

**ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН (ПЗ) И
ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (ПС)
ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА**



**ПС элементов была предложена выдающимся
русским химиком Д.И. Менделеевым
в 1869 году**

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН

Свойства простых веществ и соединений,
которые они образуют, находятся в
периодической зависимости **от величины**
атомного номера элемента

В основу современной классификации
элементов положен главный признак – заряд
ядра и электронная конфигурация атомов

Периодический закон был сформулирован почти за полстолетия до открытия электрона!

Сформулированный закон позволил:

- **уточнить атомные массы многих известных элементов;**
- **предсказать существование и свойства неизвестных в то время элементов (экасилиция (германия), экабора (галлия) и экаалюминия (скандия)).**

Графическим отображением ПЗ является ПС

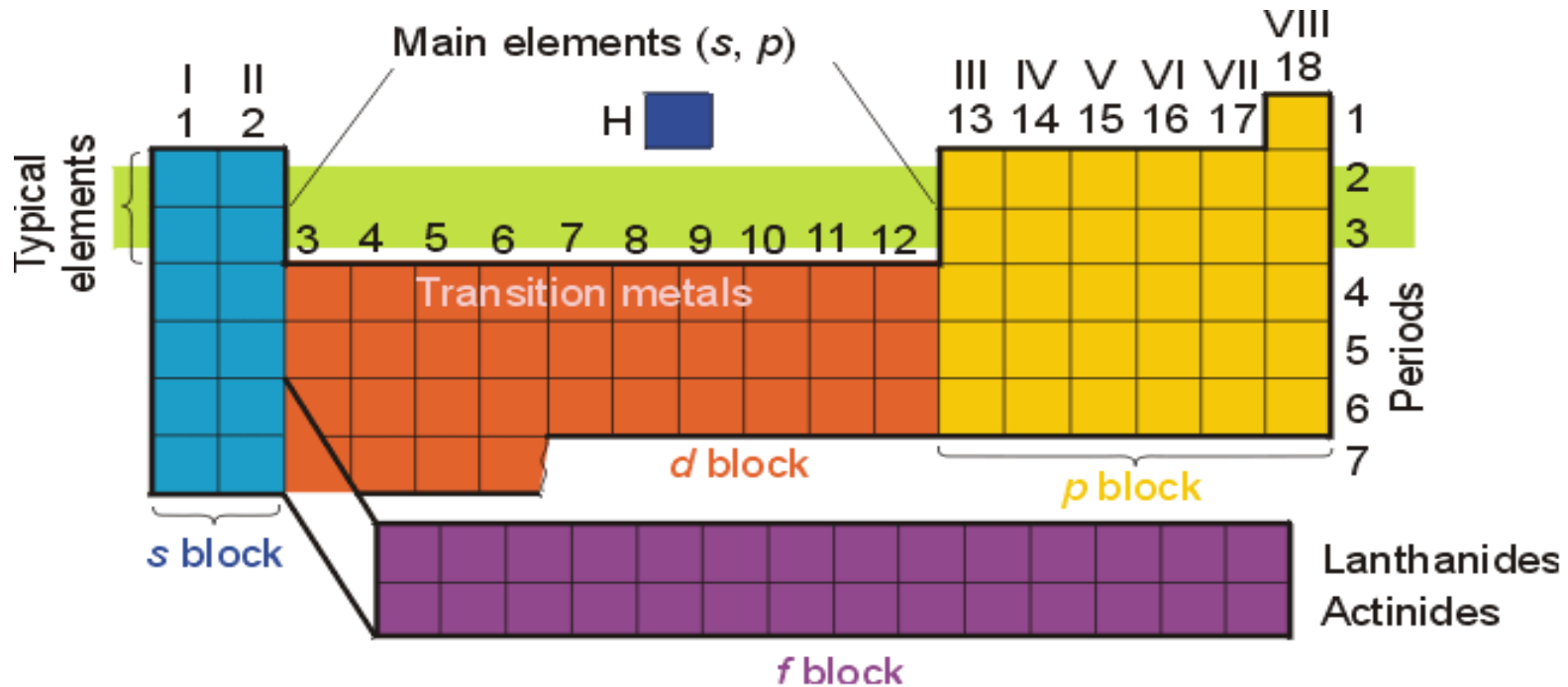
ПС ЭЛЕМЕНТОВ ЧАСТО ИСПОЛЬЗУЕМАЯ В РОССИИ (короткопериодный вариант)

периоды	группы							VIII						
I	I							VIII						
	ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВА							2						
I	1 H водород 1,0079								2 He гелий 4,0026	 Дмитрий Иванович Менделеев (1837-1889)				
II	3 Li литий 6,941	4 Be бериллий 9,01218	5 B бор 10,811	6 C углерод 12,011	7 N азот 14,0067	8 O кислород 15,9994	9 F фтор 18,9984	10 Ne неон 20,179						
III	11 Na натрий 22,98977	12 Mg магний 24,305	13 Al алюминий 26,98154	14 Si кремний 28,0855	15 P фосфор 30,97376	16 S сера 32,066	17 Cl хлор 35,453	18 Ar аргон 39,948						
IV	19 K калий 39,0983	20 Ca кальций 40,078	21 Sc скандий 44,95591	22 Ti титан 47,88	23 V ванадий 50,9415	24 Cr хром 51,9961	25 Mn марганец 54,9380	26 Fe железо 55,847	27 Co кобальт 58,9332	28 Ni никель 58,69				
	29 Cu медь 63,546	30 Zn цинк 65,39	31 Ga галлий 69,723	32 Ge германий 72,59	33 As мышьяк 74,9216	34 Se селен 78,96	35 Br бром 79,904	36 Kr криптон 83,80						
V	37 Rb рубидий 85,4678	38 Sr стронций 87,62	39 Y иттрий 88,9059	40 Zr цирконий 91,224	41 Nb ниобий 92,9064	42 Mo молибден 95,94	43 Tc технеций 98,9062	44 Ru рутений 101,07	45 Rh родий 102,9055	46 Pd палладий 106,42				
	47 Ag серебро 107,8682	48 Cd кадмий 112,41	49 In индий 114,82	50 Sn олово 118,710	51 Sb сурьма 121,75	52 Te теллур 127,60	53 I иод 126,9045	54 Xe ксенон 131,29						
VI	55 Cs цезий 132,9054	56 Ba барий 137,33	57* La лантан 138,9055	72 Hf гафний 178,49	73 Ta тантал 180,9479	74 W вольфрам 183,85	75 Re рений 186,207	76 Os осмий 190,2	77 Ir иридий 192,22	78 Pt платина 195,08				
	79 Au золото 196,9665	80 Hg ртуть 200,59	81 Tl таллий 204,383	82 Pb свинец 207,2	83 Bi висмут 208,9804	84 Po полоний 208,9824	85 At астат 210,9871	86 Rn радон 222,0176						
VII	87 Fr франций 223,0197	88 Ra радий 226,0254	89** Ac актиний 227,0278	104 Rf резерфордий [261]	105 Db дубний [262]	106 Sg сигборгий [263]	107 Bh борий [264]	108 Hs хассий [265]	109 Mt мейтнерий [268]	110 Ds дармштадтий [271]				
актиноиды*	58 Ce церий 140,12	59 Pr празеодим 140,9077	60 Nd неодим 144,24	61 Pm прометий 144,9128	62 Sm самарий 150,36	63 Eu европий 151,96	64 Gd гадолий 157,25	65 Tb тербий 158,9254	66 Dy диспрозий 162,50	67 Ho гольмий 164,9304	68 Er эрбий 167,26	69 Tm тулий 168,9342	70 Yb иттербий 173,04	71 Lu лютеций 174,967
	90 Th торий 232,0381	91 Pa протактиний 231,0359	92 U уран 238,0289	93 Np нептуний 237,0482	94 Pu плутоний 244,0642	95 Am амерций 243,0614	96 Cm юрий 247,0703	97 Bk берклий 247,0703	98 Cf калифорний 251,0796	99 Es эйзшттейний 252,0828	100 Fm фермий 257,0951	101 Md менделеевий 258,0986	102 No нобелий 259,1009	103 Lr лоуренсий 260,1054

ОФИЦИАЛЬНАЯ (ИЮПАК) ПС (длиннопериодный вариант)

1																	18																														
1 H hydrogen [1.007, 1.009]																	2 He helium 4.003																														
3 Li lithium [6.938, 6.997]	4 Be beryllium 9.012	Key: atomic number Symbol name standard atomic weight														13 B boron [10.80, 10.83]	14 C carbon [12.00, 12.02]	15 N nitrogen [14.00, 14.01]	16 O oxygen [15.99, 16.00]	17 F fluorine 19.00	18 Ne neon 20.18																										
11 Na sodium 22.99	12 Mg magnesium [24.30, 24.31]											13 Al aluminium 26.98	14 Si silicon [28.08, 28.09]	15 P phosphorus 30.97	16 S sulfur [32.05, 32.08]	17 Cl chlorine [35.44, 35.46]	18 Ar argon 39.95																														
19 K potassium 39.10	20 Ca calcium 40.08	21 Sc scandium 44.96	22 Ti titanium 47.87	23 V vanadium 50.94	24 Cr chromium 52.00	25 Mn manganese 54.94	26 Fe iron 55.85	27 Co cobalt 58.93	28 Ni nickel 58.69	29 Cu copper 63.55	30 Zn zinc 65.38(2)	31 Ga gallium 69.72	32 Ge germanium 72.63	33 As arsenic 74.92	34 Se selenium 78.96(3)	35 Br bromine [79.90, 79.91]	36 Kr krypton 83.80																														
37 Rb rubidium 85.47	38 Sr strontium 87.62	39 Y yttrium 88.91	40 Zr zirconium 91.22	41 Nb niobium 92.91	42 Mo molybdenum 95.96(2)	43 Tc technetium	44 Ru ruthenium 101.1	45 Rh rhodium 102.9	46 Pd palladium 106.4	47 Ag silver 107.9	48 Cd cadmium 112.4	49 In indium 114.8	50 Sn tin 118.7	51 Sb antimony 121.8	52 Te tellurium 127.6	53 I iodine 126.9	54 Xe xenon 131.3																														
55 Cs caesium 132.9	56 Ba barium 137.3	57-71 lanthanoids	72 Hf hafnium 178.5	73 Ta tantalum 180.9	74 W tungsten 183.8	75 Re rhenium 186.2	76 Os osmium 190.2	77 Ir iridium 192.2	78 Pt platinum 195.1	79 Au gold 197.0	80 Hg mercury 200.6	81 Tl thallium [204.3, 204.4]	82 Pb lead 207.2	83 Bi bismuth 209.0	84 Po polonium	85 At astatine	86 Rn radon																														
87 Fr francium	88 Ra radium	89-103 actinoids	104 Rf rutherfordium	105 Db dubnium	106 Sg seaborgium	107 Bh bohrium	108 Hs hassium	109 Mt meitnerium	110 Ds darmstadtium	111 Rg roentgenium	112 Cn copernicium		114 Fl flerovium		116 Lv livermorium																																
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>57 La lanthanum 138.9</td> <td>58 Ce cerium 140.1</td> <td>59 Pr praseodymium 140.9</td> <td>60 Nd neodymium 144.2</td> <td>61 Pm promethium</td> <td>62 Sm samarium 150.4</td> <td>63 Eu europium 152.0</td> <td>64 Gd gadolinium 157.3</td> <td>65 Tb terbium 158.9</td> <td>66 Dy dysprosium 162.5</td> <td>67 Ho holmium 164.9</td> <td>68 Er erbium 167.3</td> <td>69 Tm thulium 168.9</td> <td>70 Yb ytterbium 173.1</td> <td>71 Lu lutetium 175.0</td> </tr> <tr> <td>89 Ac actinium</td> <td>90 Th thorium 232.0</td> <td>91 Pa protactinium 231.0</td> <td>92 U uranium 238.0</td> <td>93 Np neptunium</td> <td>94 Pu plutonium</td> <td>95 Am americium</td> <td>96 Cm curium</td> <td>97 Bk berkelium</td> <td>98 Cf californium</td> <td>99 Es einsteinium</td> <td>100 Fm fermium</td> <td>101 Md mendelevium</td> <td>102 No nobelium</td> <td>103 Lr lawrencium</td> </tr> </tbody> </table>																		57 La lanthanum 138.9	58 Ce cerium 140.1	59 Pr praseodymium 140.9	60 Nd neodymium 144.2	61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.4	63 Eu europium 152.0	64 Gd gadolinium 157.3	65 Tb terbium 158.9	66 Dy dysprosium 162.5	67 Ho holmium 164.9	68 Er erbium 167.3	69 Tm thulium 168.9	70 Yb ytterbium 173.1	71 Lu lutetium 175.0	89 Ac actinium	90 Th thorium 232.0	91 Pa protactinium 231.0	92 U uranium 238.0	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am americium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium
57 La lanthanum 138.9	58 Ce cerium 140.1	59 Pr praseodymium 140.9	60 Nd neodymium 144.2	61 Pm promethium	62 Sm samarium 150.4	63 Eu europium 152.0	64 Gd gadolinium 157.3	65 Tb terbium 158.9	66 Dy dysprosium 162.5	67 Ho holmium 164.9	68 Er erbium 167.3	69 Tm thulium 168.9	70 Yb ytterbium 173.1	71 Lu lutetium 175.0																																	
89 Ac actinium	90 Th thorium 232.0	91 Pa protactinium 231.0	92 U uranium 238.0	93 Np neptunium	94 Pu plutonium	95 Am americium	96 Cm curium	97 Bk berkelium	98 Cf californium	99 Es einsteinium	100 Fm fermium	101 Md mendelevium	102 No nobelium	103 Lr lawrencium																																	

СТРУКТУРА ОФИЦИАЛЬНОЙ ПС



Лантаноиды (лантаниды) – 4f элементы

(ид – от греч. следующий за; оид – от греч. подобный)

Аналогично, актиноиды (актиниды) – 5f элементы

Галогены – элементы 17 группы

Халькогены - элементы 16 группы

Пниктогены - элементы 15 группы

Закономерности изменения свойств атомов и ионов

К числу важнейших свойств элементов, определяемых электронным строением, относятся:

- радиусы;**
- потенциалы ионизации;**
- сродство к электрону;**
- электроотрицательность.**

**Все эти характеристики закономерно изменяются по
периодам и группам**

**Одна из основных характеристик атомов и ионов
– их размеры**

Строение соединений – расположение атомов в пространстве (расстояния между атомами, углы)

Единица измерения расстояний - 1Å

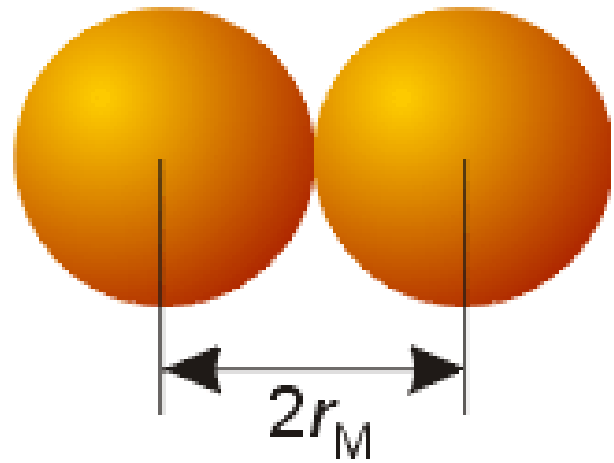
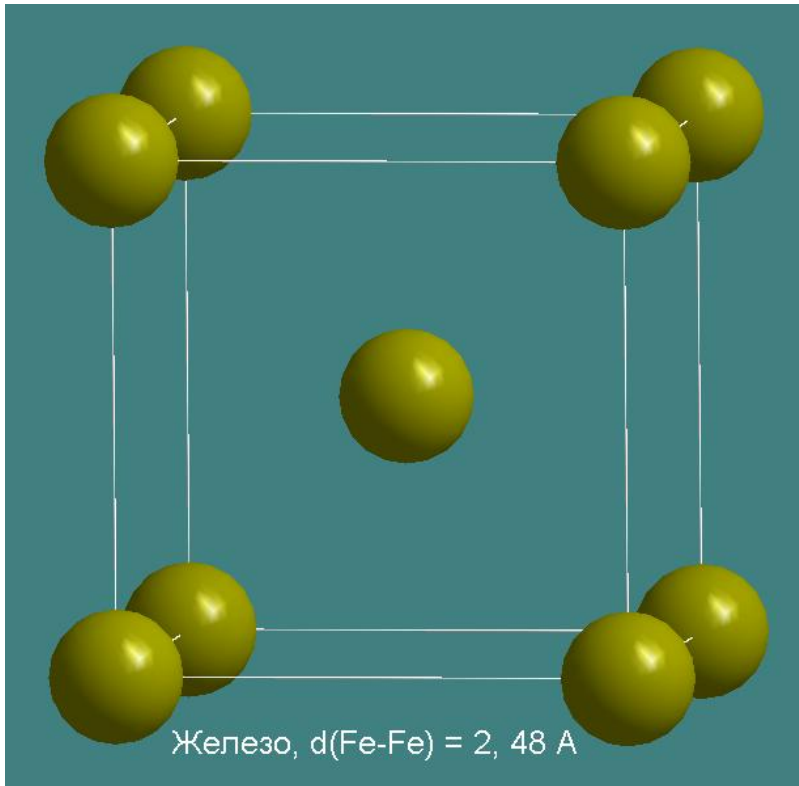
Различают:

атомные (металлические и ковалентные)

и ионные радиусы

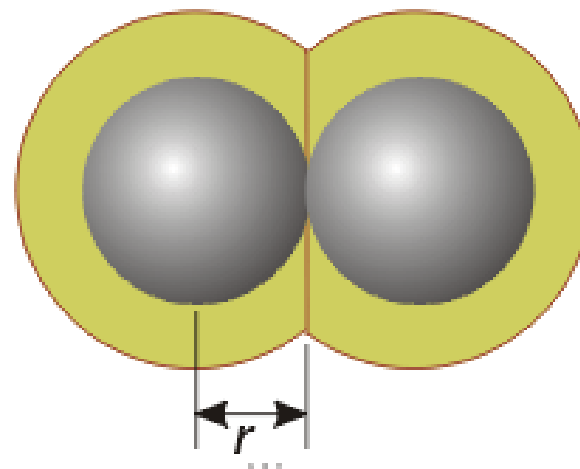
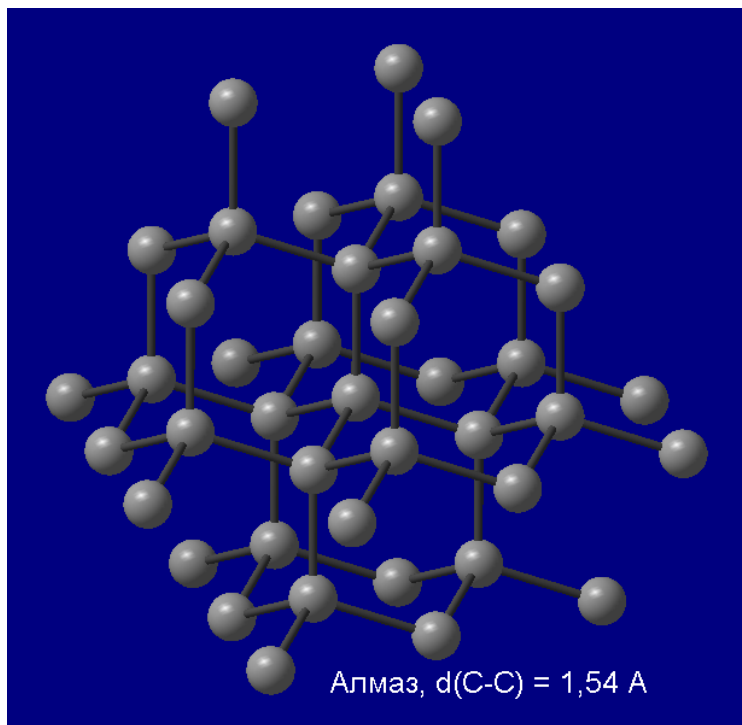
Металлический радиус

Металлический радиус (для металлов) – половина расстояния между ядрами соседних атомов



Ковалентный радиус

Ковалентный радиус (для неметаллов) –
половина расстояния между ядрами соседних атомов

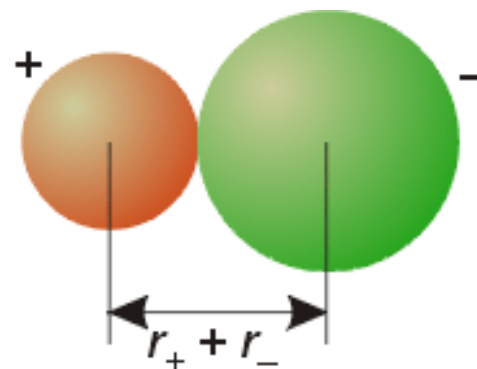
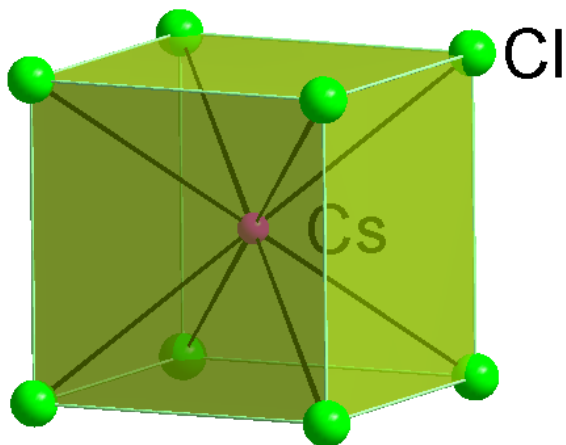


Ионный радиус

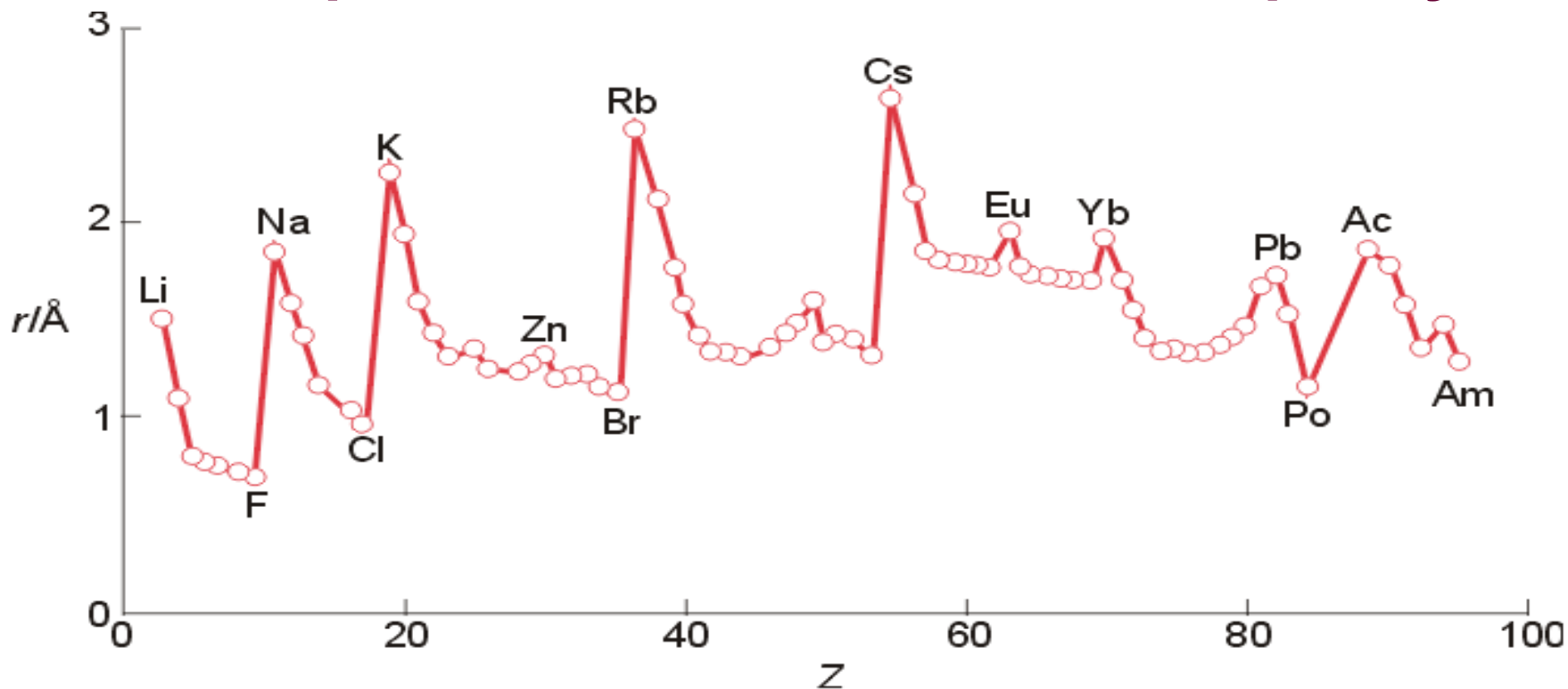
Ионный радиус – для ионных соединений

Пример CsCl:

из данных РСА определяют карту электронной плотности и там где минимум электронной плотности на прямой Cs-Cl, проводят границу между Cs⁺ и Cl⁻

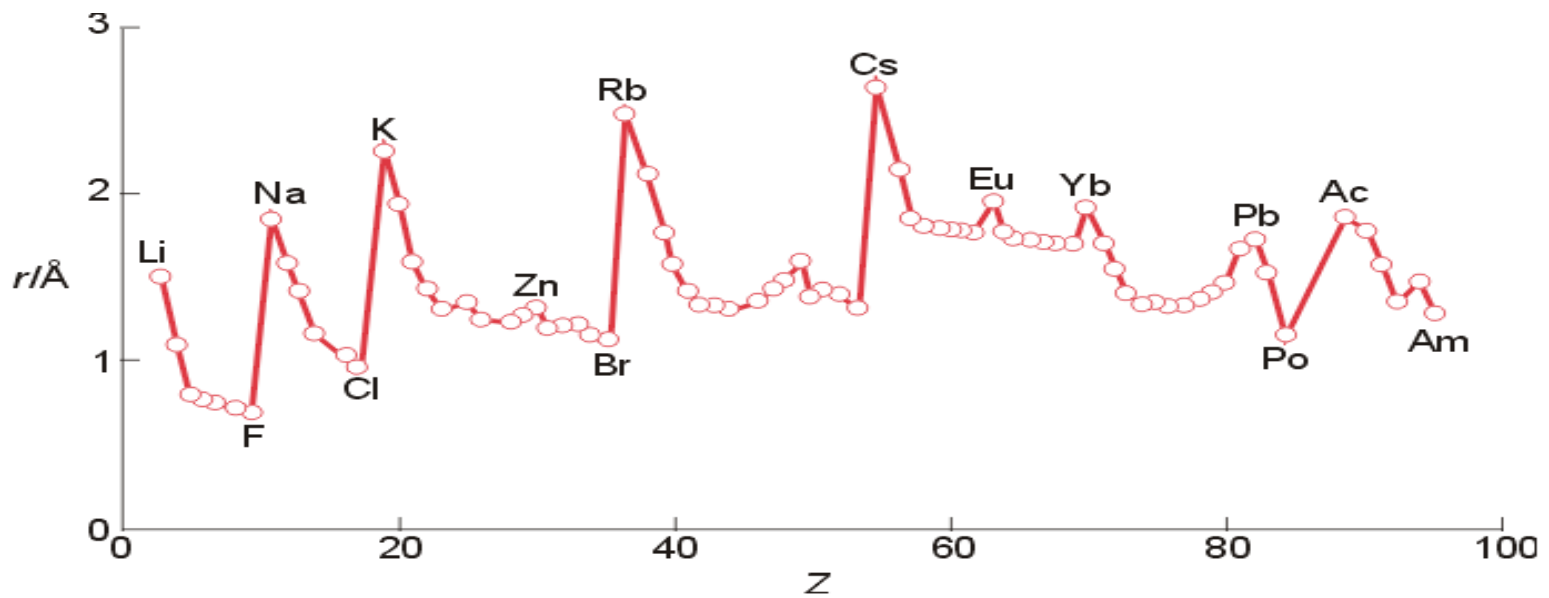


Закономерности изменения атомных радиусов



**Атомный радиус уменьшается в периоде
при увеличении атомного номера (Z)**

$\text{Li}(1s^22s^1) \rightarrow \text{F}(1s^22s^22p^5)$ – валентные электроны занимают орбитали одной оболочки, но увеличивается заряд ядра



**Атомный радиус увеличивается в группе
при увеличении атомного номера (Z)**

$\text{Li}([\text{He}]2s^1) \rightarrow \text{Cs}([\text{Xe}]5s^1)$ – валентные электроны занимают орбитали с большим главным квантовым числом

В группах изменение немонотонно

(одна из причин – «лантаноидное сжатие»)

Закономерности изменения ионных радиусов

Ионный радиус зависит от КЧ:
чем больше КЧ, тем больше радиус

В пределах периода размеры анионов больше размеров катионов (упрощенно: катионы – маленькие, анионы – большие)

В пределах группы ионный радиус увеличивается при увеличении атомного номера:

Li^+ ([He] → Cs^+ ([Xe])

ионные радиусы приведены в Å, в скобках указано КЧ

Li^+ 0.59(4) 0.76(6)	Be^{2+} 0.27(4)	B^{3+} 0.12(4)			N^{3-} 1.71	O^{2-} 1.35(2) 1.38(4) 1.40(6) 1.42(8)	F^- 1.28(2) 1.31(4) 1.33(6)
Na^+ 0.99(4) 1.02(6) 1.16(8)	Mg^{2+} 0.49(4) 0.72(6) 0.89(8)	Al^{3+} 0.39(4) 0.53(6)			P^{3-} 2.12	S^{2-} 1.84(6)	Cl^- 1.67(6)
K^+ 1.38(6) 1.51(8) 1.59(10) 1.60(12)	Ca^{2+} 1.00(6) 1.12(8) 1.28(10) 1.35(12)	Ga^{3+} 0.62(6)			As^{3-} 2.22	Se^{2-} 1.98(6)	Br^- 1.96(6)
Rb^+ 1.49(6) 1.60(8) 1.73(12)	Sr^{2+} 1.16(6) 1.25(8) 1.44(12)	In^{3+} 0.79(6) 0.92(8)	Sn^{2+} 1.22(8)	Sn^{4+} 0.69(6)		Te^{2-} 2.21(6)	I^- 2.06(6)
Cs^+ 1.67(6) 1.74(8) 1.88(12)	Ba^{2+} 1.49(6) 1.56(8) 1.75(12)	Tl^{3+} 0.88(6)					

ионные радиусы приведены в Å, в скобках указано КЧ

Li⁺ 0.59(4) 0.76(6)	Be²⁺ 0.27(4)	B³⁺ 0.12(4)			N³⁻ 1.71	O²⁻ 1.35(2) 1.38(4) 1.40(6) 1.42(8)	F⁻ 1.28(2) 1.31(4) 1.33(6)
Na⁺ 0.99(4) 1.02(6) 1.16(8)	Mg²⁺ 0.49(4) 0.72(6) 0.89(8)	Al³⁺ 0.39(4) 0.53(6)			P³⁻ 2.12	S²⁻ 1.84(6)	Cl⁻ 1.67(6)
K⁺ 1.38(6) 1.51(8) 1.59(10) 1.60(12)	Ca²⁺ 1.00(6) 1.12(8) 1.28(10) 1.35(12)	Ga³⁺ 0.62(6)			As³⁻ 2.22	Se²⁻ 1.98(6)	Br⁻ 1.96(6)
Rb⁺ 1.49(6) 1.60(8) 1.73(12)	Sr²⁺ 1.16(6) 1.25(8) 1.44(12)	In³⁺ 0.79(6) 0.92(8)	Sn²⁺ 1.22(8)	Sn⁴⁺ 0.69(6)		Te²⁻ 2.21(6)	I⁻ 2.06(6)
Cs⁺ 1.67(6) 1.74(8) 1.88(12)	Ba²⁺ 1.49(6) 1.56(8) 1.75(12)	Tl³⁺ 0.88(6)					

Изоэлектронные катионы –

Na⁺, Mg²⁺, Al³⁺ имеют

одинаковую электронную

конфигурацию [Ne], но

отличаются зарядом, ионный

радиус уменьшается

Изоэлектронные анионы –

P³⁻, S²⁻, Cl⁻ имеют одинаковую

электронную конфигурацию

[Ar], но отличаются зарядом,

ионный радиус уменьшается

ионные радиусы для переходных металлов

В периоде: Ti^{2+} (1,00 Å) \longrightarrow Ni^{2+} (0,83 Å)

22	23	24	25	26	27	28
Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni
титан	ванадий	хром	марганец	железо	кобальт	никель
47,88	50,9415	51,9961	54,9380	55,847	58,9332	58,69

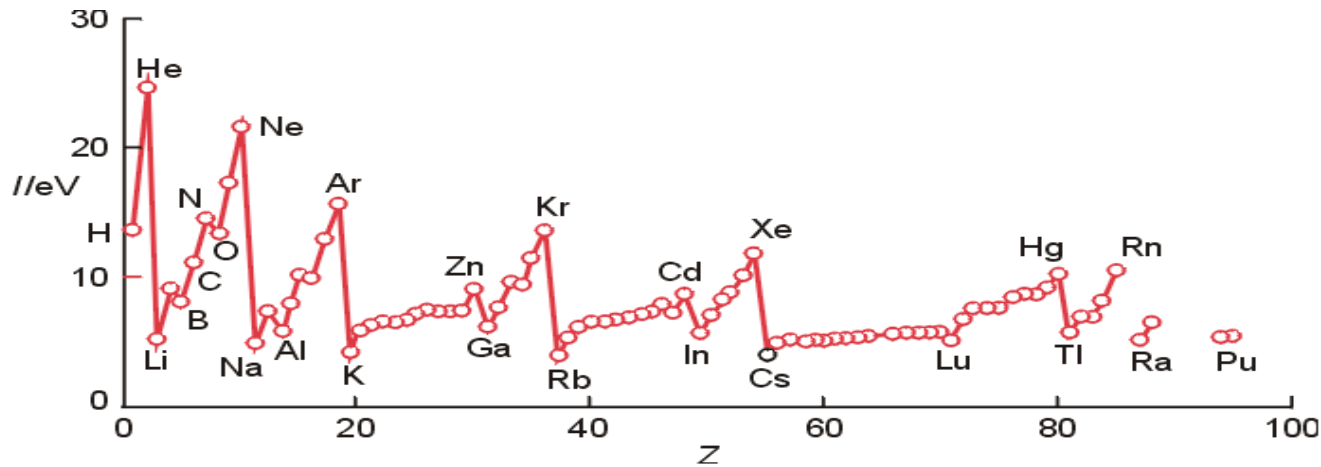
уменьшение радиуса катиона, но различия небольшие

Зависимость от заряда: Fe^{2+} (0,75 Å) \longrightarrow Fe^{3+} (0,69 Å)

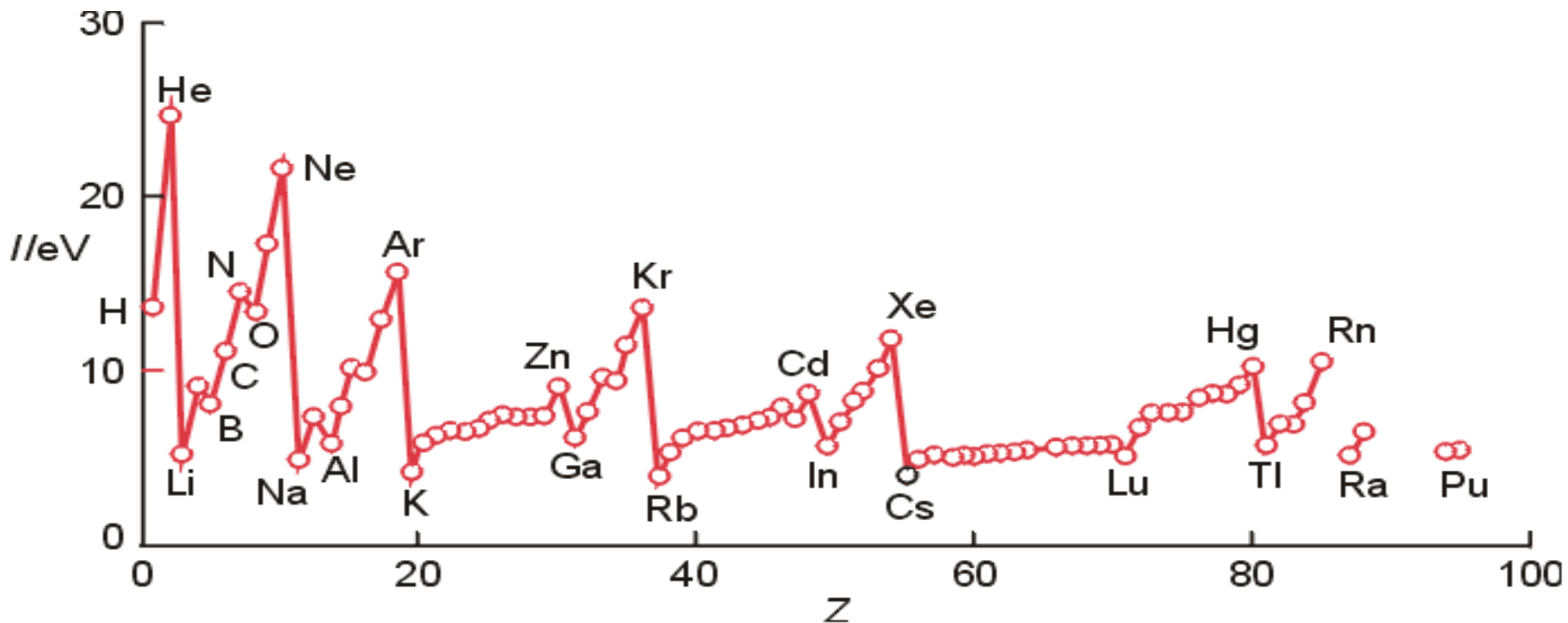
больше положительный заряд, меньше ионный радиус

Энергия ионизации

Энергия ионизации атома (или иона) (I , эВ) – минимальная энергия для удаления электрона от атома (или иона), находящегося в газообразном состоянии:

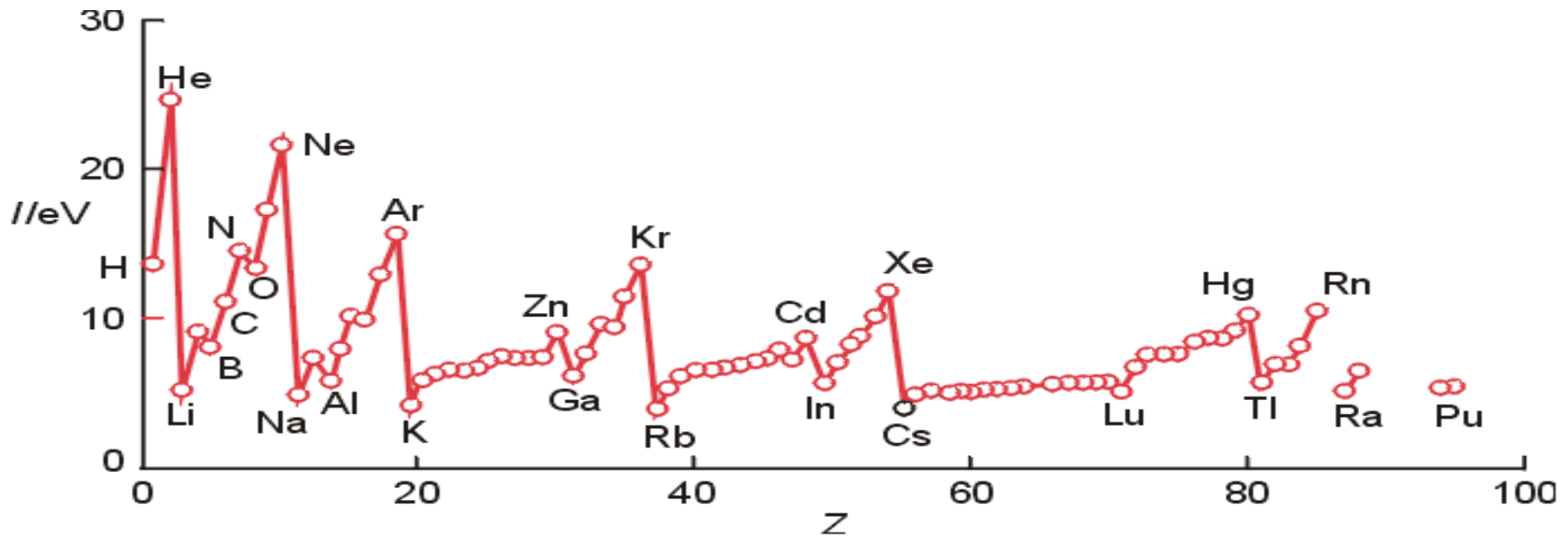


**Максимальное значение I имеют инертные газы,
минимальные – щелочные металлы**



Горизонтальная периодичность – в пределах одного периода значения I увеличиваются, т.к. увеличивается заряд ядра

Вертикальная периодичность – в пределах одной группы значения I уменьшаются (не сильно)



Примеры отклонений плавного изменения I :

Be – 9,32 эВ, B – 8,30 эВ

у B один электрон находится на 2p орбитали,
p орбитали более диффузные, по сравнению с s орбиталями

N – 14,53 эВ, O – 13,62 эВ

катион O^+ имеет три электрона на 2p уровне (p уровень
заполнен ровно на половину – это выгодно энергетически)

Электроотрицательность

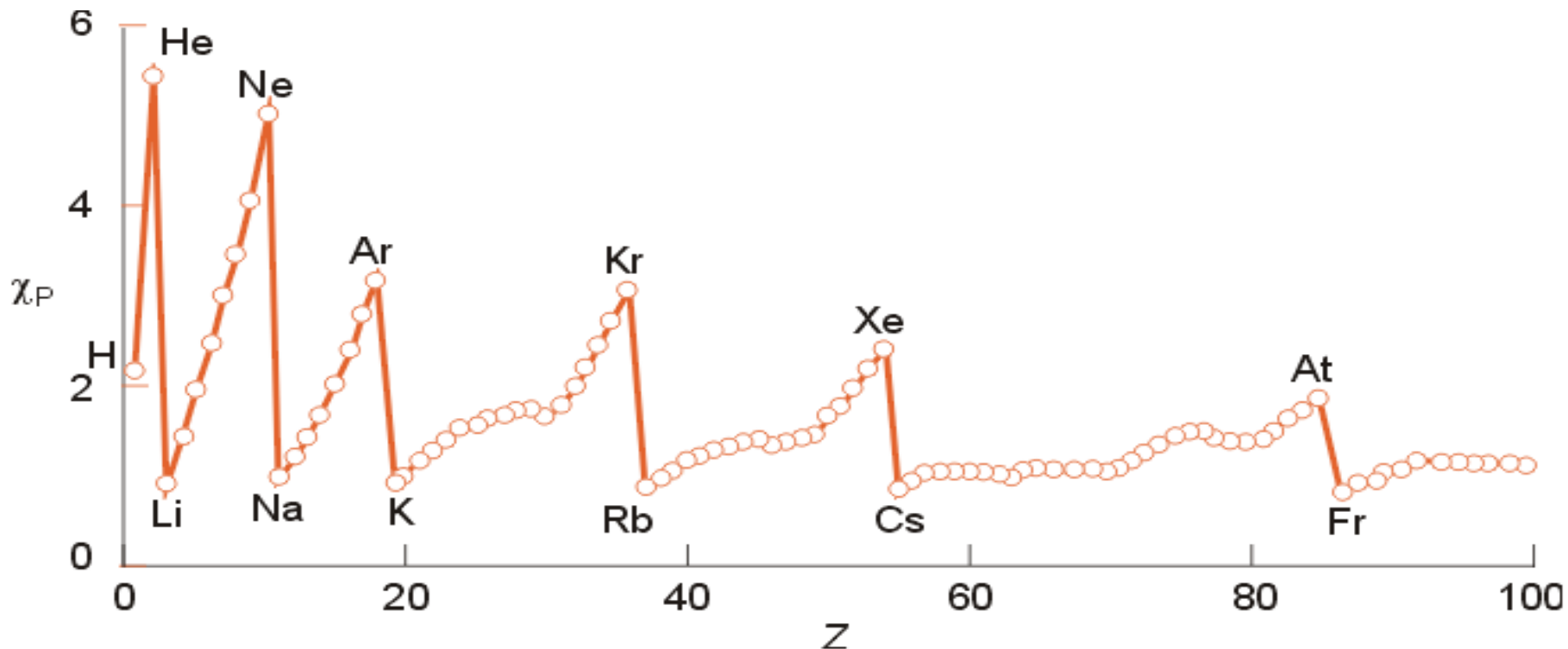
Электроотрицательность (χ) – способность элемента притягивать электроны, когда элемент входит в состав химических соединений

Определение электроотрицательности по Малликену:

$$\chi_M = \frac{1}{2}(I + E_a)$$

Сродство к электрону (E_a , эВ):





Электроотрицательность увеличивается **в периоде**
при увеличении атомного номера элемента

Электроотрицательность уменьшается **в группе**
при увеличении атомного номера элемента

Закономерности изменения кислотно-основных свойств гидроксидов элементов

Основные свойства: $\text{ЭОН} \rightarrow \text{Э}^+ + \text{ОН}^-$

Кислотные свойства: $\text{ЭОН} \rightarrow \text{ЭO}^- + \text{H}^+$

Гидроксид	Ионный радиус Э^{2+}	Свойства
Be(OH)_2	0,27 Å	Амфотерный
Mg(OH)_2	0,49 Å	Основание средней силы
Ca(OH)_2	1,00 Å	Сильное основание
Sr(OH)_2	1,16 Å	Сильное основание
Ba(OH)_2	1,49 Å	Сильное основание

Изменение по группе:

увеличение ионного радиуса приводит к ослаблению связи с ОН^-

Закономерности изменения кислотно-основных свойств гидроксидов элементов

Гидроксид	Ионный радиус Э^{n+}	Свойства
NaOH	0,99 Å	Сильное основание
Mg(OH) ₂	0,49 Å	Основание средней силы
Al(OH) ₃	0,39 Å	Амфотерный
"Si(OH) ₄ "		Слабая кислота

Уменьшение основных свойств коррелирует с увеличением заряда катиона и уменьшением радиуса катиона

Кислотные свойства бескислородных кислот

Соединение	Кислотные свойства (K_1 в воде)	Радиус аниона Э^{n-} , Å	Заряд аниона
NH_3	Основание	1,71	-3
H_2O	10^{-16}	1,38	-2
HF	10^{-3}	1,31	-1
H_2O	10^{-16}	1,38	-2
H_2S	10^{-7}	1,84	-2
H_2Se	10^{-4}	1,98	-2
H_2Te	10^{-3}	2,21	-2

Два фактора (изменение радиуса аниона и изменение заряда аниона) действуют в противоположных направлениях

Главным является изменение заряда аниона

Некоторые закономерности изменения окислительно-восстановительных свойств

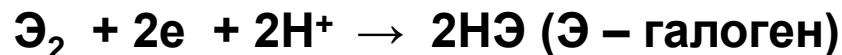


Элемент	$E^\circ, \text{В}$
O	1,23
S	0,14
Se	-0,40
Te	-0,72

Окислительные свойства уменьшаются в ряду $\text{O}_2, \text{S}, \text{Se}, \text{Te}$

Восстановительные свойства увеличиваются в ряду $\text{H}_2\text{O}, \text{H}_2\text{S}, \text{H}_2\text{Se}, \text{H}_2\text{Te}$

Аналогичные закономерности для галогенов.



Диагональная периодичность

	водород 1,0079	II	III	IV	V	VI	VII	гелий 4,0026
II	3 Li литий 6,941	4 Be бериллий 9,01218	5 B бор 10,811	6 C углерод 12,011	7 N азот 14,0067	8 O кислород 15,9994	9 F фтор 18,9984	10 Ne неон 20,179
III	11 Na натрий 22,98977	12 Mg магний 24,305	13 Al алюминий 26,98154	14 Si кремний 28,0855	15 P фосфор 30,97376	16 S сера 32,066	17 Cl хлор 35,453	18 Ar аргон 39,948

Be(OH)₂ – амфотерный	B(OH)₃ – слабая кислота	
Mg(OH)₂ – слабое основание	Al(OH)₃ – амфотерный	"Si(OH)₄" – слабая кислота