

# Неорганічна хімія

Роман Гладішевський



*кафедра неорганічної хімії*

*Львівський національний університет  
імені Івана Франка*

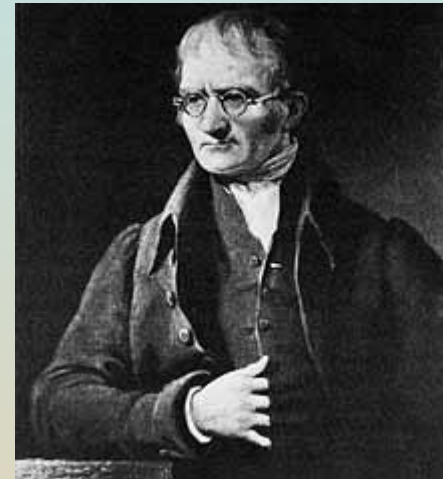
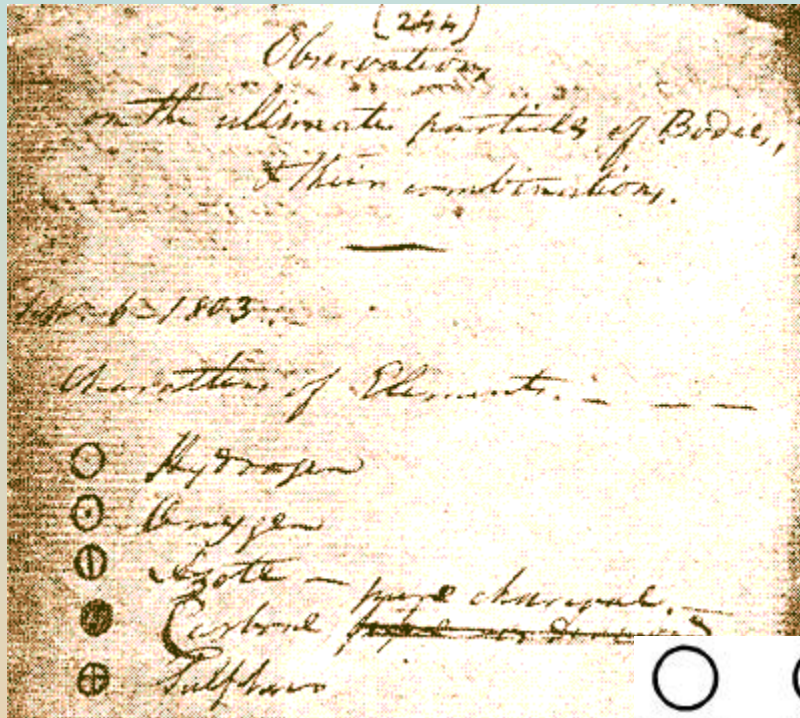


*Тема 32.*

**Періодичний закон і система  
Менделєєва.**



# Перші спроби класифікації хімічних елементів



Джон Дальтон, 1803 р.

**ПОНЯТТЯ  
ВІДНОСНОЇ АТОМНОЇ  
МАСИ**

Oxygen	Hydrogen	Nitrogen (Azote)	Carbon	Sulphur	Phosphorus	Gold	Platinum (Platina)	Silver
Mercury	Copper	Iron	Nickel	Tin	Lead	Zinc	Bismuth	Antimony
Arsenic	Calcium (Lime)	Manganese	Uranium	Tunsten	Titanium	Cerium	Potassium (Potash)	Sodium (Soda)
Calcium	Magnesium (Magnesia)	Barium (Barytes)	Strontium	Aluminium	Silicon	Yttrium	Beryllium	Zirconium

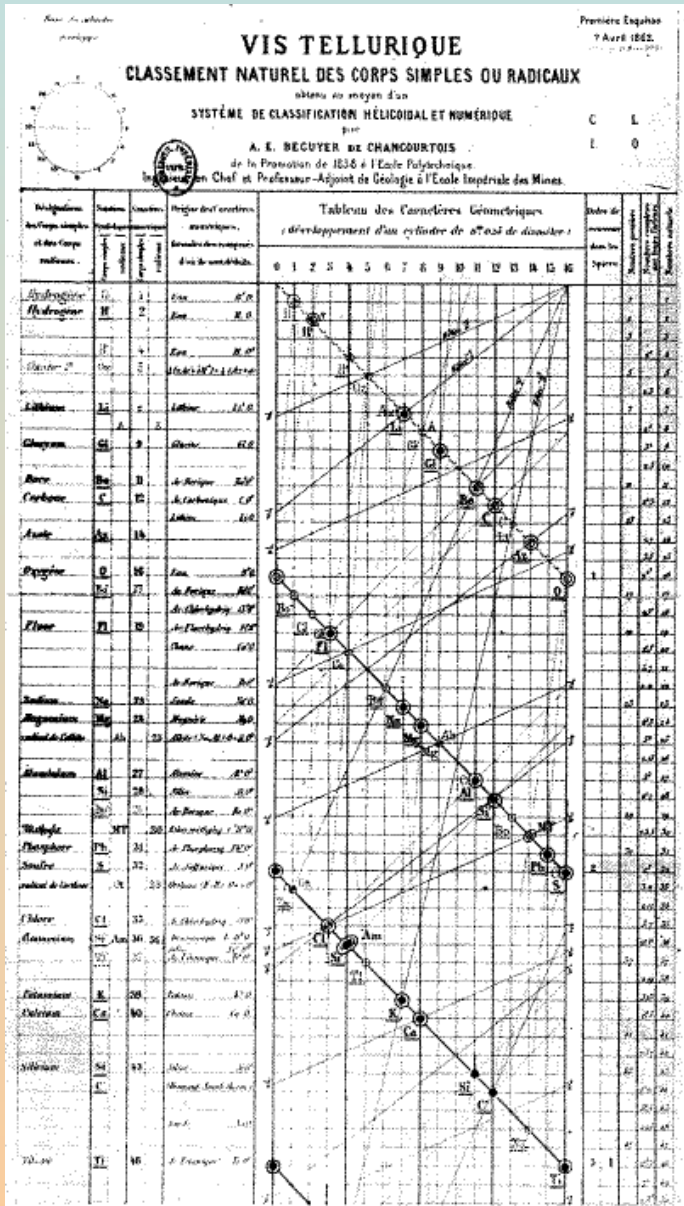
H								He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	



Йохан Деберейнер, 1829 р.

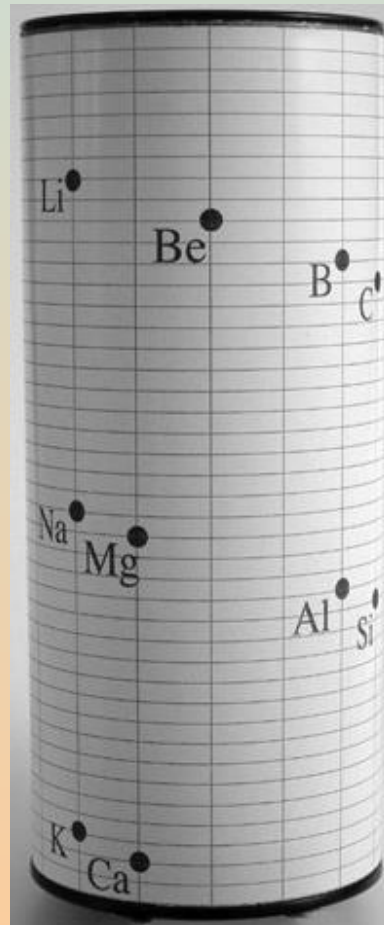
правило тріад

Li	7	}	→	$\frac{7 + 39}{2} = 23$	Li	3	}	→	$\frac{3 + 19}{2} = 11$
Na	23				Na	11			
K	39				K	19			
Ca	40	}	→	$\frac{40 + 137}{2} = 88.5$	Ca	20	}	→	$\frac{20 + 56}{2} = 38$
Sr	87				Sr	38			
Ba	137				Ba	56			



**Александр-Еміль  
 Бегуйє де  
 Шанкуртуа,  
 1862 р.**

**висхідна спіраль  
 елементів**



John Newlands' 'Law of Octaves', 1865.

H Li Be B C N O F Na Mg Al Si P S Cl

Cl K Ca Cr Ti Mn Fe Cobalt/Nickel something is wrong!

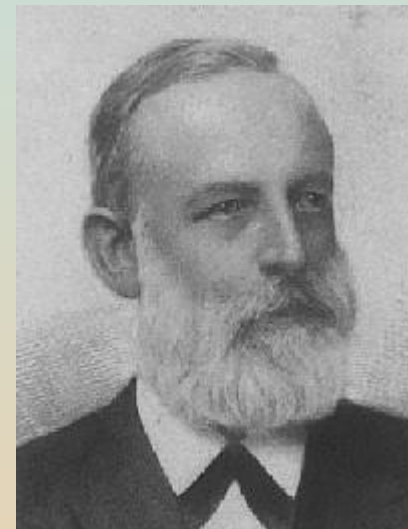


Джон Ньюлендс, 1864 г.

## ЗАКОН ОКТАВ

No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.	No.
H 1	F 8	Cl 15	Co & Ni 22	Br 29	Pd 36	I 42	Pt & Ir 50
Li 2	Na 9	K 16	Cu 23	Rb 30	Ag 37	Cs 44	Tl 53
G 3	Mg 10	Ca 17	Zn 24	Sr 31	Cd 38	Ba & V 45	Pb 54
Bo 4	Al 11	Cr 18	Y 25	Ce & La 33	U 40	Ta 46	Th 56
C 5	Si 12	Ti 19	In 26	Zr 32	Sn 39	W 47	Hg 52
N 6	P 13	Mn 20	As 27	Di & Mo 34	Sb 41	Nb 48	Bi 55
O 7	S 14	Fe 21	Se 28	Ro & Ru 35	Te 43	Au 49	Os 51

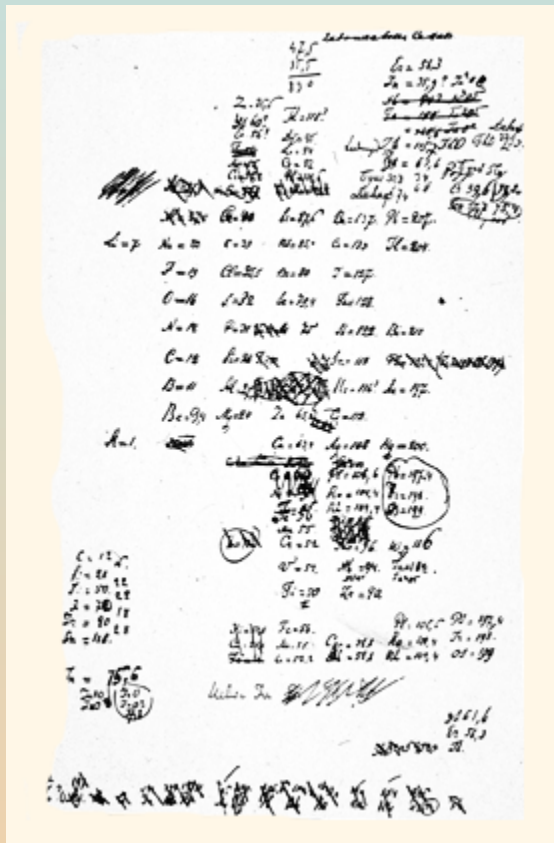
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
	B=11,0	Al=27,3		--		?In=113,4	Tl=202,7	
	C=11,97	Si=28	--		--	Sn=117,8		Pb=206,4
	N=14,01	P=30,9	Ti=48		Zr=89,7	Sb=122,1		Bi=207,5
	O=15,96	31,98	V=51,2		Nb=93,7	Te=128?	Ta=182,2	--
--	F=19,1	Cl=35,38	Cr=52,4		Mo=95,6	W=183,5		--
			Mn=54,8		Ru=103,5	Os=198,6 ?		
			Fe=55,9		Rh=104,1	Ir=196,7		
			Co=Ni=58,6		Pd=106,2	Pt=196,7		
Li=7,01	Na=22,99	K=39,04		Rb=85,2		Cs=132,7		--
			Cu=63,3		Ag=107,66	Au=196,2		
?Be=9,3	Mg=23,9	Ca=39,9		Sr=87,0		Ba=136,8		--
			Zn=64,9		Cd=111,6	Hg=199,8		



**Юліус Лотар  
Мейєр,  
1870 р.**

**ДЕВ'ЯТЬ КОЛОНОК  
ЕЛЕМЕНТІВ**

# Періодичний закон Д.І. Менделєєва



**Дмітрій  
Менделєєв,  
1869-1871 рр.**

**подвійний  
критерій: атомна  
маса та хімічні  
властивості**

		Ti = 50	Zr = 90	? = 180
		V = 51	Nb = 94	Ta = 182
		Cr = 52	Mo = 96	W = 186
		Mn = 55	Rh = 104,4	Pt = 197,4
		Fe = 56	Ru = 104,4	Ir = 198
		Ni = Co = 59	Pd = 106,6	Os = 199
		Cu = 63,4	Ag = 108	Hg = 200
H = 1		Zn = 65,2	Cd = 112	
Be = 9,4	Mg = 24	? = 68	Ur = 116	Au = 197?
B = 11	Al = 27,4	? = 70	Sn = 118	
C = 12	Si = 28	As = 75	Sb = 122	Bi = 210?
N = 14	P = 31	Se = 79,4	Te = 128?	
O = 16	S = 32	Br = 80	J = 127	
F = 19	Cl = 35,5	Rb = 85,4	Cs = 133	Tl = 204
Li = 7	Na = 23	K = 39	Ba = 137	Pb = 207
		Ca = 40		
		? = 45		
		Ce = 92		
		?Er = 56	La = 94	
		?Yt = 60	Di = 95	
		?In = 75,6	Th = 118?	



# Періодичний закон

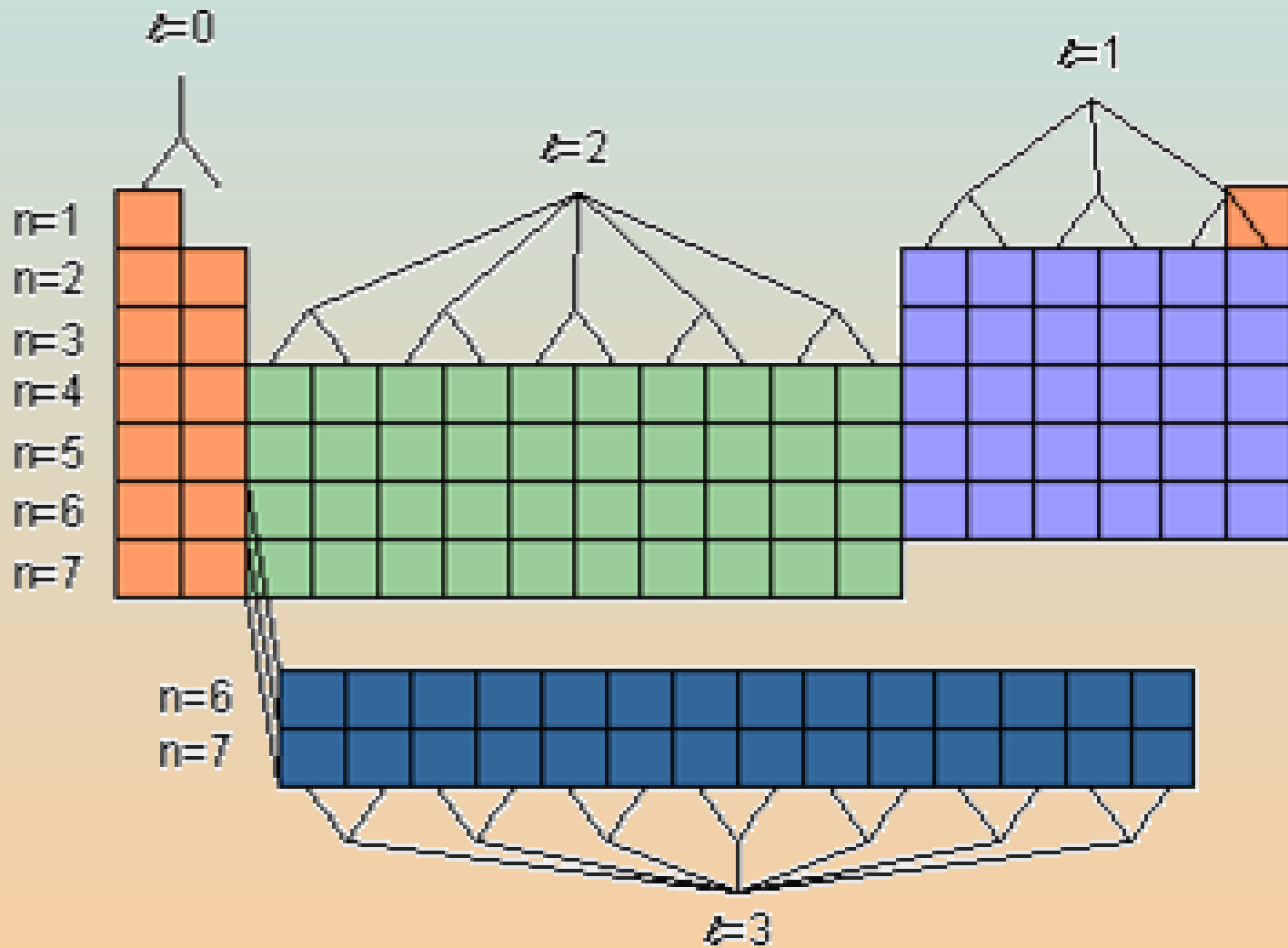
Електронна будова атомів і властивості елементів, які від неї залежать, є періодичною функцією зарядів ядер атомів (протонних чисел).

**IUPAC Periodic Table of the Elements**

1 <b>H</b> hydrogen 1.008 [1.0078, 1.0082]																	18 <b>He</b> helium 4.0026		
3 <b>Li</b> lithium 6.94 [6.938, 6.997]	4 <b>Be</b> beryllium 9.0122													5 <b>B</b> boron 10.81 [10.806, 10.821]	6 <b>C</b> carbon 12.011 [12.009, 12.012]	7 <b>N</b> nitrogen 14.007 [14.006, 14.008]	8 <b>O</b> oxygen 15.999 [15.999, 16.000]	9 <b>F</b> fluorine 18.998	10 <b>Ne</b> neon 20.180
11 <b>Na</b> sodium 22.990	12 <b>Mg</b> magnesium 24.305 [24.304, 24.307]													13 <b>Al</b> aluminum 26.982	14 <b>Si</b> silicon 28.086 [28.084, 28.088]	15 <b>P</b> phosphorus 30.974	16 <b>S</b> sulfur 32.06 [32.059, 32.076]	17 <b>Cl</b> chlorine 35.45 [35.448, 35.457]	18 <b>Ar</b> argon 39.948
19 <b>K</b> potassium 39.098	20 <b>Ca</b> calcium 40.078(4)	21 <b>Sc</b> scandium 44.956	22 <b>Ti</b> titanium 47.867	23 <b>V</b> vanadium 50.942	24 <b>Cr</b> chromium 51.996	25 <b>Mn</b> manganese 54.938	26 <b>Fe</b> iron 55.845(2)	27 <b>Co</b> cobalt 58.933	28 <b>Ni</b> nickel 58.693	29 <b>Cu</b> copper 63.546(3)	30 <b>Zn</b> zinc 65.38(2)	31 <b>Ga</b> gallium 69.723	32 <b>Ge</b> germanium 72.630(8)	33 <b>As</b> arsenic 74.922	34 <b>Se</b> selenium 78.971(8)	35 <b>Br</b> bromine 79.904 [79.901, 79.907]	36 <b>Kr</b> krypton 83.798(2)		
37 <b>Rb</b> rubidium 85.468	38 <b>Sr</b> strontium 87.62	39 <b>Y</b> yttrium 88.906	40 <b>Zr</b> zirconium 91.224(2)	41 <b>Nb</b> niobium 92.906	42 <b>Mo</b> molybdenum 95.95	43 <b>Tc</b> technetium 98.906	44 <b>Ru</b> ruthenium 101.07(2)	45 <b>Rh</b> rhodium 102.91	46 <b>Pd</b> palladium 106.42	47 <b>Ag</b> silver 107.87	48 <b>Cd</b> cadmium 112.41	49 <b>In</b> indium 114.82	50 <b>Sn</b> tin 118.71	51 <b>Sb</b> antimony 121.76	52 <b>Te</b> tellurium 127.60(3)	53 <b>I</b> iodine 126.90	54 <b>Xe</b> xenon 131.29		
55 <b>Cs</b> caesium 132.91	56 <b>Ba</b> barium 137.33	57-71 lanthanoids	72 <b>Hf</b> hafnium 178.49(2)	73 <b>Ta</b> tantalum 180.95	74 <b>W</b> tungsten 183.84	75 <b>Re</b> rhenium 186.21	76 <b>Os</b> osmium 190.23(3)	77 <b>Ir</b> iridium 192.22	78 <b>Pt</b> platinum 195.08	79 <b>Au</b> gold 196.97	80 <b>Hg</b> mercury 200.59	81 <b>Tl</b> thallium 204.38 [204.38, 204.38]	82 <b>Pb</b> lead 207.2	83 <b>Bi</b> bismuth 208.98	84 <b>Po</b> polonium	85 <b>At</b> astatine	86 <b>Rn</b> radon		
87 <b>Fr</b> francium	88 <b>Ra</b> radium	89-103 actinoids	104 <b>Rf</b> rutherfordium	105 <b>Db</b> dubnium	106 <b>Sg</b> seaborgium	107 <b>Bh</b> bohrium	108 <b>Hs</b> hassium	109 <b>Mt</b> meitnerium	110 <b>Ds</b> darmstadtium	111 <b>Rg</b> roentgenium	112 <b>Cn</b> copernicium	113 <b>Nh</b> nihonium	114 <b>Fl</b> flerovium	115 <b>Mc</b> moscovium	116 <b>Lv</b> livermorium	117 <b>Ts</b> tennessine	118 <b>Og</b> oganeson		

57 <b>La</b> lanthanum 138.91	58 <b>Ce</b> cerium 140.12	59 <b>Pr</b> praseodymium 140.91	60 <b>Nd</b> neodymium 144.24	61 <b>Pm</b> promethium 144.91	62 <b>Sm</b> samarium 150.36(2)	63 <b>Eu</b> europium 151.96	64 <b>Gd</b> gadolinium 157.25(3)	65 <b>Tb</b> terbium 158.93	66 <b>Dy</b> dysprosium 162.50	67 <b>Ho</b> holmium 164.93	68 <b>Er</b> erbium 167.26	69 <b>Tm</b> thulium 168.93	70 <b>Yb</b> ytterbium 173.05	71 <b>Lu</b> lutetium 174.97
89 <b>Ac</b> actinium 227.03	90 <b>Th</b> thorium 232.04	91 <b>Pa</b> protactinium 231.04	92 <b>U</b> uranium 238.03	93 <b>Np</b> neptunium 237.05	94 <b>Pu</b> plutonium 244.06	95 <b>Am</b> americium 243.06	96 <b>Cm</b> curium 247.07	97 <b>Bk</b> berkelium 247.07	98 <b>Cf</b> californium 251.08	99 <b>Es</b> einsteinium 252.08	100 <b>Fm</b> fermium 257.10	101 <b>Md</b> mendelevium 258.10	102 <b>No</b> nobelium 259.10	103 <b>Lr</b> lawrencium 262.10









## *Тема 33.*

# **Загальна характеристика *s*-, *p*-, *d*-, *f*-елементів.**

# Закономірності зміни властивостей елементів

## Періодичність властивостей простих і складних речовин

**Властивості елемента** – це властивості атомів.

**Атомні властивості елемента** – атомна маса, розмір, електронна конфігурація, потенціал іонізації, спорідненість до електрона.

**Хімічні властивості елемента** – ефективний заряд, електронегативність, ступінь окиснення, валентність, координаційне число, вид хімічного зв'язку, валентний кут.

**Фізичні властивості речовини** – агрегатний стан, колір, густина, температура топлення та кипіння, тепло- та електропровідність, твердість, ковкість, коефіцієнти заломлення, розширення.

**Хімічні властивості речовини** – окисно-відновні (стійкість, взаємодія з окисниками та відновниками), кислотно-основні (взаємодія гідроксидів і деяких водневих сполук із кислотами та основами), комплексоутворювальні.

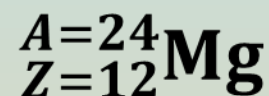
# Атомна маса

$$A = Z + N$$

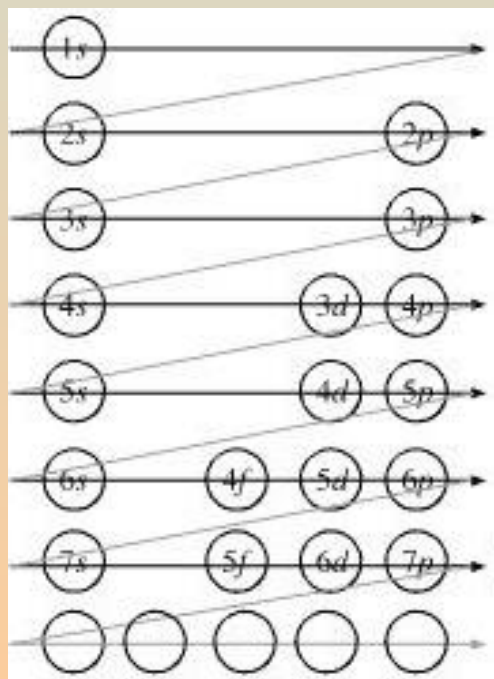
де  $A$  – масове (нуклонне) число

$Z$  – кількість протонів

$N$  – кількість нейтронів



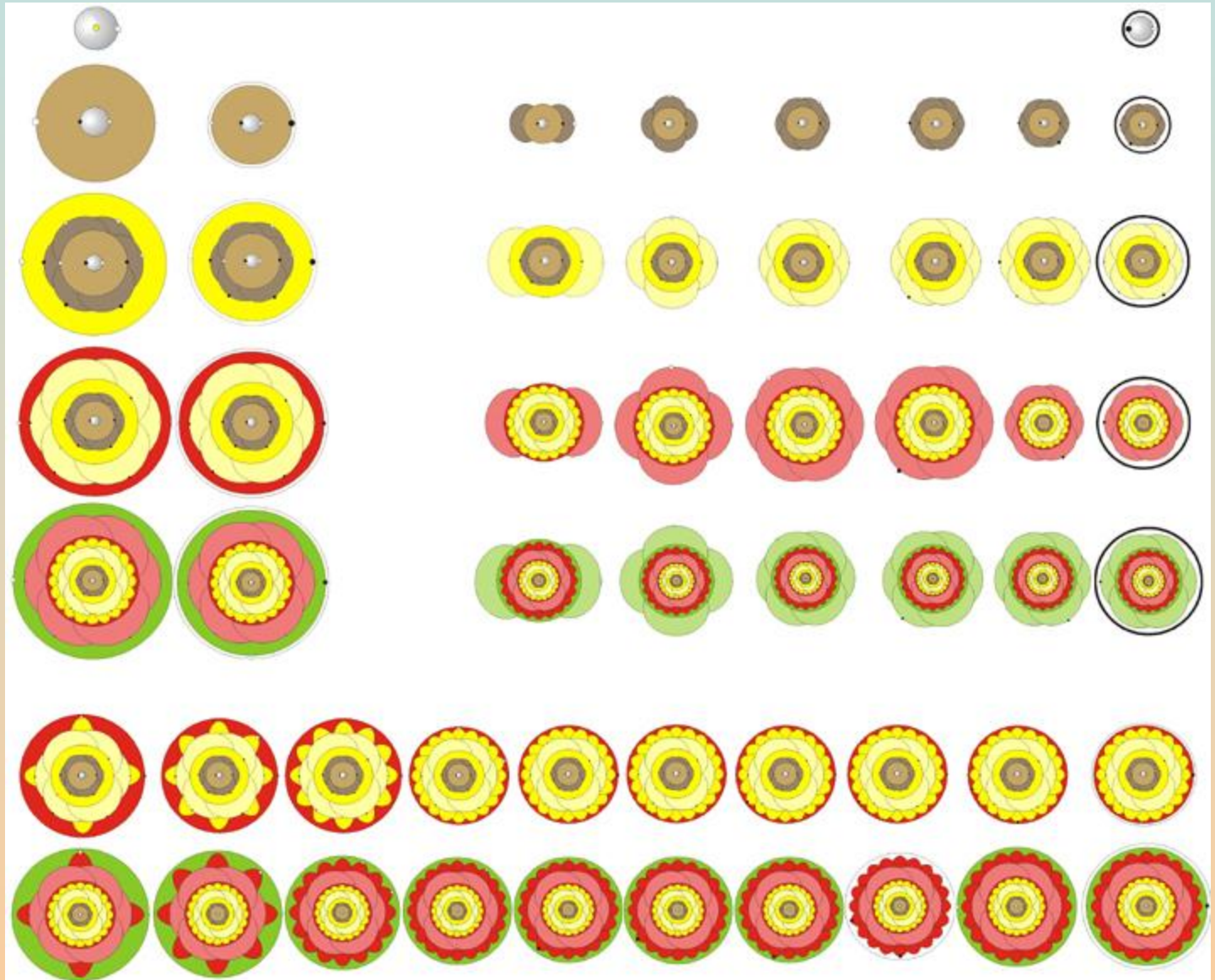
## Електронна конфігурація



Група

Валентна електронна  
конфігурація

1	$s^1$
2	$s^2$
13	$s^2 p^1$
14	$s^2 p^2$
15	$s^2 p^3$
16	$s^2 p^4$
17	$s^2 p^5$
18	$s^2 p^6$



# Розміри атомів та іонів

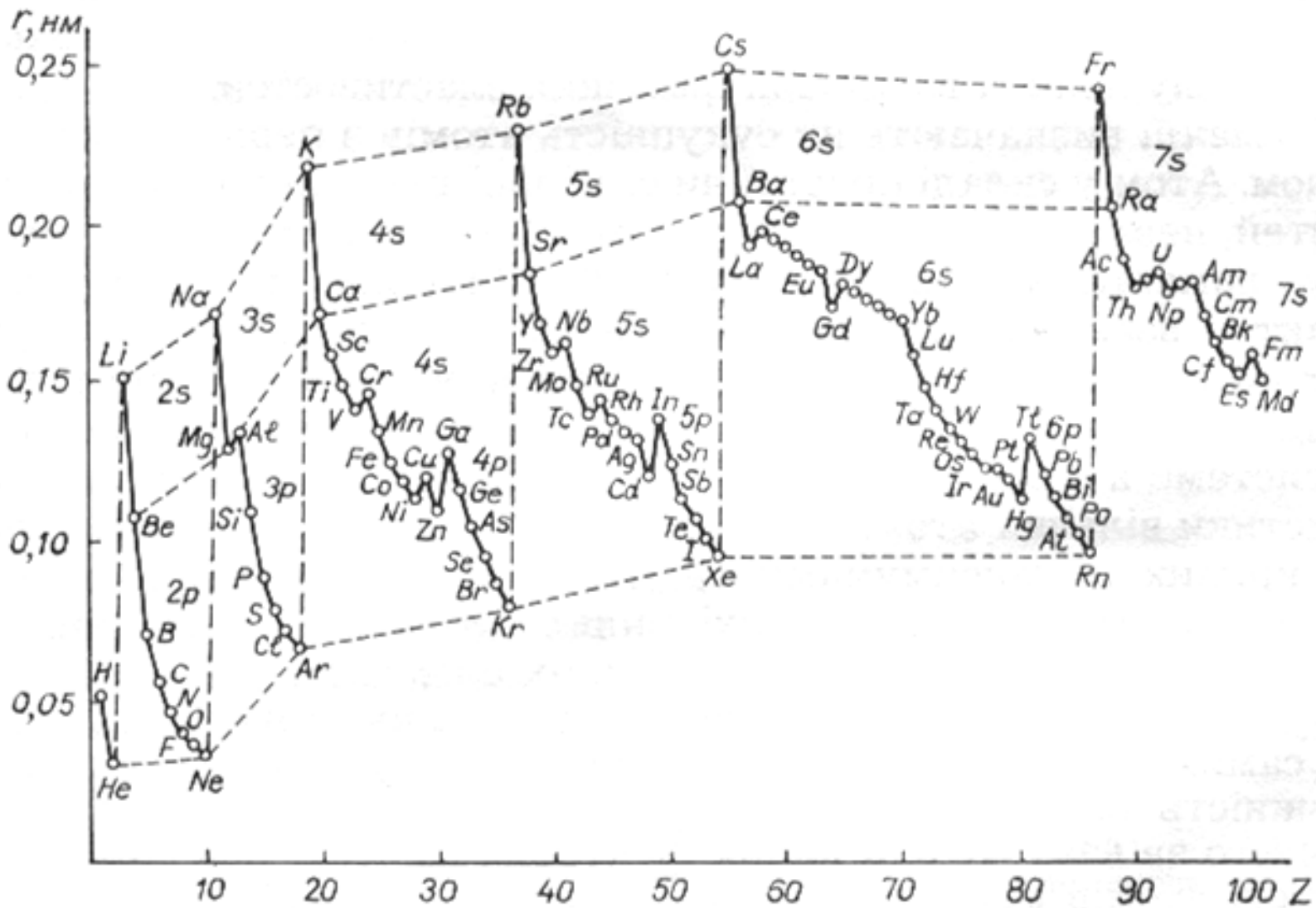
**орбітальний радіус атома** – теоретично розраховане положення основного максимуму густини зовнішніх електронних хмар

**ефективний радіус атома** – радіус сфери дії атома

Атомний номер	4	12	20	38	56	88
Атом	Be	Mg	Ca	Sr	Ba	Ra
Радіус [нм]	0,112	0,160	0,197	0,215	0,222	0,226
Іон	Be <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Sr <sup>2+</sup>	Ba <sup>2+</sup>	Ra <sup>2+</sup>
Радіус [нм]	0,031	0,065	0,099	0,113	0,135	0,140

Атомний номер	11	12	13	14	15	15	16	17
Атом	Na	Mg	Al	Si	P	P	S	Cl
Радіус [нм]	0,190	0,160	0,143	0,132	0,128	0,128	0,127	–
Іон	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Si <sup>4+</sup>	P <sup>5+</sup>	P <sup>3-</sup>	S <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>
Радіус [нм]	0,095	0,065	0,050	0,041	0,034	0,212	0,184	0,181 <sup>19</sup>

1A	2A	3A	4A	5A	6A	7A	8A
H 32							He 50
Li 152	Be 112	B 98	C 91	N 92	O 73	F 72	Ne 70
Na 186	Mg 160	Al 143	Si 132	P 128	S 127	Cl 99	Ar 98
K 227	Ca 197	Ga 135	Ge 137	As 139	Se 140	Br 114	Kr 112
Rb 248	Sr 215	In 166	Sn 162	Sb 159	Te 160	I 133	Xe 131
Cs 265	Ba 222	Tl 171	Pb 175	Bi 170	Po 164	At 142	Rn 140



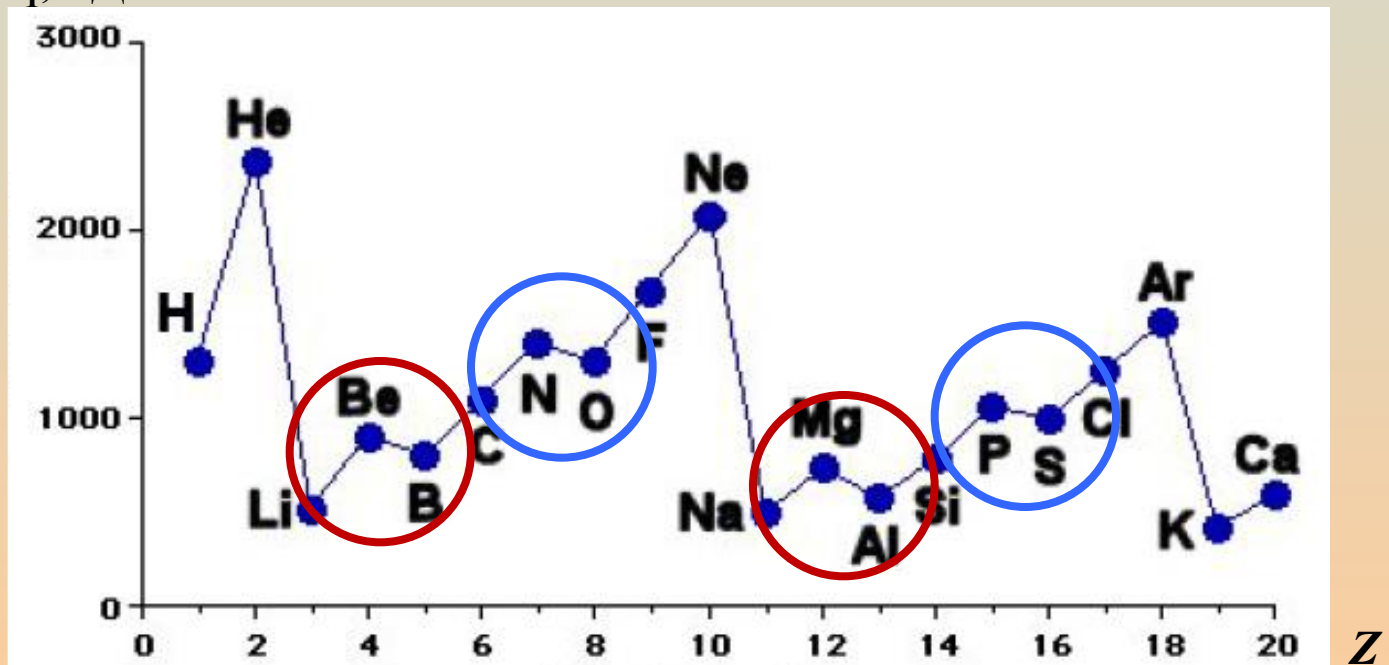
# Потенціал іонізації

$$E^0 + I_1 = E^+ + e^-$$

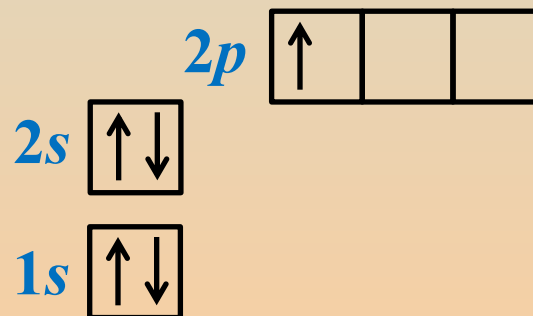
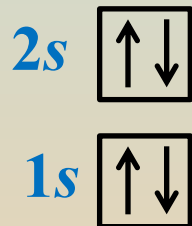
де  $I_1$  – енергія відриву одного електрона від електронейтрального атома

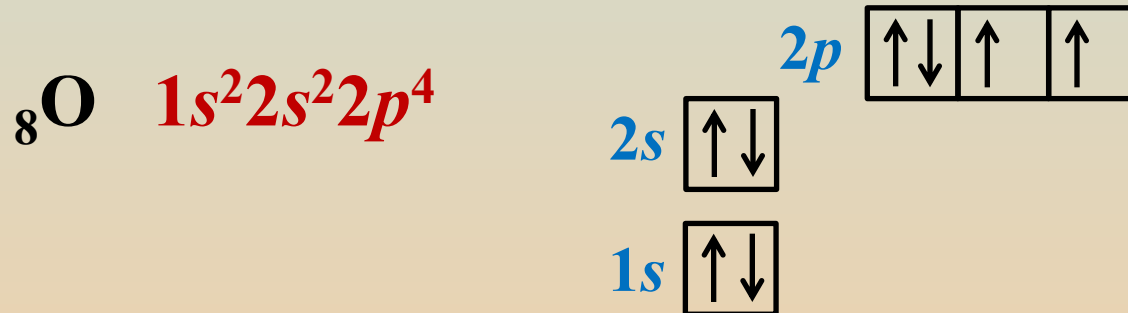
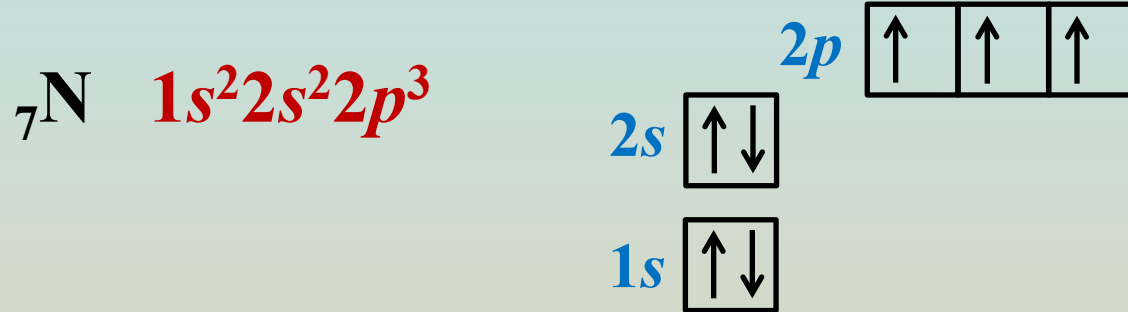
$$I_1 < I_2 < I_3 < \dots$$

$I_1$ , кДж



**Ефект екранування заряду ядра – послаблення зв'язку зовнішнього електрона з ядром атома через наявність між ними шарів внутрішніх електронів.**



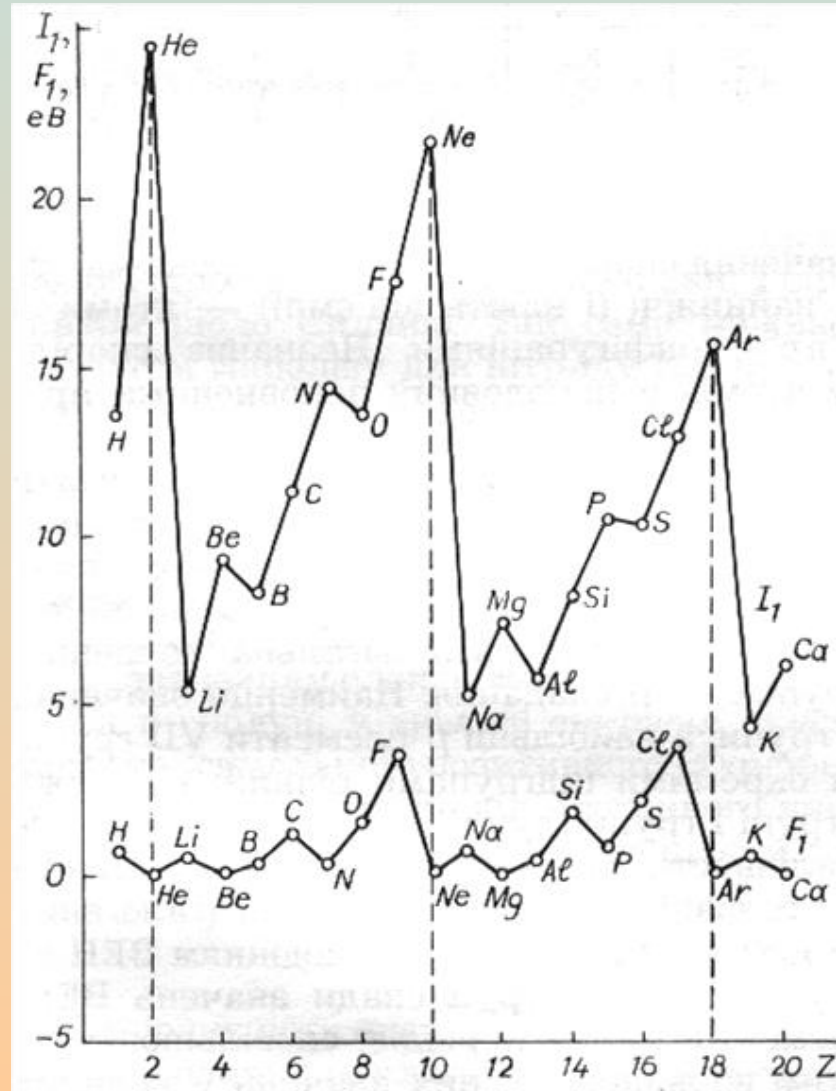


**Ефект проникнення електронів до ядра** – зміцнення зв'язку зовнішнього електрона з ядром атома через проникнення його до ядра крізь шари внутрішніх електронів.

# Спорідненість до електрона

$$E^0 + e^- = E^- + F_1$$

де  $F_1$  – енергія приєднання одного електрона до електронейтрального атома

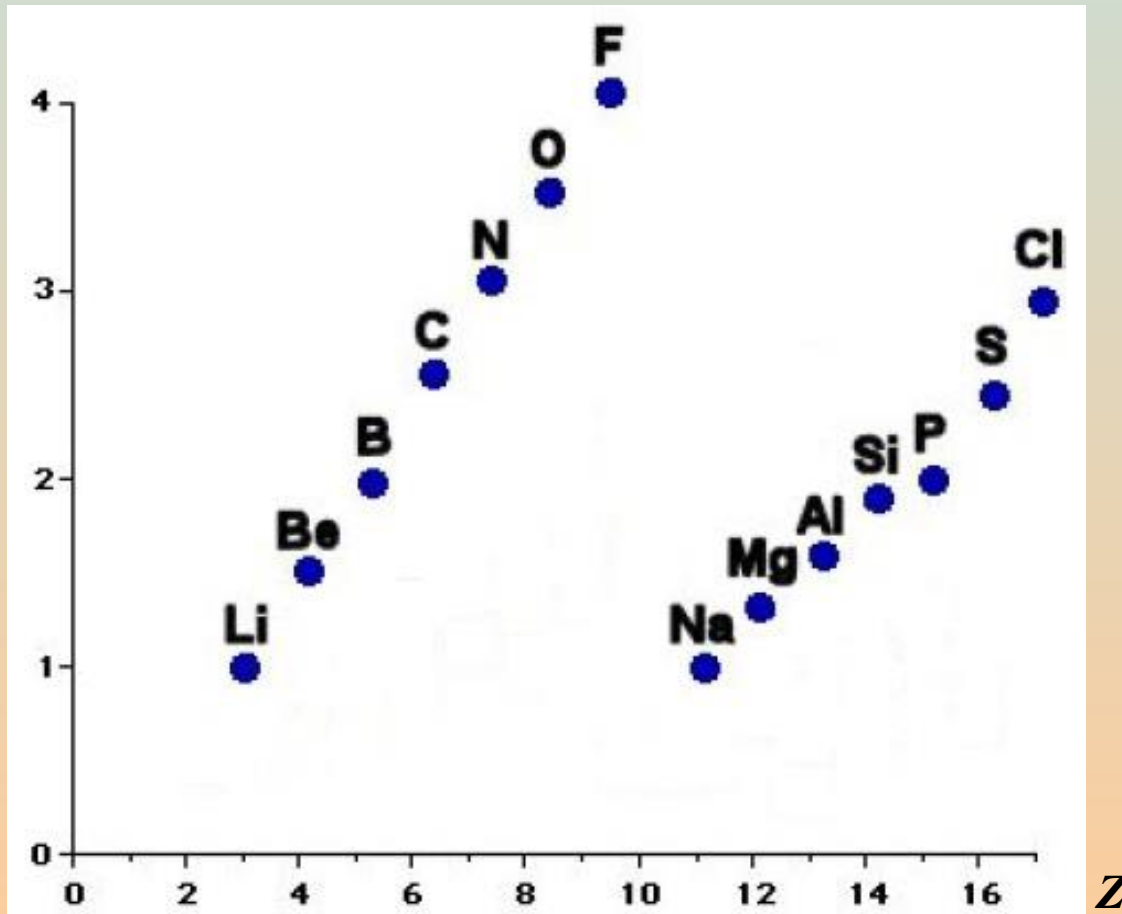


# Електронегативність

$$\chi = (I + F) / 2 \quad (\text{Маллікен})$$

$$\chi = (I + F) \cdot 0.187 + 0.17 \quad (\text{Полінг})$$

$\chi$  (Полінг)



# Шкала електронегативності елементів

<b>H</b>
2.1

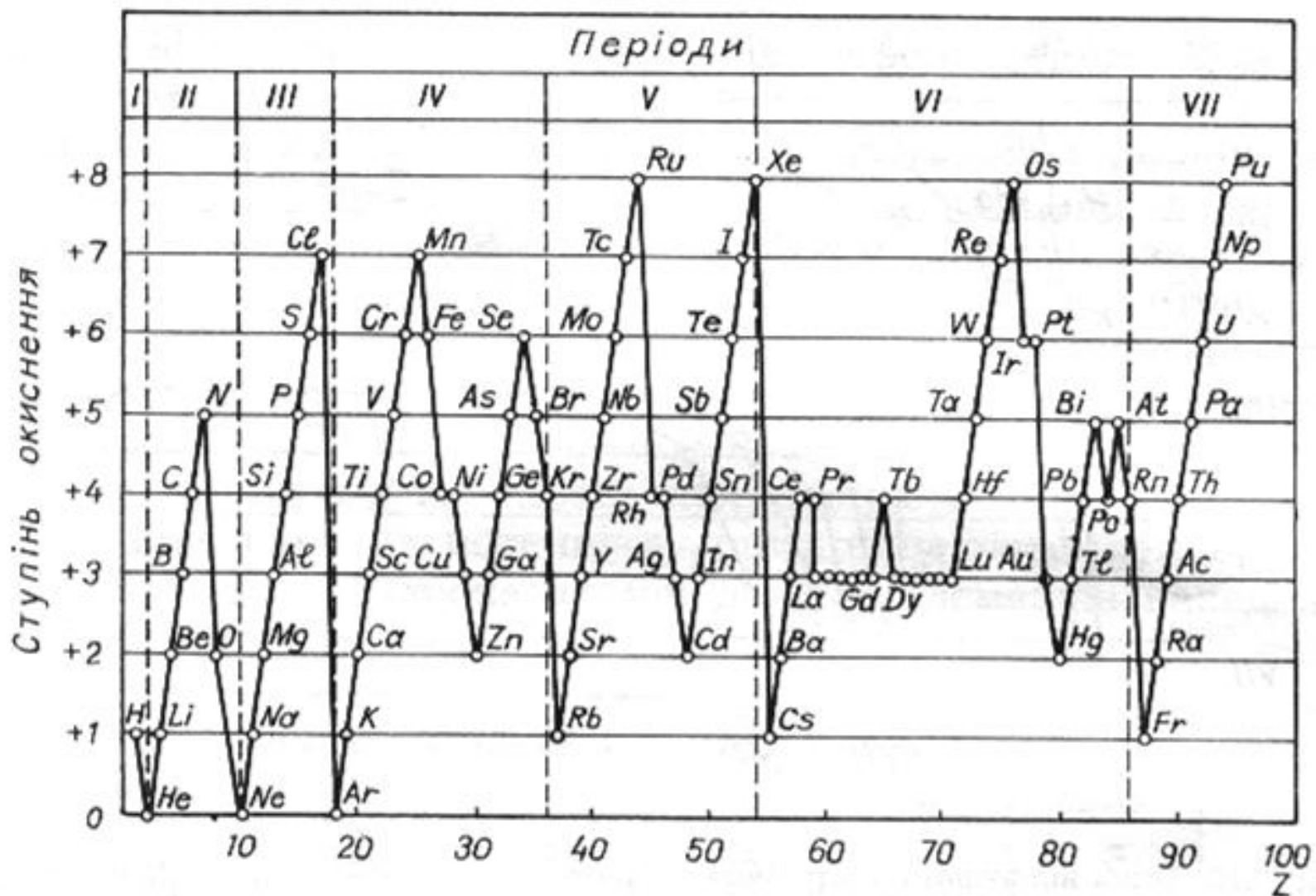
<b>Li</b>	<b>Be</b>
1.0	1.5
<b>Na</b>	<b>Mg</b>
0.9	1.2

<b>B</b>	<b>C</b>	<b>N</b>	<b>O</b>	<b>F</b>
2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
<b>Al</b>	<b>Si</b>	<b>P</b>	<b>S</b>	<b>Cl</b>
1.5	1.8	2.1	2.5	3.0



**Лінус  
Полінг**  
**1956 р.,  
Нобелівська  
премія**

# Ступінь окиснення



## Валентність

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$\underline{EH}$	$\underline{EH}_2$	$\underline{EH}_3$	$\underline{EH}_4$	$\underline{EH}_3$	$\underline{EH}_2$	$\underline{EH}$	-
$\underline{E_2O}$	$\underline{EO}$	$\underline{E_2O_3}$	$\underline{EO_2}$	$\underline{E_2O_5}$	$\underline{EO_3}$	$\underline{E_2O_7}$	-

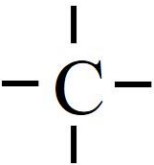
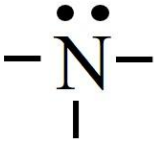
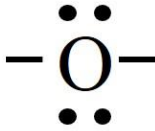
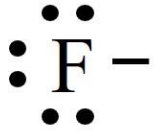
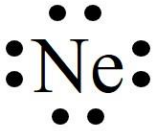
## Ефективний заряд на атом Оксигену

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
$\text{Na}_2\text{O}$	$\text{MgO}$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{P}_2\text{O}_5$	$\text{SO}_3$	$\text{Cl}_2\text{O}_7$	-
<b>-0,81</b>	<b>-0,35</b>	<b>-0,31</b>	<b>-0,23</b>	<b>-0,13</b>	<b>-0,06</b>	<b>-0,01</b>	-

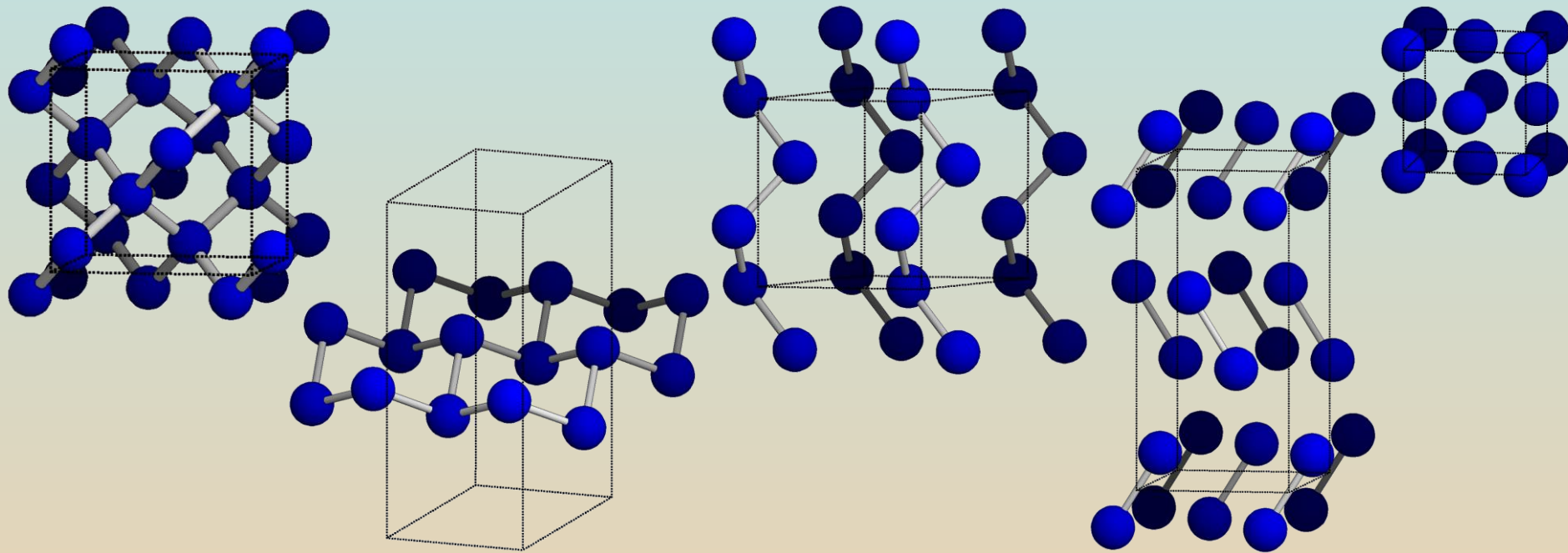
# Координаційне число

Правило октету:

кількість зв'язків на атом = 8 – номер групи

Col 4 4 bonds	Col 5 3 bonds	Col 6 2 bonds	Col 7 1 bonds	Col 8 0 bonds
				

# Координаційне число



IV	V	VI	VII	VIII
C				Ne
Si	P		Cl <sub>2</sub>	Ar
Ge	As	Se	Br <sub>2</sub>	Kr
Sn	Sb	Te	I <sub>2</sub>	Xe
	Bi			

**B**

