

# *Лекция*

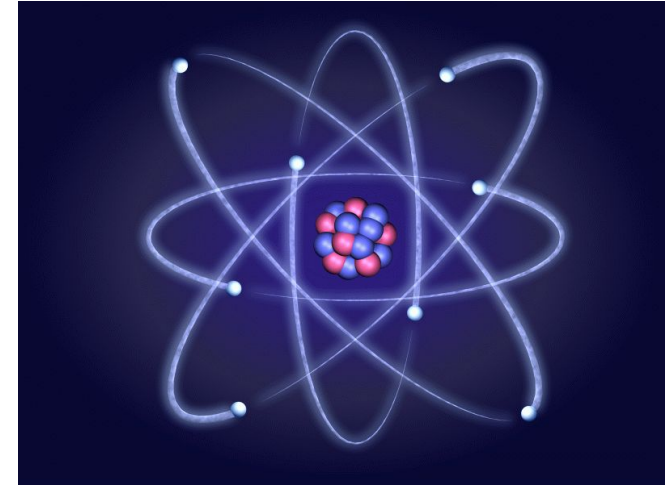
## *Строение атома*

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  $m$* .

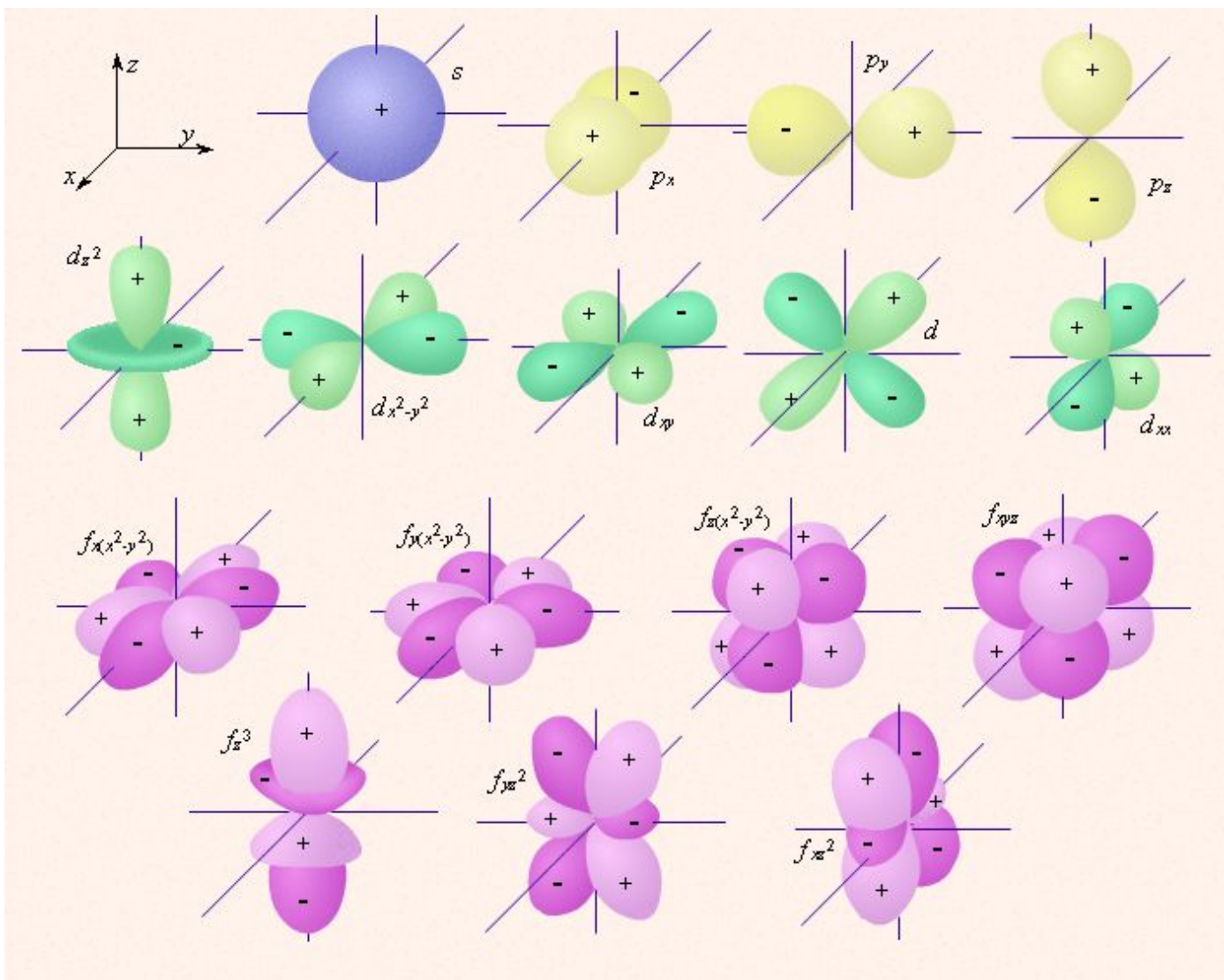
Принимает целочисленные значения:

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

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.**

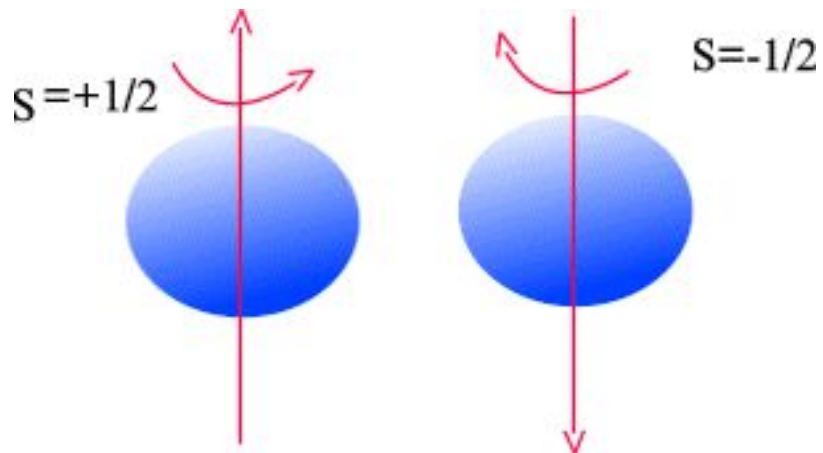
| Орбитальное<br>квантовое<br>число ( $l$ ) | Магнитное квантовое<br>число ( $m$ ) | <i>Число<br/>орбиталей с<br/>данным<br/>значением <math>l</math></i> |
|-------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|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



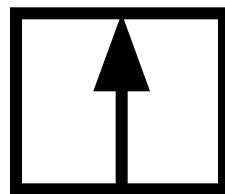
## Спиновое квантовое число ( $s$ )

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

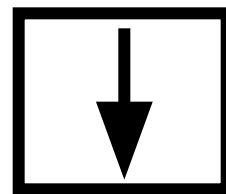
*Принимает значения:*  $s = +\frac{1}{2}; -\frac{1}{2}$



*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

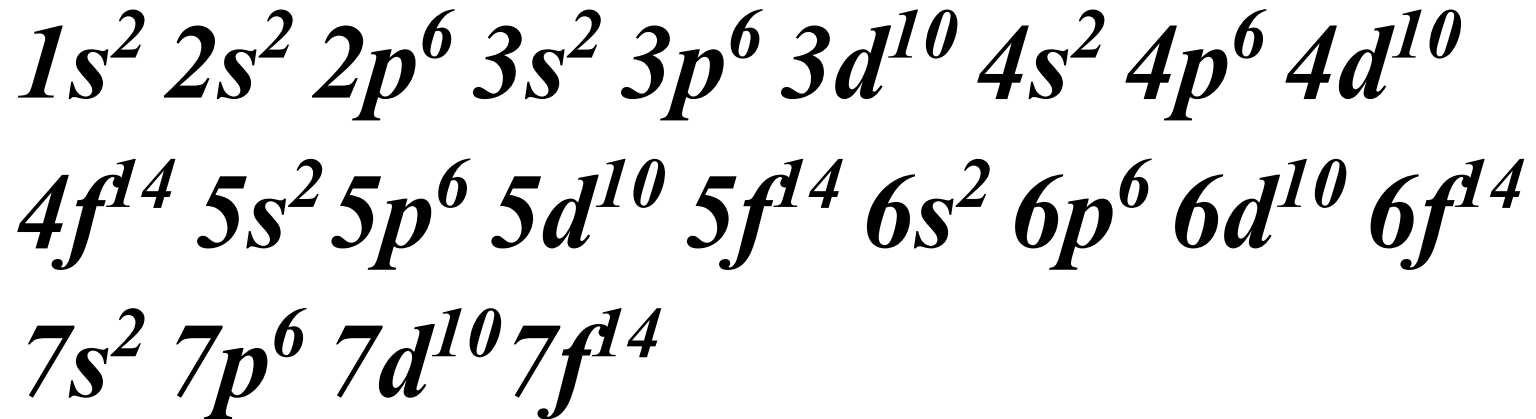


*Фридрих ХУНД*  
*(1891 - 1974)*

$$p^3 \quad \begin{array}{|c|c|c|} \hline \uparrow & \uparrow & \uparrow \\ \hline \end{array} \quad \sum s = 1,5$$

~~$$p^3 \quad \begin{array}{|c|c|c|} \hline \uparrow \downarrow & \uparrow & \\ \hline \end{array} \quad \sum s = \frac{1}{2}$$~~

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

$6p^6$

$6d^{10}$

$6f^{14}$

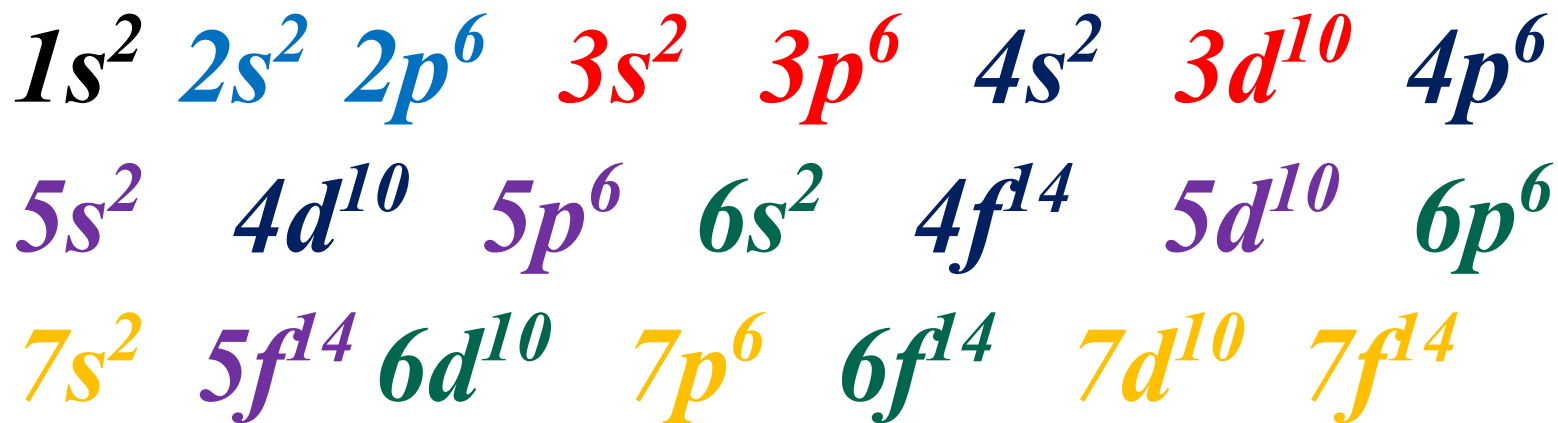
$7s^2$

$7p^6$

$7d^{10}$

$7f^{14}$

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



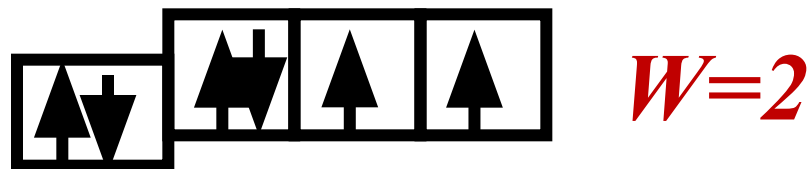
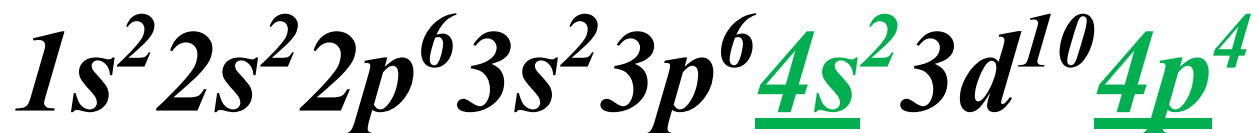
# Электронные и электронно-структурные (графические) формулы

*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)*



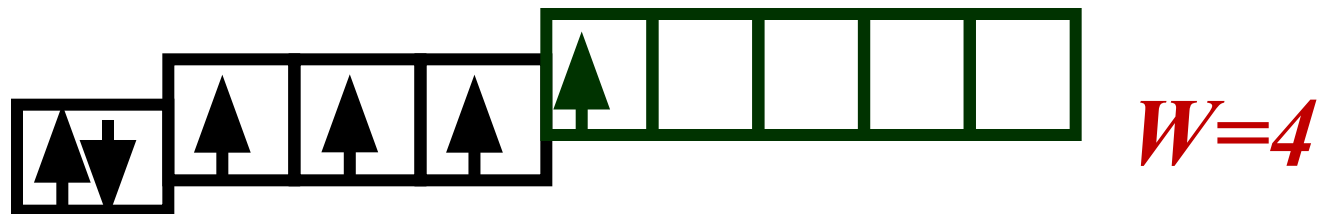
*Валентность ( $W$ ) определяется числом  
неспаренных электронов на внешнем уровне.*

*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)

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

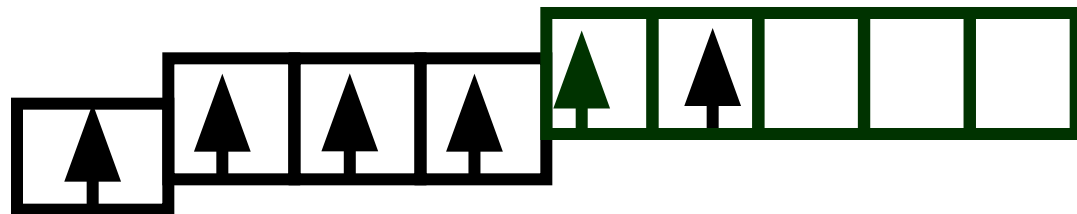


$4s^2$        $4p^3$        $4d^1$

*Валентные возможности*

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

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



*W*=6

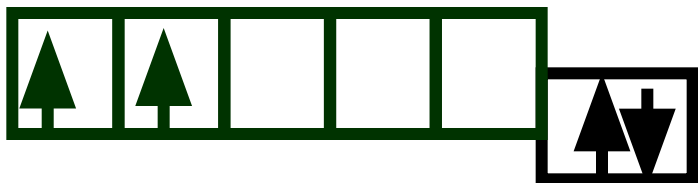
*4s*<sup>1</sup>

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

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

*Zr (+40)*

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



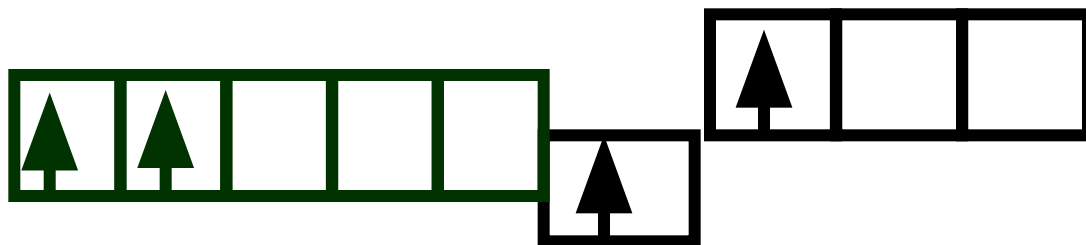
*$W=0$*

$4d^2$

$5s^2$

***Zr<sup>+</sup> (+40)***

***1s<sup>2</sup> 2s<sup>2</sup> 2p<sup>6</sup> 3s<sup>2</sup> 3p<sup>6</sup> 4s<sup>2</sup> 3d<sup>10</sup> 4p<sup>6</sup> 5s<sup>1</sup> 4d<sup>2</sup> 5p<sup>1</sup>***



***W=4***

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

***5s<sup>1</sup>***

***5p<sup>1</sup>***

# *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:*

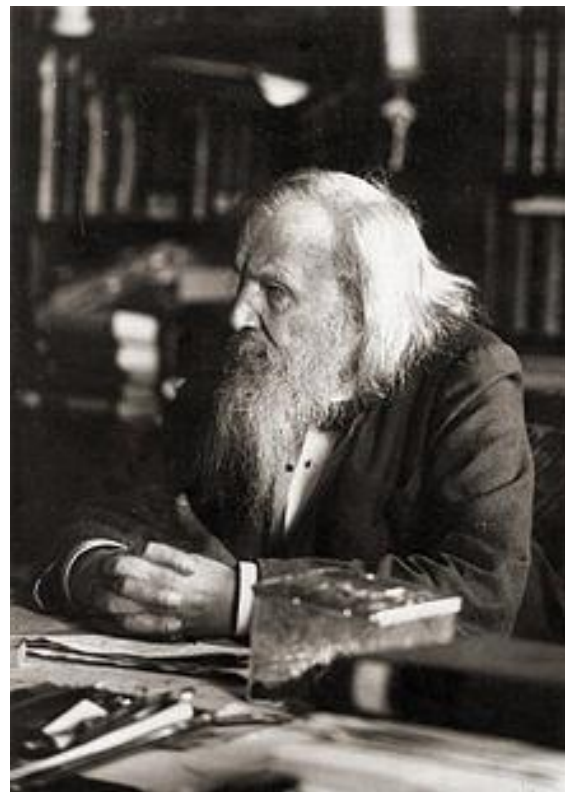
*Cl, Br, I;    K, Rb, Cs;    Ca, Sr, Ba*

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

*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 однотипное 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 ( $E_{\text{ср}}$ , 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.*