

# ОБЩАЯ ХИМИЯ



化学

The Chinese characters for chemistry mean “The study of change.”

**Васильева**  
**Татьяна Михайловна**

**д.т.н.**

**профессор департамента химии МФТИ**  
**[tmvasilieva@gmail.com](mailto:tmvasilieva@gmail.com)**

**Лекции: среда 9<sup>00</sup> БХим**

**Лабораторные занятия: см. расписание**

БЕСПОЛЕЗНЫ ТОМУ ОЧИ, КТО ЖЕЛАЕТЬ  
ВИДѢТЬ ВНУТРЕННОСТЬ ВЕЩИ, ЛИШАЯСЯ  
РУКЪ КЪ ОТВЕРСШЮ ОНОЙ. БЕСПОЛЕЗНЫ ТО-  
МУ РУКИ КТО КЪ РАССМОТРЕНІЮ ОТКРЫ-  
ТЫХЪ ВЕЩЕЙ ОЧЕЙ НЕ ИМѢЕТЬ. ХИМИЯ  
РУКАМИ, МАТЕМАТИКА ОЧАМИ ФИЗИ-  
ЧЕСКИМИ ПО СПРАВЕДЛИВОСТИ НАЗВАТЬ-  
СЯ МОЖЕТЬ. *М. Ломоносовъ, Слова о пользѣ наукъ.*

## План лекционных занятий

СТРОЕНИЕ ВЕЩЕСТВА



ФИЗИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

Объясняет химические явления и устанавливает их закономерности на основе общих принципов физики

## СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАЗДЕЛЫ:

Химия в современной океанологии;  
Химические проблемы переработки углеводородного сырья;  
**Химические проблемы современных аэрокосмических технологий;**  
Химические основы создания новых функциональных материалов;  
Химия экстремальных состояний вещества

# Литература

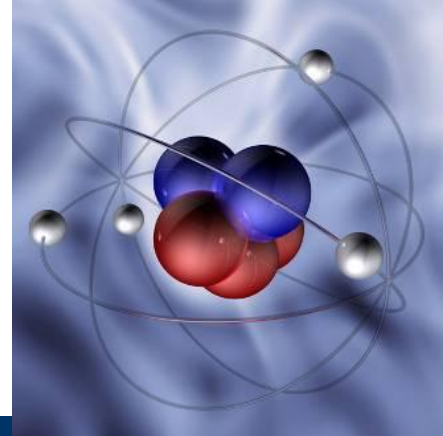
- 1) **Н.С. Ахметов** **Общая и неорганическая химия. М.: Высш. шк., 2009**
- 2) **Практический курс общей химии. М.: МФТИ, 2011**
- 3) **В.В. Вольхин** **Общая химия. Основной курс. СПб.: Издательство «Лань», 2008**
- 4) **Н.Л. Глинка** **Задачи и упражнения по общей химии. М.: КНОРУС, 2011**
- 5) **R. Chang** **Physical Chemistry for the Biosciences. University Science Books, 2005**

# **Строение атома Периодичность свойств элементов и их соединений**

## **Лекция 1**



# 化学

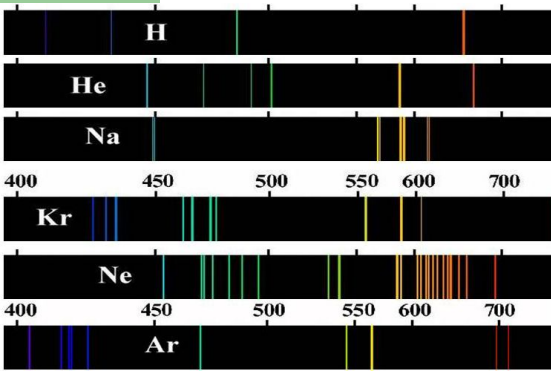
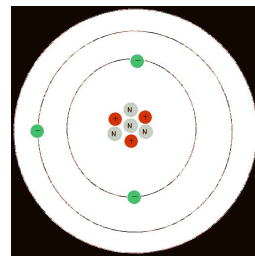


The Chinese characters for chemistry mean “The study of change.”

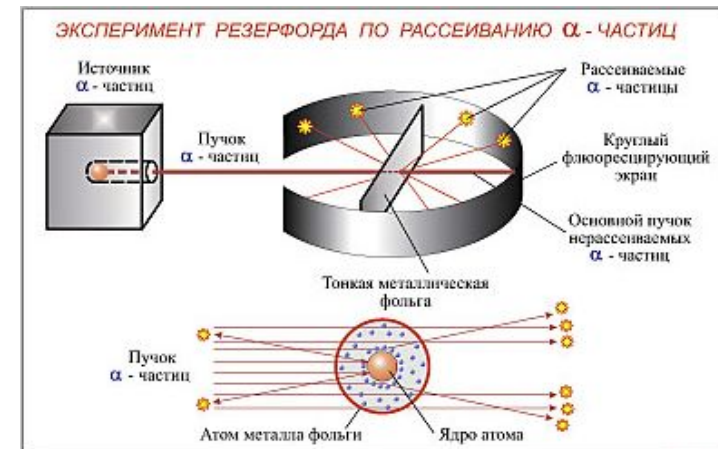
- До каких пор можно делить порцию вещества?
- Вещество можно делить лишь до тех пор, пока не будут получены его наименьшие частицы. - Так утверждал греческий философ Демокрит за 400 лет до н.э. Он назвал эти частицы **атомами** (неделимый).

# Косвенные свидетельства сложности строения атомов

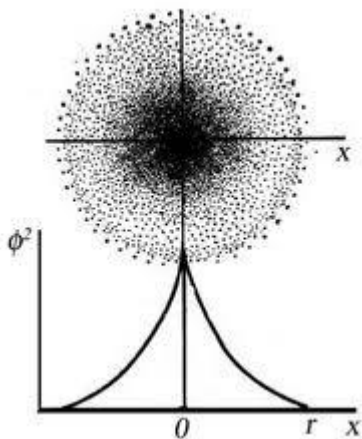
- Фотоэффект ( А.Г. Столетов, 1889 г.)
- Открытие рентгеновского излучения (В.К. Рентген, 1895 г.)
- Открытие электрона (Дж. Дж. Томсон, 1897 г.)
- Естественная радиоактивность (А. Беккерель, 1896 г.) – урановая смоляная руда: засвечивание фотопленки, ионизация газов, свечение флуоресцирующих веществ
- Радиоактивность (М. Кюри, 1896-1898 гг.) – Po и Ra в составе урановых руд
- Эксперименты Э. Резерфорда по рассеиванию  $\alpha$ -частиц (1911 г.)



**Вывод:**  $\alpha$ -частицы сталкиваются с другими положительно заряженными частицами большой массы (атомное ядро)



# Уравнение Шредингера (1925 г.)



$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m} \left( \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} \right) + U\psi = E\psi$$

$$\text{или} \quad -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla^2 \psi + U\psi = E\psi$$

1. Электрон в атоме можно рассматривать как частицу, которая при движении проявляет волновые свойства. Т.е. нельзя описать движение электрона в атоме определенной траекторией (орбитой).
2. Электрон в атоме может находиться в любой точке пространства вокруг ядра, однако вероятность его пребывания в разных местах атомного пространства различна.

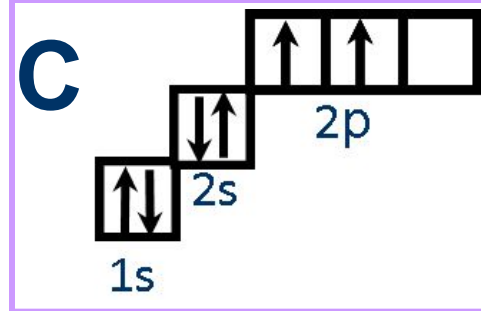
**Атомная орбиталь (АО)** – граничная поверхность, внутри которой **вероятность** нахождения электрона составляет не менее 90 - 95%.




# Следствия теории квантовой механики

Важным следствием теории квантовой механики является то, что вся совокупность сложных движений электрона в атоме описывается четырьмя квантовыми числами

Характеристика энергии электрона и пространственное распределение вероятности нахождения его в атоме системой **квантовых чисел**

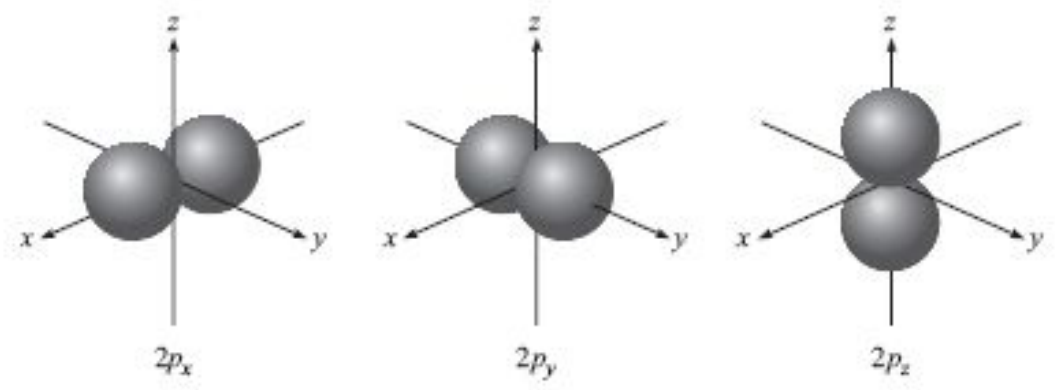
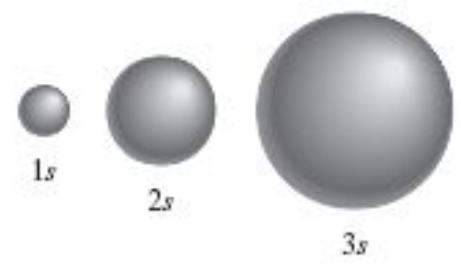


# Квантовые числа: резюме

Квантовое число	Принимаемые значения	Характеризуемое свойство	Примечание
Главное ( $n$ ) Номер периода	1, 2, 3, ..., $\infty$	Энергия ( $E$ ) уровня. Среднее расстояние ( $r$ ) от ядра	$n = \infty$ — отсутствие взаимодействия с ядром, $E = 0$
Орбитальное ( $l$ )	0, 1, ..., ( $n - 1$ ) всего $n$ значение для данного $n$	Орбитальный момент количества движения — форма орбитали <i>См. слайд 11</i>	Обычно используют буквенные символы: $l: 0 \ 1 \ 2 \ 3 \ 4$ $s \ p \ d \ f \ g$
Магнитное ( $m_l$ )	$-l, \dots, 0, \dots, l$ всего $2l + 1$ значение для данного $l$	Ориентация момента количества движения — расположение орбитали в пространстве <i>См. слайд 11</i>	При помещении в магнитное поле орбитали с различными $m_l$ имеют разную энергию
Спиновое ( $m_s$ )	$\pm 1/2$ не зависит от свойств орбитали	Ориентация собственного магнитного момента	Обозначают $\uparrow$ или $\downarrow$  $1s$

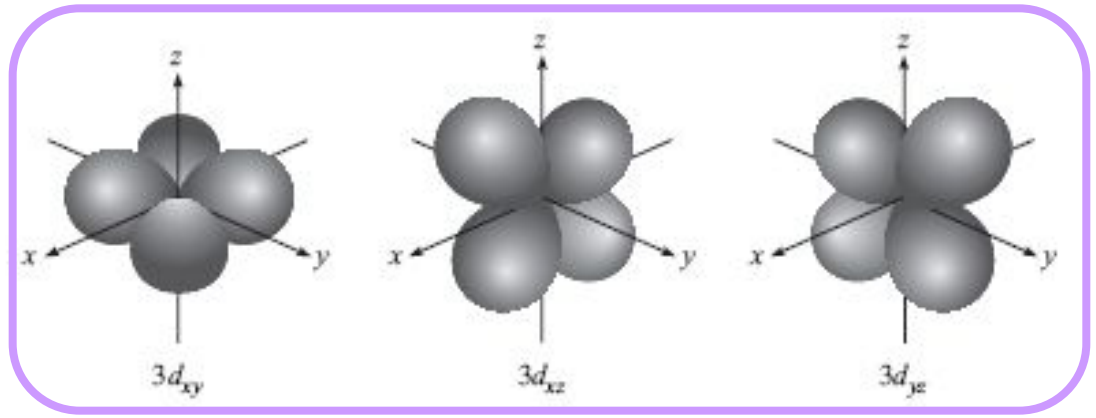
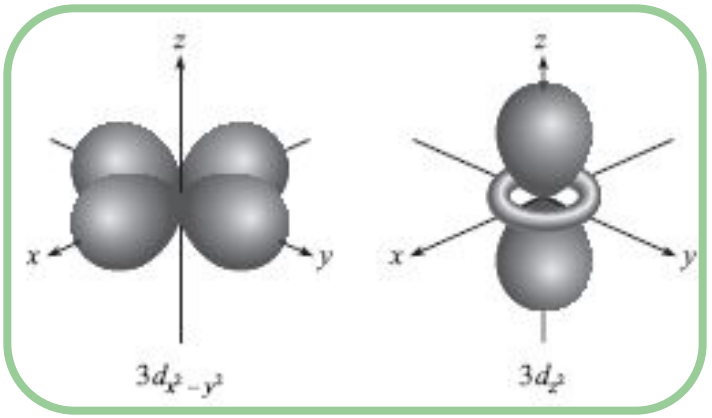
# Формы электронных облаков s-, p- и d-орбиталей

у s-подуровня – одна АО  
 у p-подуровня – три АО  
 у d-подуровня – пять АО  
 у f-подуровня – семь АО



осевые

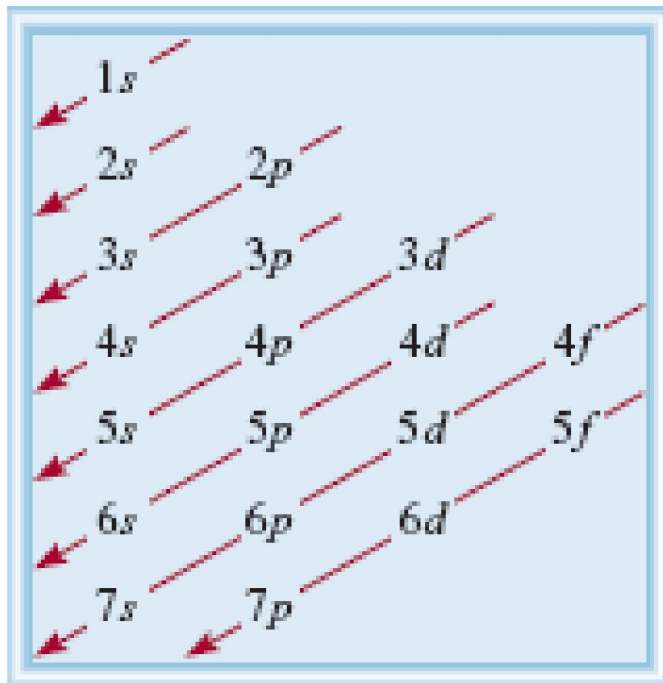
биссектрисные



# Закономерности формирования электронных структур (см. также слайд 13)

- **Принцип наименьшей энергии:** электрон размещается на АО с  $\min$  энергией
- **Принцип Паули:** в атоме не может быть двух электронов с одинаковым набором 4-х кв.чисел
- **Правило Гунда:** на одном подуровне сумма спинов электронов максимальна
- **Правило Клечковского:**
  - С ростом атомного номера элемента электроны размещаются последовательно на орбиталях, характеризующихся возрастанием суммы главного и орбитального квантовых чисел -  $(n+l)$
  - При одинаковых значениях этой суммы раньше заполняется орбиталь с меньшим значением  $n$

# Закономерности формирования электронных структур (продолжение)



$p^6$

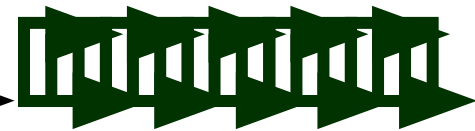
$d^{10}$

$f^{14}$

$p^3$

$d^5$

$f^7$



Наиболее устойчивые электронные конфигурации

## Примеры построения электронных конфигураций атомов

Элемент	Электронная конфигурация	Применяемые правила
${}^2\text{He}$	$1s^2$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Принцип наименьшей энергии</li> <li>2. Принцип Паули</li> </ol>
${}^3\text{Li}$	$1s^2 2s^1$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Принцип наименьшей энергии</li> <li>2. Принцип Паули</li> </ol>
${}^7\text{N}$	$  \begin{array}{ccc}  \uparrow & \uparrow & \uparrow \\  \downarrow & \uparrow & \\  \end{array}  \begin{array}{l}  (2p) \\  (2s)  \end{array}  $ $1s^2 2s^2 2p^3$	Правило Хунда: на $2p$ -орбиталях расположены три электрона с одинаковыми спиновыми квантовыми числами
${}_{19}\text{K}$	$1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$	Принцип наименьшей энергии: $E_{4s} < E_{3d}$
${}_{24}\text{Cr}$	$  \begin{array}{ccccc}  & & & & \uparrow \\  \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow & \uparrow \\  \end{array}  \begin{array}{l}  (4s) \\  (3d)  \end{array}  $ $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Правило Хунда</li> <li>2. «Проскок» электрона — переход одного <math>s</math>-электрона на <math>d</math>-орбиталь, так как симметричные конфигурации <math>d^5</math> и <math>d^{10}</math> очень устойчивы</li> </ol>
${}_{57}\text{La}$	$[\text{Xe}] 5d^1 6s^2$	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Указываются только валентные электроны, конфигурация внутренних электронов обозначается символом соответствующего инертного газа</li> <li>2. «Аномалия» (<math>5d^1</math>, а не <math>4f^1</math>) связана с близостью по энергии <math>(n-1)</math> <math>d</math>- и <math>(n-2)</math> <math>f</math>-орбиталей</li> </ol>

		Main-Group Elements												Main-Group Elements						
		1A	2A	Transition Elements										3A	4A	5A	6A	7A	8A	
1	1	H 1																		2 He 2
2	3	Li 2,1	4 Be 2,2											5 B 2,3	6 C 2,4	7 N 2,5	8 O 2,6	9 F 2,7	10 Ne 2,8	
3	11	Na 2,8,1	12 Mg 2,8,2	3B	4B	5B	6B	7B	8B		1B	2B	13 Al 2,8,3	14 Si 2,8,4	15 P 2,8,5	16 S 2,8,6	17 Cl 2,8,7	18 Ar 2,8,8		
4	19	K 2,8,8,1	20 Ca 2,8,8,2	21 Sc 2,8,9,2	22 Ti 2,8,10,2	23 V 2,8,11,2	24 Cr 2,8,13,1	25 Mn 2,8,13,2	26 Fe 2,8,14,2	27 Co 2,8,15,2	28 Ni 2,8,16,2	29 Cu 2,8,18,1	30 Zn 2,8,18,2	31 Ga 2,8,18,3	32 Ge 2,8,18,4	33 As 2,8,18,5	34 Se 2,8,18,6	35 Br 2,8,18,7	36 Kr 2,8,18,8	
5	37	Rb [2,8,18] 8,1	38 Sr [2,8,18] 8,2	39 Y [2,8,18] 9,2	40 Zr [2,8,18] 10,2	41 Nb [2,8,18] 12,1	42 Mo [2,8,18] 13,1	43 Tc [2,8,18] 14,1	44 Ru [2,8,18] 15,1	45 Rh [2,8,18] 16,1	46 Pd [2,8,18] 18,0	47 Ag [2,8,18] 18,1	48 Cd [2,8,18] 18,2	49 In [2,8,18] 18,3	50 Sn [2,8,18] 18,4	51 Sb [2,8,18] 18,5	52 Te [2,8,18] 18,6	53 I [2,8,18] 18,7	54 Xe [2,8,18] 18,8	
6	55	Cs [2,8,18] 18,8,1	56 Ba [2,8,18] 18,8,2	71 Lu [2,8,18] 32,9,2	72 Hf [2,8,18] 32,10,2	73 Ta [2,8,18] 32,11,2	74 W [2,8,18] 32,12,2	75 Re [2,8,18] 32,13,2	76 Os [2,8,18] 32,14,2	77 Ir [2,8,18] 32,15,2	78 Pt [2,8,18] 32,17,1	79 Au [2,8,18] 32,18,1	80 Hg [2,8,18] 32,18,2	81 Tl [2,8,18] 32,18,3	82 Pb [2,8,18] 32,18,4	83 Bi [2,8,18] 32,18,5	84 Po [2,8,18]	85 At [2,8,18]	86 Rn [2,8,18] 32,18,8	
7	87	Fr [2,8,18] 32,18,8,1	88 Ra [2,8,18] 32,18,8,2	103 Lr [2,8,18] 32,32,9,2	104 Rf [2,8,18] 32,32,10,2	105 Ha [2,8,18] 32,32,11,2	106 Sg [2,8,18] 32,32,12,2	107 Ns [2,8,18] 32,32,13,2	108 Hs [2,8,18] 32,32,14,2	109 Mt [2,8,18] 32,32,15,2	110 Hs [2,8,18] 32,32,16,2	111 Mt [2,8,18] 32,32,17,2	112							
				Inner Transition Elements																
6	Lanthanides	57 La [2,8,18] 18,9,2	58 Ce [2,8,18] 20,8,2	59 Pr [2,8,18] 21,8,2	60 Nd [2,8,18] 22,8,2	61 P [2,8,18] 23,8,2	62 Sm [2,8,18] 24,8,2	63 Eu [2,8,18] 25,8,2	64 Gd [2,8,18] 25,9,2	65 Tb [2,8,18] 27,8,2	66 Dy [2,8,18] 28,8,2	67 Ho [2,8,18] 29,8,2	68 Er [2,8,18] 30,8,2	69 Tm [2,8,18] 31,8,2	70 Yb [2,8,18] 32,8,2					
7	Actinides	89 Ac [2,8,18] 32,18,9,2	90 Th [2,8,18] 32,18,10,2	91 Pa [2,8,18] 32,20,9,2	92 U [2,8,18] 32,21,9,2	93 Np [2,8,18] 32,22,9,2	94 Pu [2,8,18] 32,24,8,2	95 Am [2,8,18] 32,25,8,2	96 Cm [2,8,18] 32,25,9,2	97 Bk [2,8,18] 32,26,9,2	98 Cf [2,8,18] 32,28,8,2	99 Es [2,8,18] 32,29,8,2	100 Fm [2,8,18] 32,30,8,2	101 Md [2,8,18] 32,31,8,2	102 No [2,8,18] 32,32,8,2					

- Metals (main group)
- Metals (transition)
- Metals (inner transition)
- Non metals
- Metalloids

**Z – атомный номер (число протонов)**

**A – относительная атомная масса (число протонов + число нейтронов)**



**Z – атомный номер (число протонов)**


**A – относительная атомная масса (число протонов + число нейтронов)**

Частица	Символ	Масса в а.е.м.	Относительная масса	Относительный заряд
Протон	${}^1_1p$	1.0073	1	+1
Нейтрон	${}^1_0n$	1.0087	1.0014	0
Электрон	$e^-$	0.00055	0.00054	-1



# Пери

Periodic Table  
of the Elements



1	IA																18	0
2	Li	IA														Ne		
3	Na	Mg	III	IV	V	VI	VII	VIII				IX	X	Ar				
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	*La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	*Ac	Rf	Ha	Hg	Ns	Ho	Mt	110	111	112	113					

\* Lanthanide Series

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	

+ Actinide Series

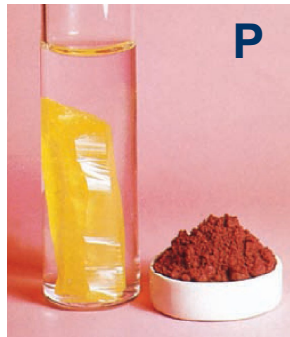
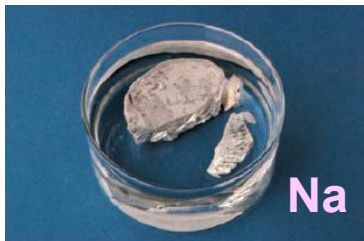
88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr		

Series

Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
----	----	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

# Периодичность физических свойств элементов

3-ий период



VA Группа



# Периодический закон

**Свойства химических элементов, а также формы и свойства их соединений находятся в периодической зависимости от величины заряда атомных ядер ( $Z$ ) в результате периодического повторения электронных конфигураций внешнего энергетического уровня**

# Периодически меняющиеся свойства атомов

- атомные и ионные радиусы
- энергия ионизации
- сродство к электрону
- электроотрицательность

# Радиусы химических элементов

Chemical symbol — K 138 — Ionic radius  
Charge — 1+ — Relative size

Period	1A		2A		3A		4A		5A		6A		7A	
	Element	Atomic mass	Element	Atomic mass	Element	Atomic mass	Element	Atomic mass	Element	Atomic mass	Element	Atomic mass	Element	Atomic mass
2	Li 76		Be 31		B 20		C 15		N 146		O 140		F 133	
3	Na 102		Mg 72		Al 54		Si 41		P 212		S 184		Cl 181	
4	K 138		Ca 100		Ga 62		Ge 72		As 222		Se 188		Br 185	
5	Rb 152		Sr 118		In 81		Sn 119		Sb 228		Te 187		I 187	
6	Cs 167		Ba 135		Tl 95		Pb 207		Po 209		At 210			

Таблица 7.5. Общая характеристика элементов VIIБ-группы

Период	Элемент Э	Молярная масса $M$ , г/моль	Конфигурация валентных электронов	Орбитальный радиус $r_{ор}$ , пм	Энергия ионизации $E_{и}$ , кДж/моль ( $M^{0+} \rightarrow M^+$ )	Электроотрицательность	Плотность г/см <sup>3</sup>	$T_{пл}$ , К
4	<sub>25</sub> Mn	54,93	$3d^5 4s^2$	128	715	1,55	7,44	1518
5	<sub>43</sub> Tc	99,00	$4d^5 5s^2$	139	699	1,9	11,49	2478
6	<sub>75</sub> Re	186,2	$5d^5 6s^2$	131	761	1,9	21,04	3463

# Энергия ионизации

Энергия ионизации – это энергия, необходимая для отрыва электрона от атома и превращение атома в положительно заряженный ион



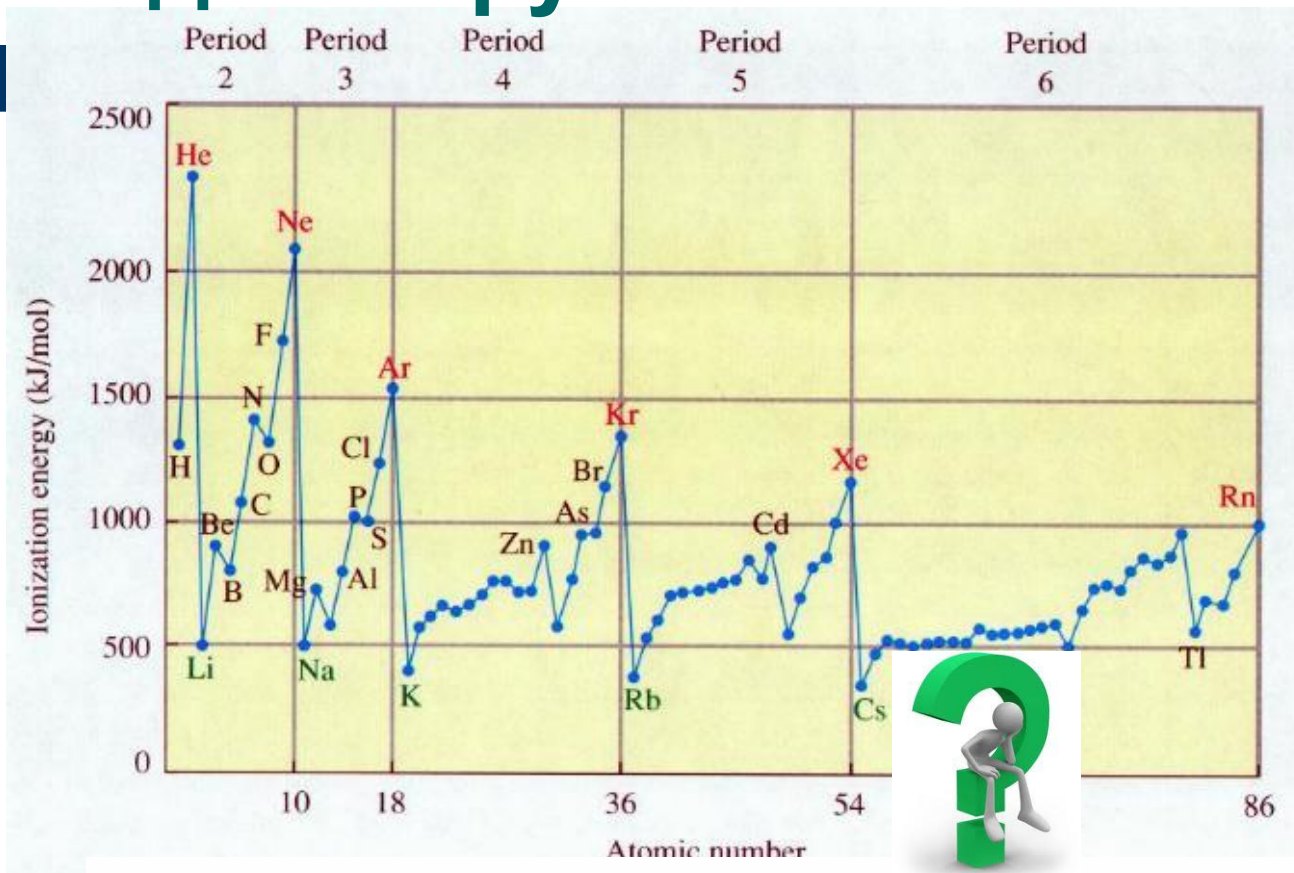
Ионизационный потенциал – это разность потенциалов, при которой происходит ионизация

$$I_1 < I_2 < I_3 < \dots < I_n$$

Восстановительные  
свойства



# Изменение энергии ионизации в периодах и группах



	Li	Be	B	C	N	O	F
ЭИ, эВ	5,4	9,3	8,3	11,3	14,5	13,6	17,4

# Сродство к электрону

Сродство к электрону - это энергия, выделяющаяся при захвате электрона нейтральным атомом

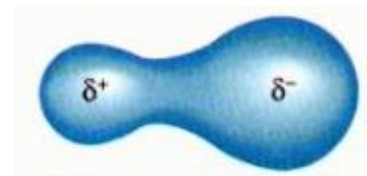




# Электроотрицательность

**Электроотрицательность** - свойство атома притягивать электроны от других атомов, с которыми он образует химическую связь в соединениях

**ЭО по Малликкену:** 
$$\chi = \frac{1}{2} (E_{\text{ион}} + E_{\text{ср}})$$



$$\chi_{\text{Li}} = \frac{1}{2} (500+60) = 280 \text{ кДж/моль}$$

$$\chi_{\text{F}} = \frac{1}{2} (1700+310) = 1005 \text{ кДж/моль}$$

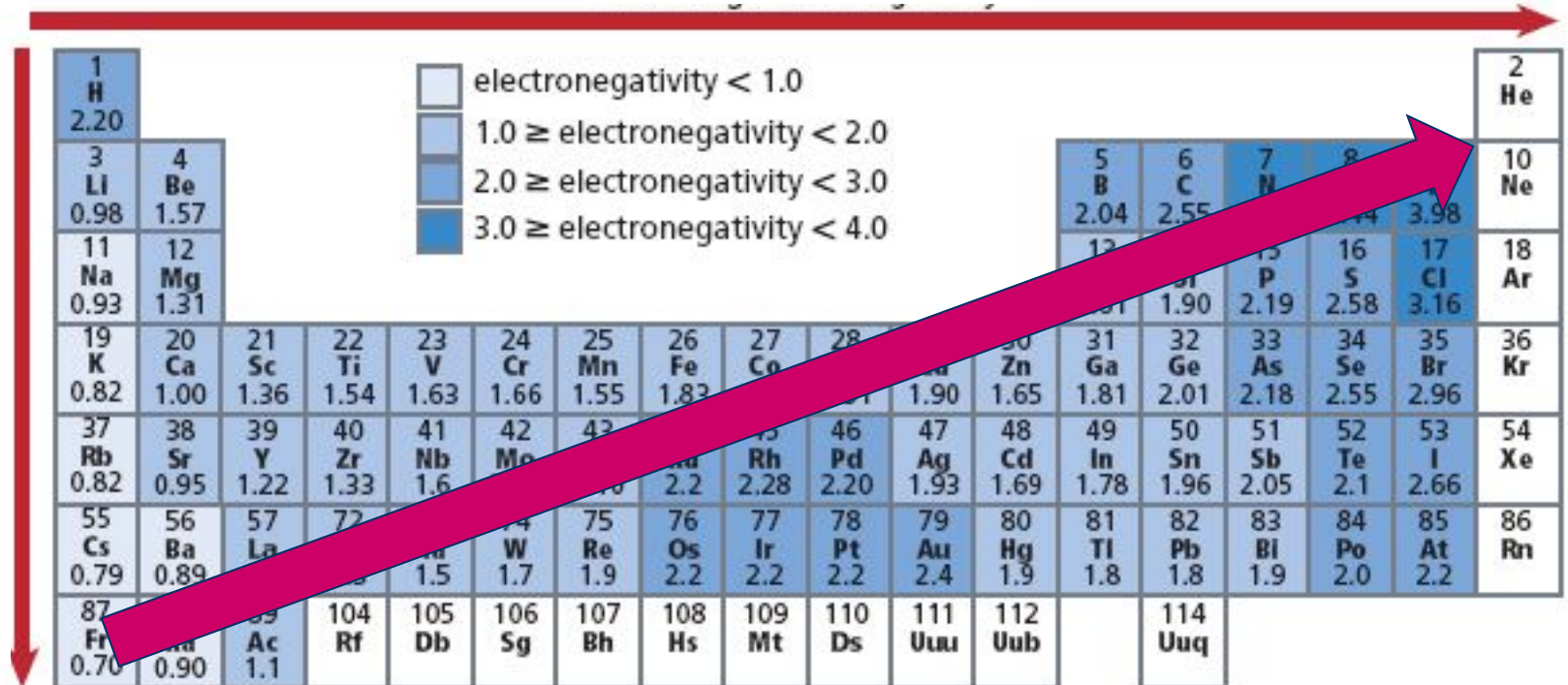
**ОЭО по Полингу:**

По Полингу  $\chi_{\text{Li}}$  условно принята за 1, тогда  $\chi_{\text{F}} = 1005 / 280 = 3,6$ .  
Т.о. получается безразмерная величина - **относительная электроотрицательность (ОЭО)**

# Изменение ОЭО в периодах и группах

Увеличение ОЭО

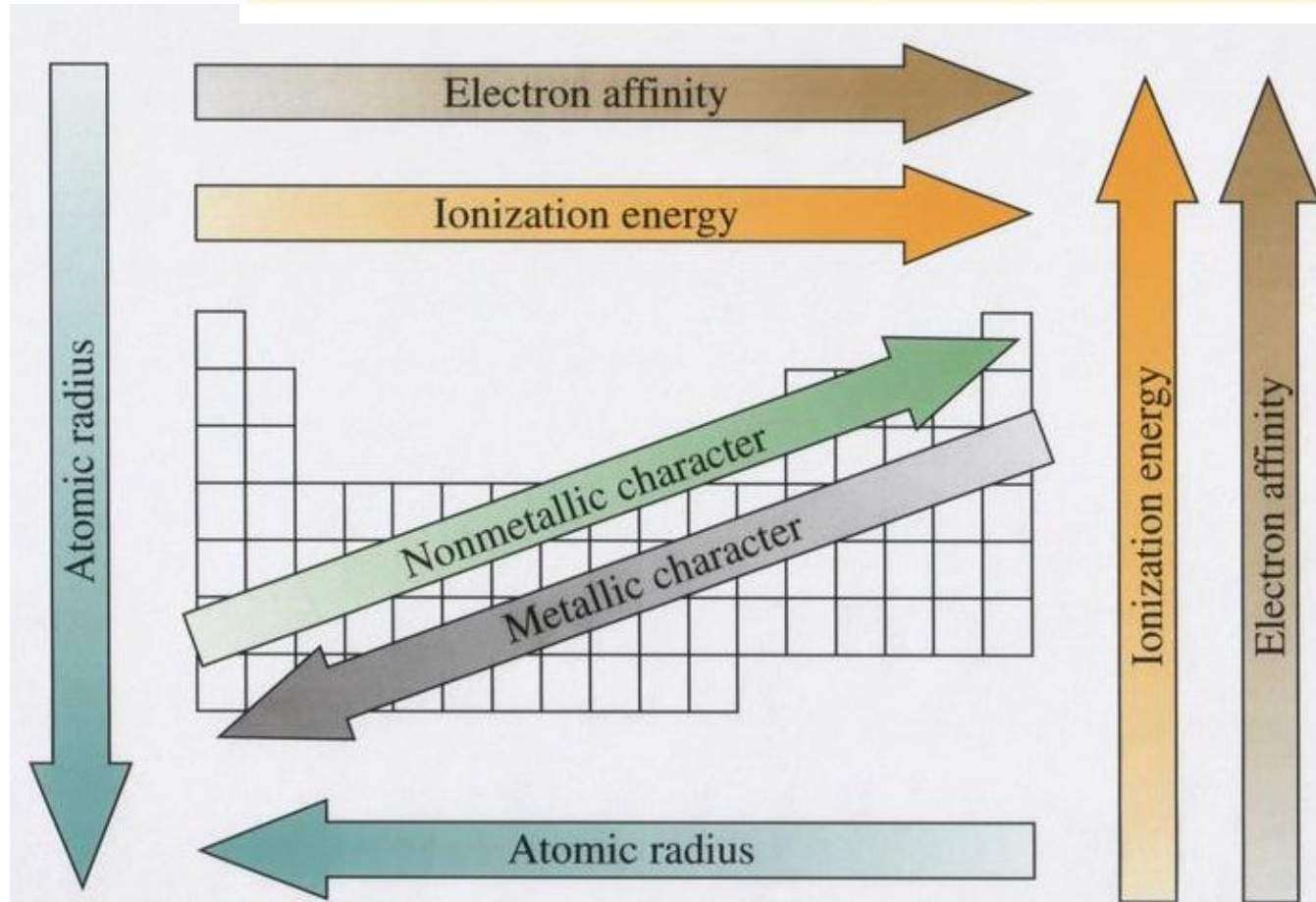
Уменьшение ОЭО



# Резюме

**Table 8.4** Some Properties of Oxides of the Third-Period Elements




	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl <sub>2</sub> O <sub>7</sub>
Type of compound	←----- Ionic ----->			←----- Molecular ----->			
Structure	←----- Extensive three-dimensional ----->				←----- Discrete molecular units ----->		
Melting point (°C)	1275	2800	2045	1610	580	16.8	-91.5
Boiling point (°C)	?	3600	2980	2230	?	44.8	82
Acid-base nature	Basic	Basic	Amphoteric	←----- Acidic ----->			



# Степень окисления

**Степень окисления** – это условный заряд атома в соединении, вычисленный из предположения, что соединение состоит только из ионов

Степени окисления могут быть:

-  отрицательными (атомы принимают электроны от других атомов)
-  положительными (атомы отдают свои электроны другим атомам)
-  иметь нулевое значение (степень окисления атома, входящего в состав простого вещества)

# Степени окисления ЭЛЕМЕНТОВ

Наиболее характерные степени окисления выделены красным

1 1A												13 3A	14 4A	15 5A	16 6A	17 7A	18 8A
1 H +1 -1	2 2A											5 B +3	6 C +4 +2 -4	7 N +5 +4 +3 +2 +1 -3	8 O +2 -1 -2	9 F -1	10 Ne
3 Li +1	4 Be +2											13 Al +3	14 Si +4 -4	15 P +5 +3 -3	16 S +6 +4 +2 -2	17 Cl +7 +6 +5 +4 +3 +1 -1	18 Ar
11 Na +1	12 Mg +2	3 3B	4 4B	5 5B	6 6B	7 7B	8 8B		10	11 1B	12 2B	13 Al +3	14 Si +4 -4	15 P +5 +3 -3	16 S +6 +4 +2 -2	17 Cl +7 +6 +5 +4 +3 +1 -1	18 Ar
19 K +1	20 Ca +2	21 Sc +3	22 Ti +4 +3 +2	23 V +5 +4 +3 +2	24 Cr +6 +5 +4 +3 +2	25 Mn +7 +6 +4 +3 +2	26 Fe +3 +2	27 Co +3 +2	28 Ni +2	29 Cu +2 +1	30 Zn +2	31 Ga +3	32 Ge +4 -4	33 As +5 +3 -3	34 Se +6 +4 -2	35 Br +5 +3 +1 -1	36 Kr +4 +2
37 Rb +1	38 Sr +2	39 Y +3	40 Zr +4	41 Nb +5 +4	42 Mo +6 +4 +3	43 Tc +7 +6 +4	44 Ru +8 +6 +4 +3	45 Rh +4 +3 +2	46 Pd +4 +2	47 Ag +1	48 Cd +2	49 In +3	50 Sn +4 +2	51 Sb +5 +3 -3	52 Te +6 +4 -2	53 I +7 +5 +1 -1	54 Xe +6 +4 +2
55 Cs +1	56 Ba +2	57 La +3	72 Hf +4	73 Ta +5	74 W +6 +4	75 Re +7 +6 +4	76 Os +8 +4	77 Ir +4 +3	78 Pt +4 +2	79 Au +3 +1	80 Hg +2 +1	81 Tl +3 +1	82 Pb +4 +2	83 Bi +5 +3	84 Po +2	85 At -1	86 Rn