



Недостаток модели – согласно классической электродинамике, заряженная частица, вращаясь по круговой орбите, должна терять энергию – значит, электрон должен упасть на ядро.

### **ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ**

**Макс Планк ( XX век )** – впервые предположил, что атомы испускают и поглощают энергию не непрерывно, а дискретными порциями – **квантами**. Энергия кванта пропорциональна частоте излучения:

$$E = h\nu$$

$E$  – энергия кванта (Дж)

$h$  – постоянная Планка (  $6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж · с )

$\nu$  - частота излучения

$$\nu = c / \lambda$$

$c$  – скорость света в вакууме (  $3 \cdot 10^8$  м / с )

$\lambda$  – длина волны фотона ( м ).

**Нильс Бор ( XX век )** – предложил **квантовую теорию строения атома**, основанную на двух постулатах.

**1-й постулат** – электрон движется вокруг ядра только по определенным (стационарным) орбитам. При этом атом находится в устойчивом состоянии – не излучает и не поглощает энергию. Такое состояние атома называется **основным** или **невозбужденным**.

**2-й постулат** – при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую происходит выделение или поглощение энергии. Если электрон переходит на более высокие орбиты, состояние атома становится неустойчивым – **возбужденным**.

✓ *Обозначение:*  $H, Mg, Fe$  – основное состояние атома ;  
 $H^*, Mg^*, Fe^*$  – возбужденное состояние атома.

**Луи де Бройль ( XX век )** – высказал гипотезу о том, что все микрочастицы обладают волновыми свойствами, и каждой движущейся частице соответствует электромагнитная волна. Длина волны частицы связана с ее импульсом:

$$\lambda = h / mv$$

$\lambda$  - длина волны частицы,

$h$  – постоянная Планка,

$mv$  – импульс частицы.

Это уравнение можно использовать для расчета длины волны любого тела, движущегося с определенной скоростью. Однако, для тел массой 1 грамм и более (макрообъектов), движущихся с обычными скоростями (намного меньше скорости света), длины волн настолько малы, что их нельзя измерить. Таким образом, волновые свойства характерны только для микрочастиц (электронов, фотонов, нейтронов и т.д.).

**Эрвин Шрёдингер ( XX век )** – вывел математическое уравнение, описывающее состояние электрона в атоме.

$$\frac{\partial^2 \psi}{\partial^2 x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial^2 y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial^2 z^2} + \frac{8\pi^2 m}{h^2} (E - V) \psi = 0 \quad - \text{уравнение Шрёдингера};$$

$\psi$  - волновая функция,

$m$  - масса электрона,

$h$  - постоянная Планка,

$E$  - полная энергия электрона в атоме,

$V$  - потенциальная энергия электрона в атоме.

В результате его решения получается волновая функция, определяющая вероятность нахождения электрона в данном объеме пространства. Объем пространства, в котором с большей или меньшей вероятностью может находиться электрон, называется **электронным облаком** или **атомной орбиталью**. Плотность электронного облака пропорциональна квадрату волновой функции.

**Вернер Гейзенберг ( XX век )** – сформулировал гипотезу о неопределенности поведения микрочастицы в пространстве, названную *принципом неопределенности Гейзенберга*.

*Принцип неопределенности Гейзенберга* – невозможно одновременно точно определить импульс микрочастицы и ее положение в пространстве в один и тот же момент времени.

Теории Планка и Бора, гипотеза де Бройля, уравнение Шрёдингера и принцип неопределенности Гейзенберга являются **основными положениями квантовой механики**. Согласно современной квантово-механической модели, электрон в атоме не имеет определенной траектории движения. Он вообще мало похож на частицу в классическом ее понимании (маленький движущийся шарик). Электрон представляет собой облако электрического заряда, окружающее атомное ядро и «размытое» по всему объему атома с большей или меньшей плотностью.

## 2. КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА

Уравнение Шрёдингера, как любое дифференциальное уравнение 2-го порядка, имеет бесчисленное множество решений. Выбрать решения, имеющие физический смысл, можно только при соблюдении определенных ограничений. Каждому «реальному» решению будет соответствовать атомная орбиталь с определенной энергией, формой и положением в пространстве. Ограничениями, позволяющими получить правильные решения уравнения Шрёдингера, являются **квантовые числа**. Четыре квантовых числа - *главное, орбитальное, магнитное и спиновое* – введены в теорию условно, для более точного описания состояния электрона в атоме.

**Главное квантовое число (  $n$  )** – определяет энергию и размеры атомной орбитали. Соответствует номеру энергетического уровня, на котором находится электрон.  
 $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, \dots$

**Орбитальное квантовое число ( $l$ )** – определяет форму атомной орбитали, т.е. характеризует энергетический подуровень, на котором находится электрон.  
 $l = 0 \dots (n-1)$ .

Значение $l$	0	1	2	3	4
Энергетический подуровень	<i>s</i>	<i>p</i>	<i>d</i>	<i>f</i>	<i>g</i>

Например:  $n = 3$ . Тогда  $l = 0, 1, 2$ . Это значит, что электрон, находящийся на 3-м энергетическом уровне, может занимать *s*, *p* или *d*-подуровень.

**Магнитное квантовое число ( $m$ )** – определяет ориентацию атомной орбитали в пространстве.  
 $m = -l \dots +l$

Например:  $l = 1$ . Тогда  $m = -1, 0, 1$ . Т.е. электрон находится на *p*-подуровне и, соответственно, может занимать одну из 3-х его орбиталей.

**Спиновое квантовое число, спин ( $s$ )** – условно определяет собственный момент вращения электрона. (Два состояния электрона в атоме, не имеющие аналогов на макроуровне, условно сравниваются с вращением вокруг своей оси по часовой стрелке и против нее). Электроны с антипараллельными спинами, находящиеся на одной атомной орбитали, называются спаренными и обозначаются противоположно направленными стрелками -  $\uparrow\downarrow$ .

*Несмотря на то, что квантовые числа могут принимать целый ряд значений, каждому отдельному электрону соответствует только 4 квантовых числа: одно главное, одно орбитальное, одно магнитное и одно спиновое.*

\*\*\* \*\*

**ЗАДАНИЕ 1.** Определить значения всех квантовых чисел для каждого электрона атома кислорода.

### 3. ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ И ЭЛЕКТРОННАЯ СТРУКТУРА АТОМА

Распределение электронов в атоме по энергетическим уровням и подуровням (орбиталям) подчиняется следующим закономерностям: **принципу наименьшей энергии, правилу Клечковского, принципу Паули и правилу Хунда.**

- **ПРИНЦИП НАИМЕНЬШЕЙ ЭНЕРГИИ** – в основном состоянии атома орбитали заполняются электронами в порядке возрастания их энергии. Т.е. первыми заполняются орбитали с наименьшей энергией.

\*\*\* \*\*

**ЗАДАНИЕ 2.** Рассмотрите этот принцип на конкретном примере.

\*\*\* \*\*

- **ПРАВИЛО КЛЕЧКОВСКОГО** – атомные орбитали заполняются электронами в порядке увеличения суммы главного и орбитального квантовых чисел, а при одинаковых значениях этой суммы – в порядке возрастания главного квантового числа.

\*\*\* \*\*

**ЗАДАНИЕ 3.** Какой энергетический подуровень будет заполняться электронами в первую очередь:

- 4s или 3d ?

- 3d или 4p ?

\*\*\* \*\*

- **ПРИНЦИП ПАУЛИ** – в атоме не может быть двух электронов, у которых все четыре квантовых числа были бы одинаковыми.

**Следствие:** на каждой орбитали может находиться не более двух электронов, причем они должны иметь антипараллельные спины.

**ЗАДАНИЕ 4.** Рассмотрите принцип Паули на примере атома углерода.

\*\*\* \*\*

➤ **ПРАВИЛО ХУНДА** – устойчивому состоянию атома соответствует такое распределение электронов в пределах энергетического подуровня, при котором абсолютное значение суммарного спина атома максимально.

\*\*\* \*\*

**ЗАДАНИЕ 5.** Подтвердите истинность правила Хунда на примере заполнения электронами р-подуровня.

\*\*\* \*\*

Максимально возможное число электронов на энергетическом уровне:

$$N(e^-)_{\text{max уровня}} = 2n^2.$$

Максимально возможное число электронов на энергетическом подуровне:

$$N(e^-)_{\text{max подуровня}} = 4l+2.$$

В зависимости от изменения электронного строения атомов изменяются и такие свойства элементов, как **потенциал ионизации**, **средство к электрону** и **электроотрицательность**.

**ПОТЕНЦИАЛ ИОНИЗАЦИИ** – это энергия, необходимая для отрыва электрона от атома, иона или молекулы и удаления его на бесконечно большое расстояние от ядра.

Чем меньше потенциал ионизации, тем легче отрывается электрон, и тем сильнее восстановительные свойства элемента.

**ЗАДАНИЕ 6.** Как изменяются потенциалы ионизации химических элементов в периодах и группах системы Менделеева? Почему именно так?

\*\*\* \*\*

**СРОДСТВО К ЭЛЕКТРОНУ** – это энергия, которая выделяется в результате присоединения электрона к атому, иону или молекуле.  
( СЭ - эВ, кДж/моль )

Если присоединение идет легко, то выделяется большая энергия (энергетически выгодный процесс). Чем больше сродство к электрону, тем сильнее окислительные свойства элемента.

\*\*\* \*\*

**ЗАДАНИЕ 7.** Как изменяется сродство к электрону в периодах и группах системы Менделеева? Почему именно так?

\*\*\* \*\*

**ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНОСТЬ** – это способность атома оттягивать на себя электронную плотность.  
 $ЭО = \frac{1}{2} ( ПИ + СЭ )$

Чем больше электроотрицательность, тем сильнее окислительные свойства элемента.  
*Самый сильный окислитель среди химических элементов – фтор. ( $ЭО_F = 4$ ).*

## 4. СТРОЕНИЕ АТОМНЫХ ЯДЕР

Согласно современным представлениям, атомные ядра состоят из **протонов** и **нейтронов**. Эти частицы получили общее название **нуклонов**.

**ПРОТОН ( $p^+$ )** – это элементарная частица, имеющая положительный заряд, равный по абсолютной величине заряду электрона.

**НЕЙТРОН ( $n^0$ )** – это элементарная частица, не имеющая электрического заряда.

Массы протона и нейтрона примерно одинаковы ( правда, нейтрон несколько тяжелее) и приближенно равны 1 а.е.м.

Несложно определить число протонов, нейтронов и электронов в атоме. Число протонов равно числу электронов и равно заряду ядра атома (т.е. порядковому номеру элемента в периодической системе). Число нейтронов равно разности массового числа и порядкового номера элемента.

**ПРИМЕР:** Определить, сколько протонов, нейтронов и электронов содержится в атоме калия.

39

${}_{19}K$  - в атоме калия  $19 p^+$ ,  $19 e^-$  и  $20 n^0$  (  $19$  – порядковый номер,  $39$  – массовое число ).



Ученые установили, что время жизни протона должно быть примерно равно  $10^{35}$  лет. Если принять во внимание, что возраст нашей Вселенной составляет всего лишь  $10^{10}$  лет, то можно считать, что протон живет вечно (а, кроме того, это означает, что наша Вселенная еще совсем молодая). Зато нейтрон живет всего лишь около 10 минут (в свободном состоянии он легко распадается на протон и электрон).

Из чего состоят протоны и нейтроны? Из кварков. Выделить кварки в свободном состоянии пока не удастся ни при каких энергиях. Тем не менее ученые считают, что кварк является последним пределом делимости вещества – наименьшей частицей материи. Масштаб кварков – это расстояния порядка  $10^{-33}$  см ( для сравнения – «радиус» электрона  $\approx 10^{-16}$  см ). На таких расстояниях свойства материи координально меняются – пространство и время сливаются воедино, образуя наименьшую величину в природе – **квант пространства-времени**. В масштабах порядка  $10^{-33}$  см пространство также меняет свои свойства – оно становится одинадцатимерным. А четыре физических взаимодействия, наблюдаемые в нашем макро-мире (гравитационное, электромагнитное, сильное и слабое) объединяются в единую суперсилу.

Масса ядра атома всегда несколько меньше суммы масс протонов и нейтронов, его составляющих. Это явление называется **ДЕФЕКТОМ МАССЫ**. Дефект массы наблюдается потому, что при образовании атомных ядер выделяется огромное количество энергии. Эта энергия называется **ЭНЕРГИЕЙ СВЯЗИ ЯДРА**. Чем больше величина выделившейся энергии, тем устойчивее ядро.

➤ Из уравнения Эйнштейна  $E = mc^2$  следует, что каждому изменению массы соответствует изменение энергии. Если при образовании атомного ядра происходит выделение энергии, значит одновременно происходит уменьшение массы.



Между протонами и нейтронами действуют ядерные силы ( сильное взаимодействие ). Сильное взаимодействие распространяется всего лишь на 0,00001 часть диаметра атома. Поэтому ядра такие плотные, а элементы с тяжелыми ядрами неустойчивые, т.к. сильное взаимодействие быстро убывает с расстоянием.

Атомы, имеющие **одинаковое число протонов**, но **разное число нейтронов** в ядре, называются **ИЗОТОПАМИ**. Изотопы – это атомы одного и того же химического элемента. **Например**,  ${}^1\text{H}$  – водород,  ${}^2\text{H}$  ( D ) – дейтерий,  ${}^3\text{H}$  ( T ) – тритий;  ${}^{12}\text{C}$ ,  ${}^{11}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{C}$ , - изотопы углерода;  ${}^{235}\text{U}$ ,  ${}^{238}\text{U}$ ,  ${}^{239}\text{U}$  – изотопы урана.

Атомы, имеющие **одинаковые массовые числа**, но **разные заряды ядер**, называются **ИЗОБАРАМИ**. Изобары – это атомы разных химических элементов.

**Например**,  ${}^{40}\text{K}$ ,  ${}^{40}\text{Ca}$ ;  ${}^{14}\text{C}$ ,  ${}^{14}\text{N}$ .



## 5. РАДИОАКТИВНОСТЬ

**РАДИОАКТИВНОСТЬ** – это самопроизвольное превращение изотопа одного химического элемента в изотоп другого, сопровождающееся испусканием элементарных частиц или излучением энергии.

- **ЕСТЕСТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ** – радиоактивность, проявляемая природными изотопами.
- **ИСКУССТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ** – радиоактивность, вызванная путем искусственного воздействия на изотопы. Например, облучением  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицами,  $\gamma$ -квантами и т.д.
- **ПОСТОЯННАЯ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА** – это величина, показывающая, какая часть от общего числа атомов радиоактивного изотопа распадается за одну секунду.  
Чем больше эта постоянная, тем быстрее распадается изотоп.
- **ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА** – это промежуток времени, в течение которого распадается половина первоначального количества радиоактивного изотопа.  
Эта величина характеризует продолжительность жизни изотопа.

### **ОСНОВНЫЕ ВИДЫ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА**

Радиоактивное ядро может превратиться в другое более устойчивое ядро различными способами. Основными, наиболее часто встречающимися в природе, видами радиоактивного распада являются  $\alpha$ -распад,  $\beta$ -распад, электронный захват и спонтанное деление.

- **$\alpha$ -распад** - ядро атома испускает  $\alpha$ -частицу ( $\alpha$ -частица представляет собой ядро атома гелия). При этом заряд распадающегося атомного ядра уменьшается на 2, а его массовое число – на 4. Получается изотоп элемента, находящегося в периодической таблице на два положения левее, чем исходный элемент.

- **$\beta$ -распад** бывает двух видов: *электронный* и *позитронный*.

*Электронный распад* – один из нейтронов ядра превращается в протон. При этом испускается электрон. В результате образуется изотоп элемента с порядковым номером на единицу больше, чем у исходного.

*Позитронный распад* – один из протонов ядра распадается на нейтрон и позитрон. В результате образуется изотоп элемента с порядковым номером на единицу меньше, чем у исходного.

- **Электронный захват (К-захват)** – один из электронов первого энергетического уровня захватывается ядром. Там он взаимодействует с одним из протонов, образуя нейтрон. При этом выделяется квант энергии ( $\gamma$ -квант).

- **Спонтанное деление** – самопроизвольный распад ядер тяжелых элементов на ядра более легких. Характерно для нестабильных ядер с избыточным количеством нейтронов. Распадающееся ядро испускает нейтроны, а получившиеся неустойчивые изотопы претерпевают ряд последовательных  $\alpha$ - и  $\beta$  – распадов до тех пор, пока не образуются стабильные ядра.