей Гейзенберга (СНГ): произведение неопределенностей двух сопряженных величин не может быть меньше постоянной Планка. Координату x и проекции импульса на ось У или Z можно измерить точно, одновременно. Математически это выражается следующим образом:

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

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

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

Можно перейти от координат и импульса к энергии и времени:

$$\Delta W \cdot \Delta t \geq \hbar$$

ΔW – неопределенность энергии частицы. Это означает, что изменение энергии частицы с точностью до ΔW занимает промежуток времени $\Delta t \geq \dfrac{\hbar}{\Delta W}$. Последнее соотношение приводит к усилению спектральной линии.

Примеры применения СНГ.

1. Пользуясь соотношениями неопределенностей, покажем, что внутри атомного ядра электрон находиться не может.

$$R_я \sim 10^{-15} м \qquad \Delta x = 10^{-15} м$$

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq \frac{h}{2\pi} \qquad \Delta V_x \geq \frac{h}{2\pi \cdot \Delta x \cdot m}$$

$$\Delta x \cdot m \cdot \Delta V_x \geq \frac{h}{2\pi} \qquad \Delta V_x \geq \frac{6{,}63 \cdot 10^{-31}}{6{,}28 \cdot 10^{-15} \cdot 0{,}9 \cdot 10^{-30}} = 10^{11} м/с$$

Т.о., неопределенность скорости электрона в ядре превышает скорость света, следовательно, сама скорость электрона будет больше скорости света, чего быть не может.

Принцип неопределенности говорит о том, что точных значений сопряженных величин не существует вообще. Наличие неопределенностей не связано с несовершенством приборов.

Зависимость вероятности нахождения электрона *P* от расстояния от ядра *r* подтверждает, что электрон, как квантовая частица, не имеет строгой траектории движения в отличие от классической частицы. В атоме электрон предстает в виде электронного облака, что согласуется с СНГ.

Вывод: для исследования поведения квантовых частиц применяют соотношение неопределенностей Гейзенберга (СНГ), которое отражает тот факт, что у квантовой частицы не существует однозначной траектории движения. Чем меньше неопределенность координаты, тем больше неопределенность импульса квантовой частицы, и наоборот, чем меньше неопределенность импульса квантовой частицы, тем больше неопределенность ее координаты.

СНГ позволяет ответить на вопрос, когда необходимо учитывать ее волновые свойства микрочастицы – это необходимо делать в том случае, если СНГ выполняется. И когда микрочастицу можно представлять как классическую частицу – это возможно в том случае, если СНГ не выполняется.

Задание состояния квантовой частицы. Волновая функция,
и ее физический смысл. Временное уравнение Шредингера

С точки зрения классической механики каждая частица движется по определенной траектории. Ее движение в любой момент времени характеризуется точными значениями координат, импульса и энергии. В рамках классической механики пучок частиц не обнаруживает явление дифракции и интерференции, свойств волны. Как было установлено опытным путем, элементарные частицы ($\bar{e}$ и n) при некоторых условиях могут дать дифракционную картину. Это означает, что пучок частиц или отдельная микрочастица обладают волновыми свойствами. Следовательно, поведение микрочастицы не может быть описано с позиций классической механики. Движение микрочастицы Шредингер сопоставил комплексную функцию координаты времени, которую назвал *волновой функцией* – $\psi(x,y,z,t)$.

$\psi(x,y,z,t)$ обладает следующими свойствами: 1) ψ-функция является однозначной, конечной, непрерывной по всем параметрам; 2) волновая функция имеет непрерывные производные по координатам и времени; 3) волновая функция является интегрируемой и для нее выполняется условие нормировки

$$\int|\psi|^2 dV = 1$$

Физический смысл ψ можно объяснить следующим образом:

$|\psi|^2 dV$ представляет собой вероятность нахождения частицы в элементе объема dV. Условие нормировки означает, что частица существует.

Волновая функция ψ полностью и однозначно определяет состояние системы в квантовой механике, например, состояние электрона. Это означает, что определение функции в некоторый момент времени не только описывает все ее свойства в этот момент времени, но также определяет ее поведение во все последующие моменты с той степенью полноты, которая только возможна. Математически это обстоятельство выражается тем, что значение производной в некоторый момент времени будет связано со значением функции в этот же самый момент времени (согласно принципу суперпозиции эта связь должна быть линейной).

С точки зрения эксперимента невозможно измерить ψ-функцию, можно измерить только ее квадрат $|\psi|^2$, который численно равен вероятности попадания микрочастицы в исследуемую точку пространства, поэтому говорят, что ψ-функция не имеет физического смысла. Физический смысл имеет только $|\psi|^2$.

Основной закон квантовой физики, позволяющий исследовать и описывать состояние квантовой частицы (ψ-функцию) в любой момент времени в любой точке пространства – это уравнение Шредингера (имеет такое же значение для исследования движения частицы, как и 2 закон Ньютона в классической механике для исследования движения тела). Уравнение Шредингера является основным законом квантовой механики, оно не может быть выведено из каких-либо других соотношений.

Формулу уравнения можно записать двумя способами.

Первый способ:

$$\boxed{-\frac{\hbar^2}{2m}\cdot\Delta\psi + u\cdot\psi = i\hbar\frac{d\psi}{dt}}$$

m – масса частицы, u – потенциальная энергия, являющаяся функцией координат и времени,

$\nabla = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}$ – оператор Лапласа.

Второй способ:

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

m – масса частицы, u – потенциальная энергия,

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

Решая уравнение, всегда определяют вид волновой функции, которая однозначно описывает поведение квантовой частицы в любой момент времени в любой точке пространства (с координатами *x, y, z*). Так, например, для свободной частицы вид волновой функции будет следующим:

$$\psi = \psi_0\, sin(\omega t - kx) \qquad \varepsilon = \hbar\omega$$

$$\psi = \psi_0\, sin(\frac{\varepsilon}{\hbar}t - \frac{p}{h}x) \qquad \vec{p} = \hbar\vec{k}$$

$$\psi = \psi_x \cdot e^{i(\frac{\varepsilon}{\hbar} - \frac{p}{\hbar}x)}$$

Данное решение, представленное в виде ψ-функции (волновой функции), полностью характеризует состояние свободной квантовой частицы.

Уравнение Шредингера исследует:

- движение свободной квантовой частицы,
- поведение электрона в атоме,
- туннелирование электрона сквозь потенциальный барьер и др.

<u>Исследование поведения свободной квантовой частицы</u>

Определим ψ-функцию квантовой частица в случае ее свободного движения. Решение уравнения Шредингера будем искать в виде произведения двух ψ-функций, одна из которых зависит только от координат, вторая зависит только от времени.

$$\psi = \psi_1(x,y,z)\cdot\psi(t) \qquad \psi = \psi_1\cdot\psi_2$$

Перепишем уравнение Шредингера

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\cdot\psi_2\nabla^2\psi_1 + u\psi_1\cdot\psi_2 = \hbar i\psi_1\frac{d\psi_2}{dt} \qquad (:\ \psi_1\cdot\psi_2)$$

Разделим это выражение на ψ_1 и ψ_2

$$-\frac{\hbar^2}{2m\psi_1}\nabla^2\psi_1 + u = \frac{\hbar i}{\psi_2}\frac{d\psi_2}{dt} \to \frac{d\psi_2}{dt}$$

Это равенство будет справедливым только в том случае, если левая и правая части его равны константе. Забегая вперед, следует сказать, что эта константа – полная энергия квантовой частицы.

$-\frac{\hbar^2}{2m\psi_1}\nabla^2\psi_1 + u = W$ Лекция 13	$\frac{hi}{\psi_2}\frac{d\psi_2}{dt} = W$
Т.к. частица свободна, т.е. потенциальные поля отсутствуют, следовательно, u=0	
$\nabla^2\psi_1 + (W-u)\frac{2m\psi_1}{\hbar^2} = 0$ Совместим направление движения частицы с одной координатной осью (OX). Тогда $\frac{d^2\psi_1}{dx_1^2} + \frac{2mW}{\hbar^2}\cdot\psi_1 = 0$ $\psi_1 = A\cdot \sin kx + B\cos kx$ $\psi_1 = A_*\cdot e^{ikx} + B_*\cdot e^{-ikx}$ $k = \frac{\sqrt{2mW}}{\hbar}$	$\frac{d\psi_2}{\psi_2} = \left[\frac{W}{ih}\right]dt$ $ln\psi_2 = \left[\frac{W}{ih}\right]t + ln\psi_0$ экспонируем выражение $ln\psi_2 - ln\psi_0 = \frac{W}{i\hbar}t$ $ln\frac{\psi_2}{\psi_0} = \frac{W}{i\hbar}t$ $\psi_2 = \psi_0\cdot e^{-\frac{Wi}{\hbar}t}$

$$\psi = \psi_1\cdot\psi_2$$

$$\psi = A_* e^{ikx}\cdot\psi_0\cdot e^{-\frac{Wi}{\hbar}t} + B_*\cdot e^{ikx}\cdot\psi_0\cdot e^{-\frac{Wi}{\hbar}t}$$

$$\psi = A_*\psi_0\cdot e^{\frac{i}{\hbar}(\sqrt{2mWx}-Wt)} + B\cdot\psi_0\cdot e^{-\frac{i}{\hbar}(\sqrt{2mWx}+Wt)}$$

Полученное выражение представляет собой суперпозицию двух волн одинаковой частоты. То есть волновая функция свободного электрона соответствует только одной волне – бегущей:

$$\psi = A_*\psi_0\cdot e^{\frac{i}{\hbar}(\sqrt{2mWx}-Wt)}$$

Из этого можно сделать вывод, что свободная частица в квантовой механике описывается плоской монохроматической волной, причем этому соответствует не зависящая от времени вероятность обнаружить квантовую частицу в любой точке пространства.

Атом в квантовой механике

Свойства атомов определяются свойством и поведением электронов в атоме. Рассмотрим поведение электрона на примере атома водорода. В этом случае можно считать, что электрон находится в одномерной потенциальной яме, границы которой определяет ширина потенциальной ямы *l*.

$\frac{d^2\psi}{dx^2}+\frac{2m}{\hbar}(W-u)\psi=0$ – стационарное уравнение Шредингера, которое позволяет исследовать поведение электрона в атоме, базируясь на представлении, что его поведение не зависит от времени и учитывая наличие в атоме кулоновских сил. Кулоновские силы будут учтены, если учесть наличие потенциального поля, в котором находится электрон в атоме водорода $u=-\frac{e^2}{r}$.

Решение уравнения Шредингера в этом случае:

$$\psi=\sqrt{\frac{2}{l}}\sin\frac{\pi n}{l}x \qquad (*)$$

В классическом понимании *l* – это длина окружности «траектории» электрона, здесь *l* – ширина потенциальной ямы; n = 1,2,3,4,5,.... Уравнение (*) показывает, что электрон в атоме водорода представляет собой стоячую волну (результат не зависит от времени, получено типичное уравнение стоячей волны). Решение уравнения Шредингера позволяет найти энергию электрона-стоячей волны в атоме водорода:

$$W=\frac{1}{n^2}\cdot\frac{Z^2\cdot m_e\cdot e^4}{8h^2\cdot\varepsilon_0^2} \qquad (**)$$

! Кинетическая энергия электрона зависит от целого числа n, она принимает только строго определенные (дискретные) значения.

!! Энергия электрона в атоме квантуется, т.е. принимает только дискретные значения (не непрерывные).

Значения энергии электрона в атоме получают название *энергетический уровень*. Пример: W_1 = 13,6 эВ – значение энергии электрона, соответствующее 1-й боровской орбите.

Очевидно, для того, чтобы электрон перешел на другой энергетический уровень, иначе в другое (квантовое) состояние, ему необходимо сообщить энергию, равную разности энергетических уровней $h\nu = W_1 - W_2$. Очевидно, что в случае сообщения ему энергии происходит переход электрона с более низкого энергетического уровня на более высокий энергетический уровень. Сообщить энергию электрону можно с помощью фотона. И, наоборот, при переходе электрона с более высокого энергетического уровня на более низкий высвобождается энергия, равная разности этих энергетических уровней. Эту энергию уносит рожденный в этом случае фотон.

Существование энергетических уровней доказывают постулаты Бора:

1) атом может находиться в стационарном состоянии, в котором он не излучает (W_1, W_2, W_3);
2) атом излучает, если переходит из одного состояния в другое $h\nu = W_1 - W_2$;
3) орбитальный момент импульса электрона в атоме принимает только дискретные значения. $mVr = n\hbar$

1. Итак, энергия электрона в атоме квантуется. *Главное квантовое число n* – безразмерная целочисленная величина, которая позволяет определить значение энергии электрона в атоме, она является одной из четырех основных характеристик состояния электрона в атоме.

2. Вектор момента импульса электрона в атоме никогда не имеет 3-х проекций. Он обладает только одной проекцией L_Z , кроме этого *модульное значение вектора момента импульса квантуется*, т.е. принимает строго разрешенные дискретные значения, кратные ħ.

$$|\vec{L}| = \hbar\sqrt{l(l+1)}$$

ħ – постоянная Планка; *l* – целое число, которое принимает значения *l* = 0, 1, 2, …, (n-1); здесь n – главное квантовое число, которое определяет энергетический уровень электрона.

Орбитальное квантовое число l – это целое число, которое определяет геометрическую форму электронного облака. *l* = 0, 1, 2, …, (n-1), является одной из четырех основных характеристик состояния электрона в атоме.

3. Проекция момента импульса электрона на произвольное направление OZ квантуется (часто это направление вектора магнитной индукции внешнего МП).

$L_z = \hbar m$, где $m = 0, \ \pm 1, \ldots, \pm l$.

m – магнитное квантовое число- это целое число, которое определяет проекцию момента импульса электрона на направление OZ, т.е. ориентацию вектора L в пространстве, является одной из четырех основных характеристик состояния электрона в атоме.

Свойство электрона, которое заключается в квантовании проекции вектора момента импульса электрона L_z на выбранное направление, получает название «пространственное квантование».

Отметим, что вектор магнитного момента связан с вектором момента импульса электрона в атоме $\vec{p}_m = -\frac{e}{2m}\vec{L}$

$$|\vec{p}_m| = -\frac{e}{2m}\hbar\sqrt{l(l+1)}$$

$$|\vec{p}_m| = -\mu_Б\sqrt{l(l+1)} \qquad \mu_Б = \frac{e\hbar}{2m}$$ - магнетон Бора

Магнитный момент в атоме (веществе) измеряется в магнетонах Бора.

Полный момент импульса электрона – результат векторного сложения двух моментов импульса – орбитального L_0 и собственного L_s.

$$\vec{L} = \vec{L}_0 + \vec{L}_S$$

4. *Спин электрона* – это физическая векторная величина, характеризующая его квантовые свойства, численно равна собственному моменту импульса электрона.

! Спин электрона в атоме квантуется $\left|\vec{L}_S\right| = \hbar\sqrt{S(S+1)}$.

Модуль спина кратен ħ, S= ½ - спиновое квантовое число.

Проекция спина на направление OZ квантуется, она кратна ħ $L_{S_z} = m_S\hbar$.

Магнитное спиновое квантовое число – это полуцелое значение (1/2), определяющее значения проекции спина электрона на направление OZ.

! Магнитное спиновое квантовое число принимает только два значения: ±1/2.

Часто в литературе m_S называют спином.

!! Спин квантовой частицы – это фундаментальная характеристика квантовых частиц наряду с массой и зарядом.

Спин квантовых частиц или систем, состоящих из квантовых частиц, всегда принимает нулевое или целое, или полуцелое значение.

При этом: 1) квантовые частицы, обладающие целым спином, проявляют одинаковые свойства, стремятся находиться в одинаковом состоянии (например, стремятся иметь одинаковое значение энергии). Эти частицы получили название *бозоны.*

Бозоны – квантовые частицы, обладающие целым или нулевым спином, не подчиняющиеся принципу Паули, стремящиеся находиться в одинаковом состоянии. Пример – фотоны.

2) квантовые частицы, обладающие полуцелым спином, не проявляющие одинаковые свойства, каждая из них стремится занять одно единственное (уникальное) состояние в системе квантовых частиц.

Фермионы – квантовые частицы, обладающие полуцелым спином и подчиняющиеся принципу Паули. Пример – электрон.

Не бывает двух фермионов, имеющих одинаковое квантовое состояние.

Квантовые числа, определяющие квантовое состояние квантовых частиц

Величина	Квантовое число	Связь	Разрешенное значение
Энергия	n – главное квантовое число	$E \sim \frac{1}{n^2}$	n = 1,2,3,...
Момент импульса (модуль)	*l* – орбитальное квантовое число	$L = \hbar\sqrt{l(l+1}$	*l* = 0, 1,..., (n-1)
Проекция момента импульса	m – спиновое квантовое число	$L_z = m\hbar$	*m = 0, ±1,... ±l*
Проекция спина	m_S – магнитное спиновое квантовое число	$L_{s_z} = m_S\hbar$	m_S - ± ½

Данные четыре квантовых числа являются характеристиками квантового состояния электрона (фермиона).

Принцип Паули: в атоме, молекуле, веществе не может быть двух тождественных фермионов, которые обладали бы одинаковым набором 4-х квантовых чисел.

Химические свойства всех элементов непосредственно зависят от строения электронных оболочек атомов. Химические свойства элементов – это способность элементов образовывать определенные соединения с другими элементами. Химические свойства элементов определяются числом электронов внешнего энергетического уровня.

Для «построения» электронных оболочек используют принцип Паули, принцип минимума энергии и принцип максимального значения суммарного спина на одном подуровне.

Периодическому закону подчиняются те свойства атомов, которые обусловлены внешними энергетическими уровнями электронов:

1. Свойства атомов определяются свойствами и поведением электронов в атоме.
2. Электрон в атоме представляет собой стоячую волну.

3. Основные характеристики, определяющие свойства электрона в атоме (молекуле, веществе) – это такие величины, как энергия, орбитальный момент импульса, проекция вектора орбитального момента импульса на определенное направление и спин. Все эти величины квантуются (принимают дискретные значения).
4. Фундаментальная характеристика квантовых частиц наряду с массой и зарядом – спин. Частицы с полуцелым спином (фермионы) подчиняются принципу Паули. Частицы с нулевым или целым спином не подчиняются принципу Паули.
5. Основные законы, описывающие поведение и свойства квантовых частиц – уравнение Шредингера и соотношение неопределенностей Гейзенберга.
6. Основная характеристика состояния квантовой частицы – ψ-функция.

Особый случай: 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 – происходит возникновение дополнительных разрешенных энергетических уровней вблизи основного. То есть в этом случае образуется зона «разрешенных» собственных значений энергий. Это приводит к тому, что возникают «разрешенные» и «запрещенные» энергетические зоны. Зонная структура энергий электронов в твердом теле используется для объяснения работы всех устройств электроники. Объединяющая эти знания теория получает название *зонная теория* твердого тела. Она позволяет объяснить свойства металлов, диэлектриков, полупроводников и др.

Практическое применение квантовых свойств электронов

1. Электронный микроскоп.
2. Термоэлектронная эмиссия (находит применение в лампах).
3. Автоэлектронная эмиссия.
4. Ионный микроскоп.
5. Контакт двух металлов (термопара).
6. Свойства полупроводниковых элементов. И др.