

# Лекция

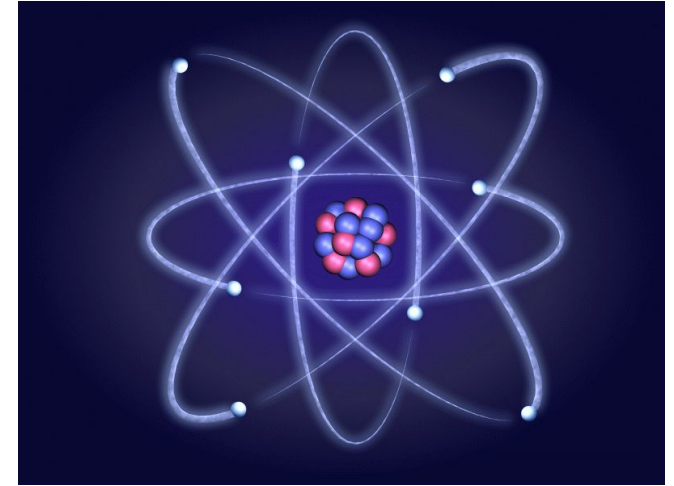
## Строение атома

Атом химического элемента состоит из «+» *заряженного ядра* и быстро движущихся на определенных расстояниях от него «-» *заряженных электронов*.

Заряд электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл; масса -  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$  кг ( $\sim 1/1840$  массы атома Н).

*Электроны, обладая свойствами волны и свойствами частицы, могут находиться в любой части пространства вокруг ядра.*

*Область пространства, для которой вероятность обнаружения электрона составляет 95%, называется атомной орбиталью.*



Ядра атомов состоят из протонов и нейтронов.

**Протон (p)** – элементарная частица, обладающая «+» зарядом, равным заряду электрона.

**Нейтрон (N)** – элементарная частица, не обладающая зарядом.

Протоны и нейтроны - 2 различных (заряженное и незаряженное) состояния элементарной ядерной частицы **нуклона**.

Число протонов в ядре характеризует его заряд (**Z**). Общее число протонов и нейтронов называют массовым числом (A):

$$A = p + N$$

*Энергия связи ядра - характеризует устойчивость ядер, чем больше энергия связи ядра, тем оно устойчивей.*

*Разновидности химического элемента, имеющие одинаковое число протонов, но разное число нейтронов, называют изотопами (греч. «изос» -одинаковый, «топос» - место).*

*Изотопы имеют одинаковое строение электронных оболочек и одинаковые химические свойства, различаются они массовым числом.*

## Обозначение:

верхний индекс – *массовое число*;

нижний индекс – *заряд ядра*.



# *КВАНТОВЫЕ ЧИСЛА*

## Главное квантовое число ( $n$ )

*Определяет возможные энергетические состояния электрона в атоме.*

$$n = 1 \div \infty$$

Для реальных атомов:

$$n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$$

Наименьшей энергией электрон обладает при  $n = 1$ , с увеличением  $n$  энергия электрона возрастает.

*Состояние электрона, которое характеризуется определенным значением главного квантового числа, называется энергетическим уровнем.*



Определяет *размер электронного облака*  
(чем больше  $n$ , тем больше размер облака).




Электроны, с одинаковым значением  $n$ ,  
образуют в атоме электронные облака  
*приблизительно одинакового размера.*

## Орбитальное квантовое число ( $l$ )

Форма электронного облака определяется *орбитальным квантовым числом  $l$* , которое может принимать целочисленные значения:

$$l = 0 \div (n-1)$$

*Состояние электрона, которое характеризуется определенным значением  $l$ , называется энергетическим подуровнем.*

| $l$                             | 0  | 1  | 2  | 3      | 4      |
|---------------------------------|--|--|--|--------|--------|
| Буквенное обозначение подуровня | s  | p  | d  | f      | g      |
| Форма орбитали                  |  |  |  | СЛОЖН. | СЛОЖН. |

## Магнитное квантовое число ( $m$ )

Ориентация электронного облака в пространстве определяется значением *магнитного квантового числа  $m$* .

Принимает целочисленные значения:

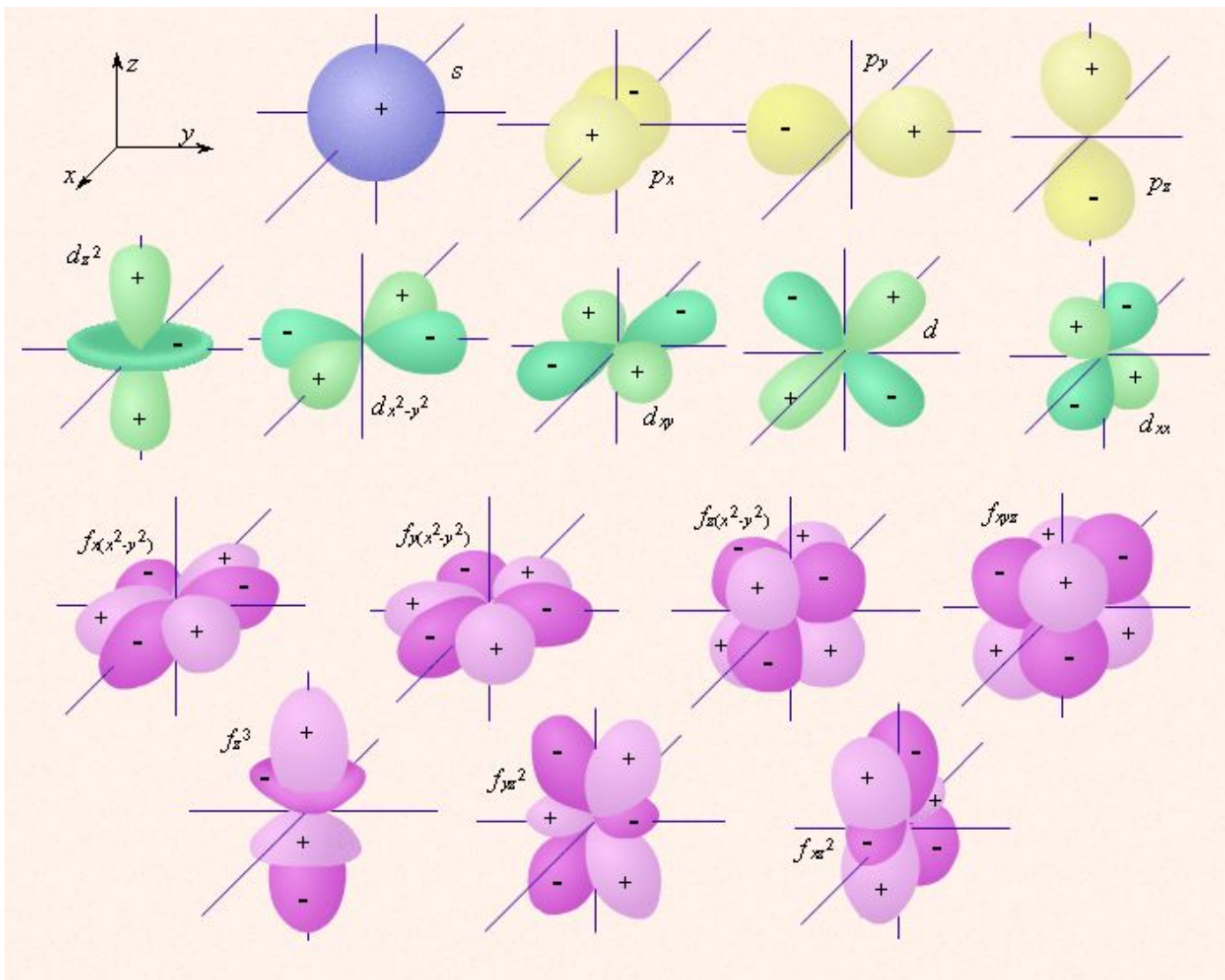
$$m = -l \div (0) \div +l$$

Некоторому значению  $l$  соответствует  $(2l+1)$  возможных значений  $m$ , т.е.

*возможных способов расположения электронных облаков в пространстве.*

Состояние электрона с определенными значениями квантовых чисел  $n$ ,  $l$  и  $m$  (определенными размерами, формой и ориентацией облака в пространстве), называется *атомной электронной орбиталью*.

| <b>Орбитальное<br/>квантовое<br/>число (<math>l</math>)</b> | <b>Магнитное квантовое<br/>число (<math>m</math>)</b> | <b><i>Число<br/>орбиталей с<br/>данным<br/>значением <math>l</math></i></b> |
|---|---|---|
| <b><i>0 (s)</i></b>   | <b><i>0</i></b>                                       | <b><i>1</i></b>   |
| <b><i>1 (p)</i></b>   | <b><i>-1, 0, +1</i></b>                               | <b><i>3</i></b>   |
| <b><i>2 (d)</i></b>   | <b><i>-2, -1, 0, +1, +2</i></b>                       | <b><i>5</i></b>   |
| <b><i>3 (f)</i></b>   | <b><i>-3, -2, -1, 0, +1, +2, +3</i></b>               | <b><i>7</i></b>   |

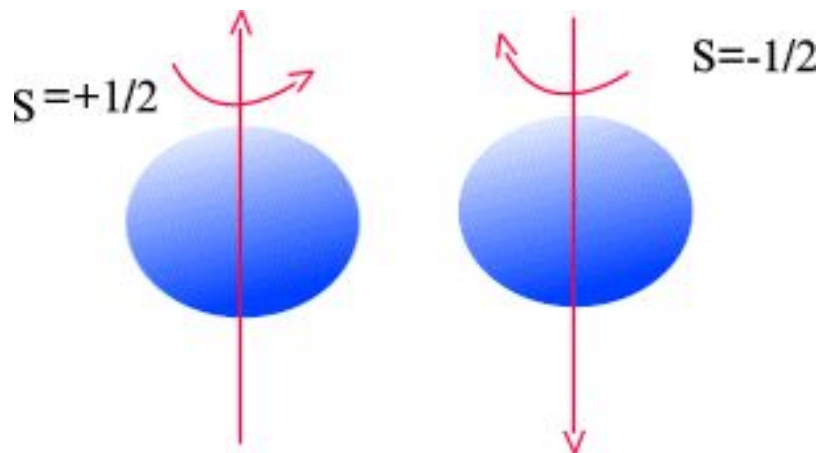


## Спиновое квантовое число ( $s$ )

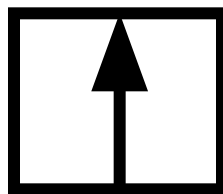
Характеризует *собственное вращательное движение электрона вокруг своей оси* (от англ. «*spin*» - вращение, волчок).

*Принимает значения:*  $s = +\frac{1}{2}; -\frac{1}{2}$

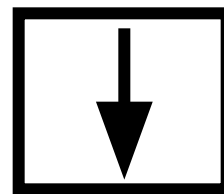




*Условное обозначение:*



$$s = +\frac{1}{2}$$



$$s = -\frac{1}{2}$$

# Многоэлектронные атомы.

## Распределение электронов по уровням, подуровням и атомным орбиталям

*Число электронов, вращающихся вокруг ядра, соответствует «+» заряду ядра.*

**1. Принцип наименьшей энергии**  
**(электрон, всегда стремится**  
**занять самый низкий**  
**энергетический уровень, т.е.**  
**вначале заполняются уровни с  $n = 1$ ,**  
**затем  $n = 2$  и т.д.).**

**2. Принцип  
несовместимости (принцип  
Паули) – в атоме не может  
быть 2 электронов,  
характеризующихся  
одинаковыми значениями  
всех квантовых чисел, т.е.  
для каждого электрона  
характерен свой набор  
квантовых чисел.**



**Вольфганг ПАУЛИ  
(1900 г – 1958г)**

*Число электронов в энергетическом слое определяется значением гл. квантового числа по формуле:*

$$N = 2n^2$$

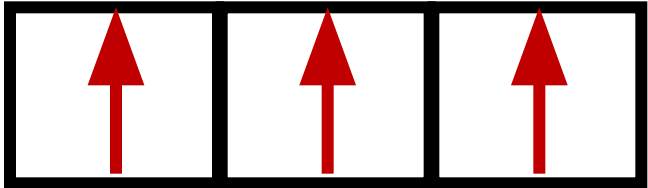
*В соответствии с принципом Паули, максимальное число электронов на подуровнях:*

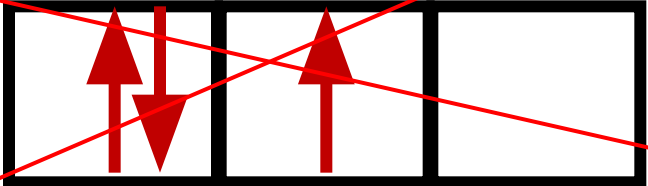
$$s^2, p^6, d^{10}, f^{14}$$

**3. Правило Хунда** —  
по атомным орбиталям  
электроны  
распределяются таким  
образом, чтобы  
обеспечить  
максимальное значение  
суммарного спинового  
числа

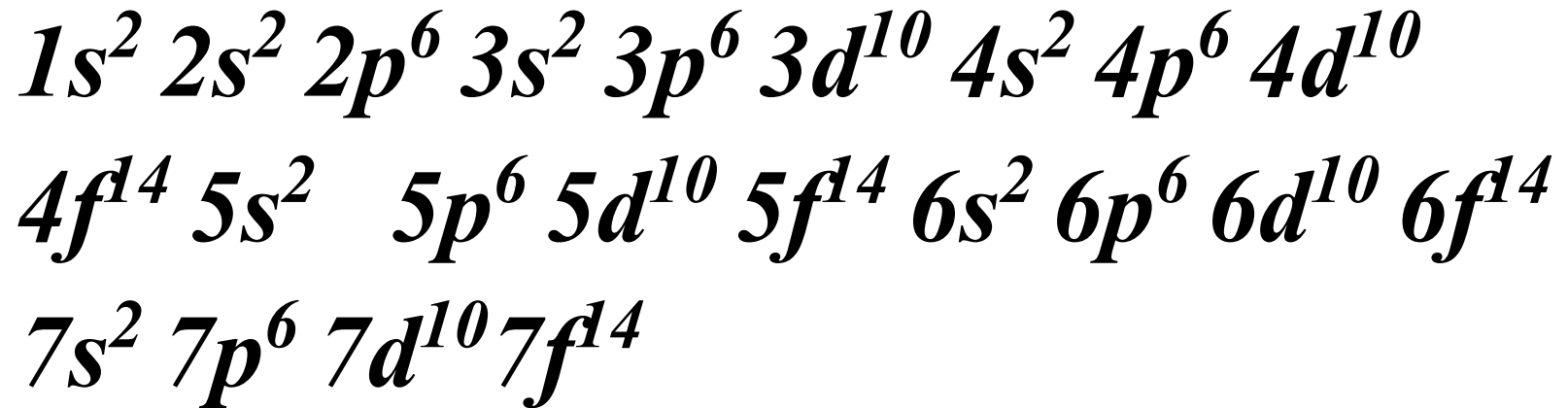


**Фридрих ХУНД**  
(1891 - 1974)

$p^3$    $\sum s = 1,5$

~~$p^3$    $\sum s = \frac{1}{2}$~~

В соответствии с *принципом наименьшей энергии* и с помощью *квантовых чисел* получают т.н. *«идеальный» ряд* распределения электронов.





## Правило Клечковского

– вначале электронами  
заполняется тот  
подуровень, для которого  
минимальна сумма  $(n+l)$ ,  
при одинаковых значениях  
этой суммы  
предпочтительней  
подуровень с меньшим  
значением  $n$ .



*Всеволод Маврикиевич  
Клечковский  
(1900–1972)*

*1*      *2*      *3*      *3*      *4*      *5*      *4*      *5*

*1+0*    *2+0*    *2+1*    *3+0*    *3+1*    *3+2*    *4+0*    *4+1*

*1s*<sup>2</sup>    *2s*<sup>2</sup>    *2p*<sup>6</sup>    *3s*<sup>2</sup>    *3p*<sup>6</sup>    *3d*<sup>10</sup>    *4s*<sup>2</sup>    *4p*<sup>6</sup>

*6*      *7*      *5*      *6*      *7*      *8*      *6*

*4+2*    *4+3*    *5+0*    *5+1*    *5+2*    *5+3*    *6+0*

*4d*<sup>10</sup>    *4f*<sup>14</sup>    *5s*<sup>2</sup>    *5p*<sup>6</sup>    *5d*<sup>10</sup>    *5f*<sup>14</sup>    *6s*<sup>2</sup>

7

8

9

7

8

9

10

6+1

6+2

6+3

7+0

7+1

7+2

7+3

$6p^6$

$6d^{10}$

$6f^{14}$

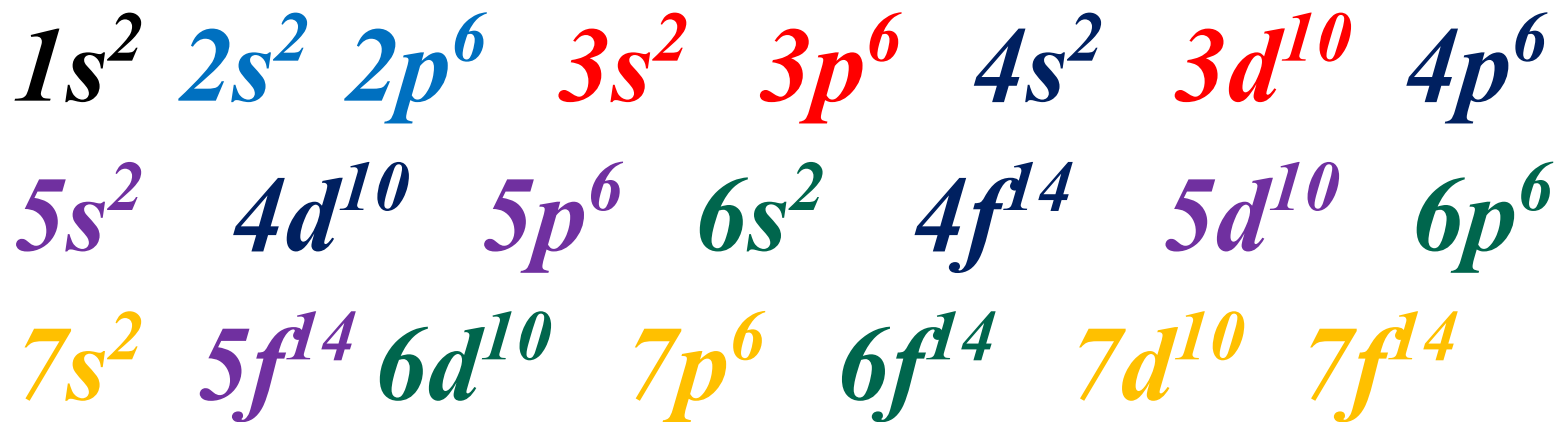
$7s^2$

$7p^6$

$7d^{10}$

$7f^{14}$

В соответствии с правилом Клечковского формируется *реальный ряд* распределения электронов:



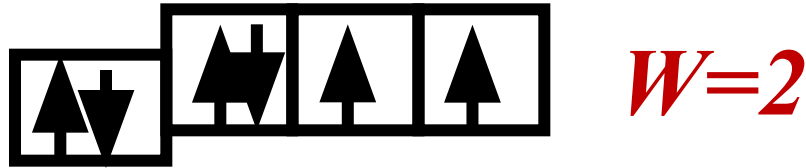
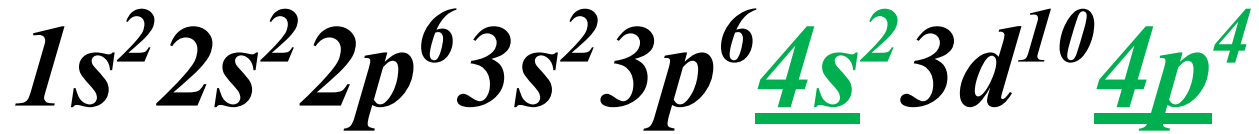
# Электронные и электронно-структурные (графические) формулы

*Электронные формулы показывают распределение электронов по уровням и подуровням.*

*Электронно-структурные – по атомным орбиталям.*

По атомным орбиталям распределяют *электроны внешнего слоя* и *d-подуровня предыдущего слоя (для d-элементов)*.

*Se (+34)*

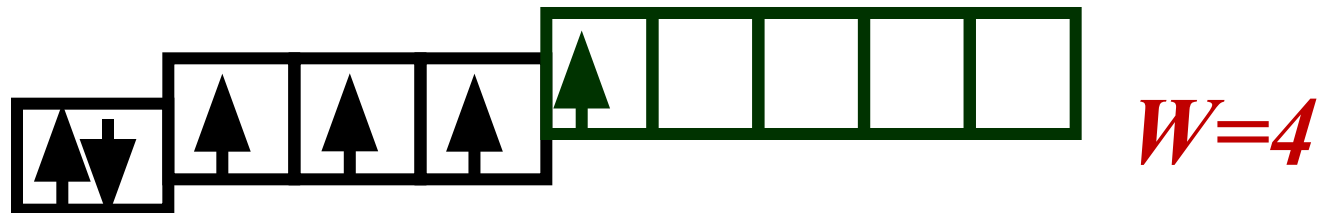
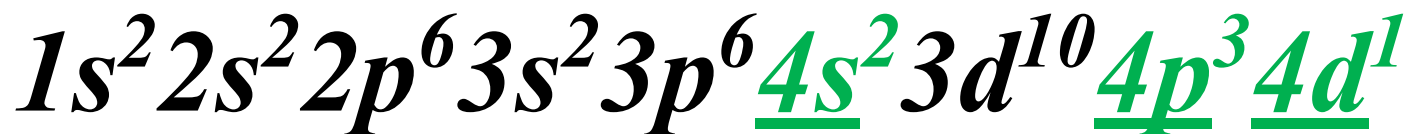


*Валентность ( $W$ ) определяется числом  
неспаренных электронов на внешнем уровне.*

*Число неспаренных электронов можно увеличить за счет дополнительной энергии и перевода атома в возбужденное состояние. Затраченная энергия компенсируется энергией которая выделяется при образовании химической связи.*

***Переходы электронов возможны только в пределах одного энергетического уровня или на подуровень ниже.***

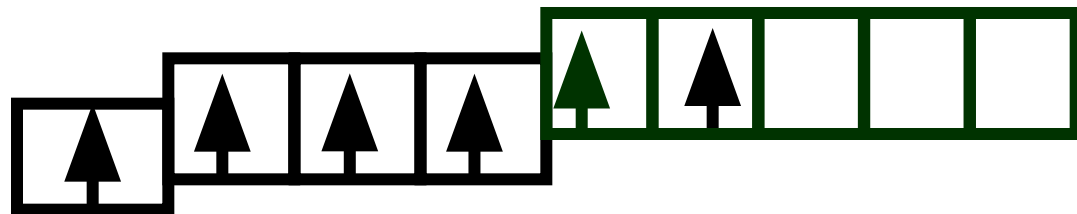
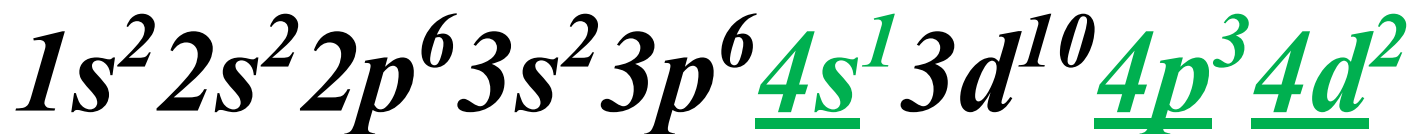
*Se*<sup>\*</sup> (+34)



*Валентные возможности*



*Se*<sup>\*\*</sup> (+34)



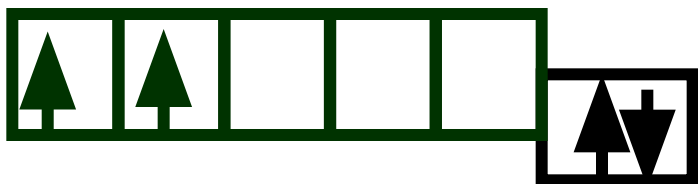
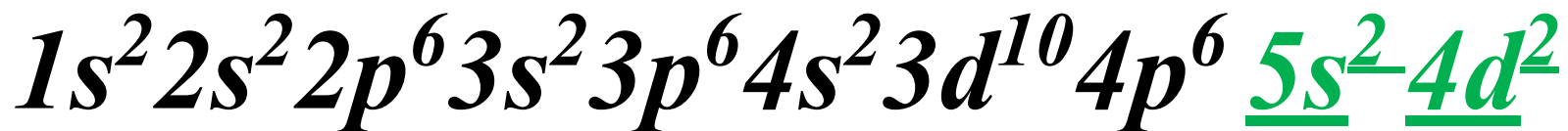
*W*=6

*4s*<sup>1</sup>

*4p*<sup>3</sup>

*4d*<sup>2</sup>

*Zr (+40)*



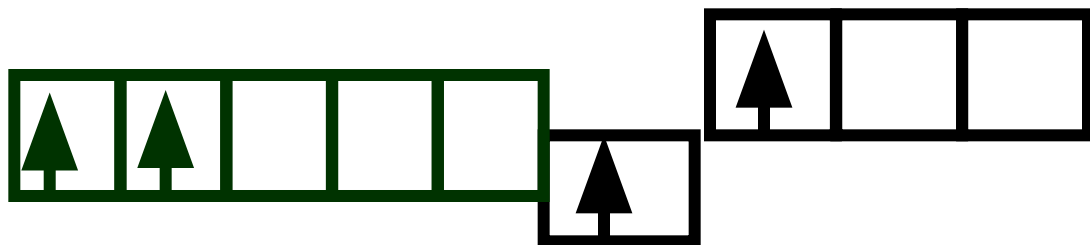
*$W=0$*

$4d^2$

$5s^2$

$Zr^{* (+40)}$

$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6$   $5s^1$   $4d^2$   $5p^1$



$W=4$

$4d^2$

$5s^1$

$5p^1$

# *Периодический закон Д.И. Менделеева (1869 г)*

- 1. И. Берцелиус (Швеция) в начале XIX века разделил все элементы на металлы и неметаллы.*
- 2. В 1829 г. И. Доберейнер (Германия) предложил сгруппировать сходные по свойствам элементы в триады:*

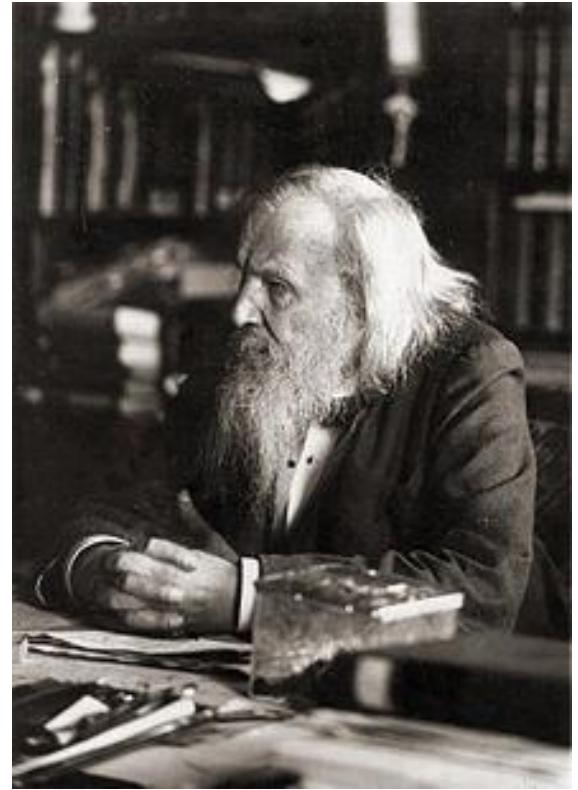
***Cl, Br, I;**    **K, Rb, Cs;**    **Ca, Sr, Ba***

3. *В 1864 г. Дж. Ньюлендс (Англия) распределил все известные элементы в ряд, в порядке возрастания атомных масс.*
4. *В 1864 г. Ю. Майер (Германия) опубликовал таблицу элементов, из которой однако не вытекала периодичность изменения свойств элементов.*

**В основе всех этих классификаций лежали случайные сходства и случайные признаки элементов, они выявляли закономерности только в рядах близких по свойствам элементов.**

*Д.И. Менделеев* в основу классификации положил атомный вес (атомную массу) элементов.

Расположив все известные тогда (63) элементы в порядке возрастания их атомных масс и с учетом их свойств, он сформулировал в 1869 г. **периодический закон:**



*Д.И. Менделеев*  
1834 г. – 1907 г.

Современная формулировка закона:

*Свойства элементов и их соединений  
находятся в периодической  
зависимости от положительного  
заряда ядра.*

# Структура периодической системы

*Система состоит из периодов и групп.*

*Период* составляют элементы, у которых заполняется электронами одинаковое число КВАНТОВЫХ СЛОЕВ.

*Номер периода* совпадает со значением ГЛАВНОГО КВАНТОВОГО ЧИСЛА ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОННОГО СЛОЯ.



| ПЕРИ<br>ОДЫ  | ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ           |                          |                           |                             |                             |                           |                          |                            |                            |                          |                                       |                          |                            |
|--|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------------|--------------------------|----------------------------|
|  | a I б                      | a II б                   | a III б                   | a IV б                      | a V б                       | a VI б                    | a VII б                  | a VIII б                   | б                          |                          |                                       |                          |                            |
| 1  | <b>H</b><br>ВОДОРОД        |                          |                           |                             |                             |                           | <b>He</b><br>ГЕЛИЙ       | <b>U</b> 92<br>УРАН        |                            |                          |                                       |                          |                            |
| 2  | <b>Li</b> 3<br>ЛИТИЙ       | <b>Be</b> 4<br>БЕРИЛЛИЙ  | <b>B</b> 5<br>БОР         | <b>C</b> 6<br>УГЛЕРОД       | <b>N</b> 7<br>АЗОТ          | <b>O</b> 8<br>КИСЛОРОД    | <b>F</b> 9<br>ФТОР       |                            |                            |                          |                                       | <b>Ne</b> 10<br>НЕОН     |                            |
| 3  | <b>Na</b> 11<br>НАТРИЙ     | <b>Mg</b> 12<br>МАГНИЙ   | <b>Al</b> 13<br>АЛЮМИНИЙ  | <b>Si</b> 14<br>КРЕМНИЙ     | <b>P</b> 15<br>ФОСФОР       | <b>S</b> 16<br>СЕРА       | <b>Cl</b> 17<br>ХЛОР     |                            |                            |                          |                                       | <b>Ar</b> 18<br>АРГОН    |                            |
| 4  | <b>K</b> 19<br>КАЛИЙ       | <b>Ca</b> 20<br>КАЛЬЦИЙ  | 21 <b>Sc</b><br>СКАНДИЙ   | 22 <b>Ti</b><br>ТИТАН       | 23 <b>V</b><br>ВАНАДИЙ      | 24 <b>Cr</b><br>ХРОМ      | 25 <b>Mn</b><br>МАРГАНЕЦ | 26 <b>Fe</b><br>ЖЕЛЕЗО     | 27 <b>Co</b><br>КОБАЛЬТ    | 28 <b>Ni</b><br>НИКЕЛЬ   |                                       |                          |                            |
|  | 29 <b>Cu</b><br>МЕДЬ       | 30 <b>Zn</b><br>ЦИНК     | 31 <b>Ga</b><br>ГАЛЛИЙ    | 32 <b>Ge</b><br>ГЕРМАНИЙ    | 33 <b>As</b><br>МЫШЬЯК      | 34 <b>Se</b><br>СЕЛЕН     | 35 <b>Br</b><br>БРОМ     | 36 <b>Kr</b><br>КРИПТОН    |                            |                          |                                       |                          |                            |
| 5  | 37 <b>Rb</b><br>РУБИДИЙ    | 38 <b>Sr</b><br>СТРОНЦИЙ | 39 <b>Y</b><br>ИТРИЙ      | 40 <b>Zr</b><br>ЦИРКОНИЙ    | 41 <b>Nb</b><br>НИОБИЙ      | 42 <b>Mo</b><br>МОЛИБДЕН  | 43 <b>Tc</b><br>ТЕХНЕЦИЙ | 44 <b>Ru</b><br>РУТЕНИЙ    | 45 <b>Rh</b><br>РОДИЙ      | 46 <b>Pd</b><br>ПАЛЛАДИЙ |                                       |                          |                            |
|  | 47 <b>Ag</b><br>СЕРЕБРО    | 48 <b>Cd</b><br>КАДМИЙ   | 49 <b>In</b><br>ИНДИЙ     | 50 <b>Sn</b><br>ОЛОВО       | 51 <b>Sb</b><br>СУРЬМА      | 52 <b>Te</b><br>ТЕЛЛУР    | 53 <b>I</b><br>ЙОД       | 54 <b>Xe</b><br>КСЕНОН     |                            |                          |                                       |                          |                            |
| 6  | 55 <b>Cs</b><br>ЦЕЗИЙ      | 56 <b>Ba</b><br>БАРИЙ    | 57 <b>La</b> *<br>ЛАНТАН  | 72 <b>Hf</b><br>ГАФИЙ       | 73 <b>Ta</b><br>ТАНТАЛ      | 74 <b>W</b><br>ВОЛЬФРАМ   | 75 <b>Re</b><br>РЕНИЙ    | 76 <b>Os</b><br>ОСМИЙ      | 77 <b>Ir</b><br>ИРИДИЙ     | 78 <b>Pt</b><br>ПЛАТИНА  |                                       |                          |                            |
|  | 79 <b>Au</b><br>ЗОЛОТО     | 80 <b>Hg</b><br>РУТУТЬ   | 81 <b>Tl</b><br>ТАЛЛИЙ    | 82 <b>Pb</b><br>СВИНЕЦ      | 83 <b>Bi</b><br>ВИСМУТ      | 84 <b>Po</b><br>ПОЛОНИЙ   | 85 <b>At</b><br>АСТАТ    | 86 <b>Rn</b><br>РАДОН      |                            |                          |                                       |                          |                            |
| 7  | 87 <b>Fr</b><br>ФРАНЦИЙ    | 88 <b>Ra</b><br>РАДИЙ    | 89 <b>Ac</b> *<br>АКТИНИЙ | 104 <b>Ku</b><br>КУРЧАТОВИЙ | 105 <b>Ns</b><br>НИЛЬСБОРИЙ | 106                       | 107                      | 108                        | 109                        | 110                      |                                       |                          |                            |
| * ЛАНТАНОИДЫ   |                            |                          |                           |                             |                             |                           |                          |                            |                            |                          |                                       |                          |                            |
| <b>Ce</b> 58<br>ЦЕРИЙ  | <b>Pr</b> 59<br>ПРАЗЕОДИМ  | <b>Nd</b> 60<br>НЕОДИМ   | <b>Pm</b> 61<br>ПРОМЕТИЙ  | <b>Sm</b> 62<br>САМАРИЙ     | <b>Eu</b> 63<br>ЕВРОПИЙ     | <b>Gd</b> 64<br>ГАДОЛИНИЙ | <b>Tb</b> 65<br>ТЕРБИЙ   | <b>Dy</b> 66<br>ДИСПРОЗИЙ  | <b>Ho</b> 67<br>ГОЛЬМИЙ    | <b>Er</b> 68<br>ЭРБИЙ    | <b>Tm</b> 69<br>ТУЛИЙ                 | <b>Yb</b> 70<br>ИТТЕРБИЙ | <b>Lu</b> 71<br>ЛЮТЕЦИЙ    |
| * АКТИНОИДЫ  |                            |                          |                           |                             |                             |                           |                          |                            |                            |                          |                                       |                          |                            |
| <b>Th</b> 90<br>ТОРИЙ  | <b>Pa</b> 91<br>ПРОАКТИНИЙ | <b>U</b> 92<br>УРАН      | <b>Np</b> 93<br>НЕПТУНИЙ  | <b>Pu</b> 94<br>ПЛУТОНИЙ    | <b>Am</b> 95<br>АМЕРИЦИЙ    | <b>Cm</b> 96<br>КУРИЙ     | <b>Bk</b> 97<br>БЕРКЛИЙ  | <b>Cf</b> 98<br>КАЛИФОРНИЙ | <b>Es</b> 99<br>ЭЙНШТЕЙНИЙ | <b>Fm</b> 100<br>ФЕРМИЙ  | <b>Md</b> 101<br>МЕНДЕЛЕВИЙ (НОБЕЛИЙ) | <b>No</b> 102<br>НОБЕЛИЙ | <b>Lr</b> 103<br>ЛОУРЕНСИЙ |
| <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: red; margin-right: 5px;"></span> - s-элементы <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; margin-left: 20px; margin-right: 5px;"></span> - p-элементы <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: purple; margin-left: 20px; margin-right: 5px;"></span> - d-элементы <span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: green; margin-left: 20px; margin-right: 5px;"></span> - f-элементы |                            |                          |                           |                             |                             |                           |                          |                            |                            |                          |                                       |                          |                            |

*Группы* составляют элементы, имеющие одинаковое число валентных электронов.

**s** и **p** –элементы помещены в группы по числу электронов во внешнем энергетическом уровне.

**d**–элементы помещают в группы по сумме s-электронов внешнего слоя и d-электронов предшествующего слоя.

Все **f** –элементы являются элементами 3 группы, образуют 2 семейства из 14 сходных по свойствам элементов (*лантаноиды, актиноиды*).

Элементы каждой группы подразделяются на подгруппы: *главную и побочную.*

*Подгруппа – это вертикальный ряд элементов, имеющих одинаковое электронное строение и являющихся электронными аналогами.*

*s и p –элементы составляют главную подгруппу (A);*

*d–элементы – побочную (B).*

Главную подгруппу 8 группы составляют инертные (благородные) газы: **He, Ne, Ar, Kr, Xe, Rn**, имеющие строение внешнего электронного слоя  $ns^2np^6$ .

## Свойства свободных атомов

Зависимость атомных радиусов от заряда ядра имеет периодический характер.

*В пределах одного периода с увеличением заряда размеры атомов уменьшаются.* Это связано с увеличением притяжения электронов внешнего слоя к ядру по мере возрастания его заряда.

*При переходе к следующему периоду, радиусы атомов увеличиваются.*

*В пределах подгруппы с возрастанием заряда ядра размеры атомов **увеличиваются** (в группах радиус возрастает сверху вниз).*

Способность атомов легко отдавать внешние электроны и превращаться в «+» - заряженные ионы является наиболее характерным *химическим свойством металлов*.

Для отрыва электрона от нейтрального атома необходимо затратить некоторую энергию, которая называется *энергией ионизации* ( $E_I$ , эВ).

*В периодах* энергия ионизации *возрастает* слева направо, что вызвано сжатием электронных оболочек атома вследствие увеличения заряда ядра.

*В группах* сверху вниз энергия ионизации *уменьшается* вследствие увеличения радиуса атома и экранирующего действия электронов.



*Неметаллы* наоборот характеризуются способностью присоединять электроны с образованием «-»-заряженных ионов.

*Энергия, которая выделяется при присоединении электрона к атому, называется энергией сродства к электрону ( $E_{sp}$ , эВ).*

*У атомов неметаллов сродство к электрону всегда «+» и тем больше, чем ближе к инертному газу расположен элемент.*

*В периодах энергия сродства к электрону **возрастает** слева направо, **в группах** – **уменьшается** сверху вниз.*