

# 第1章

# 原子结构与元素周期性质

*Atomic Structure and  
Periodic Properties of Elements*



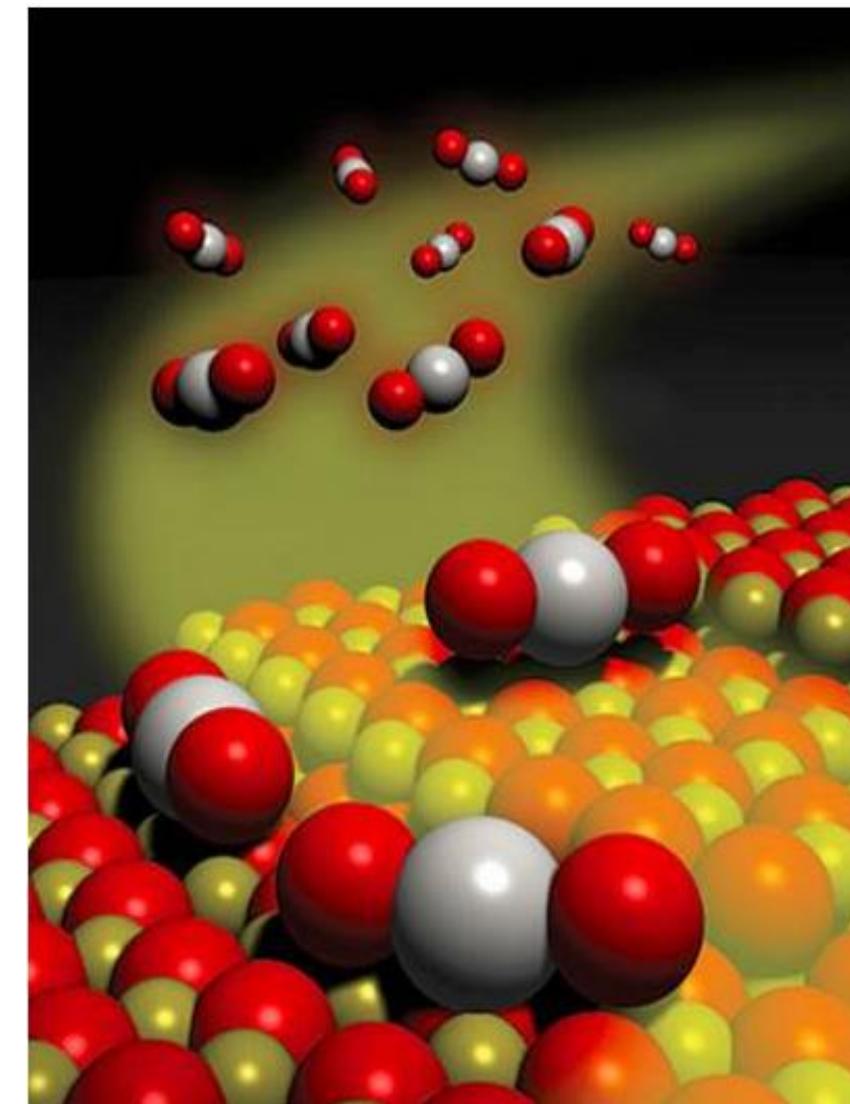
# 本章内容提要

§ 1 氢原子结构

§ 2 多电子原子结构

§ 3 原子结构与元素周期表

§ 4 元素性质的周期性



## § 2 多电子原子结构

### 2.1 多电子原子轨道能级

### 2.2 核外电子的排布



解薛定谔方程，得到电子在轨道中运动的能量公式：

$$E_{1s} = -\frac{z^2}{n^2} (2.179 \times 10^{-18}) \text{J}$$

$z$ 为核电荷数， $n$ 为轨道主量子数。

氢原子基态时， $z=1$ ， $n=1$ ，按照公式计算，  
原子轨道能量为：

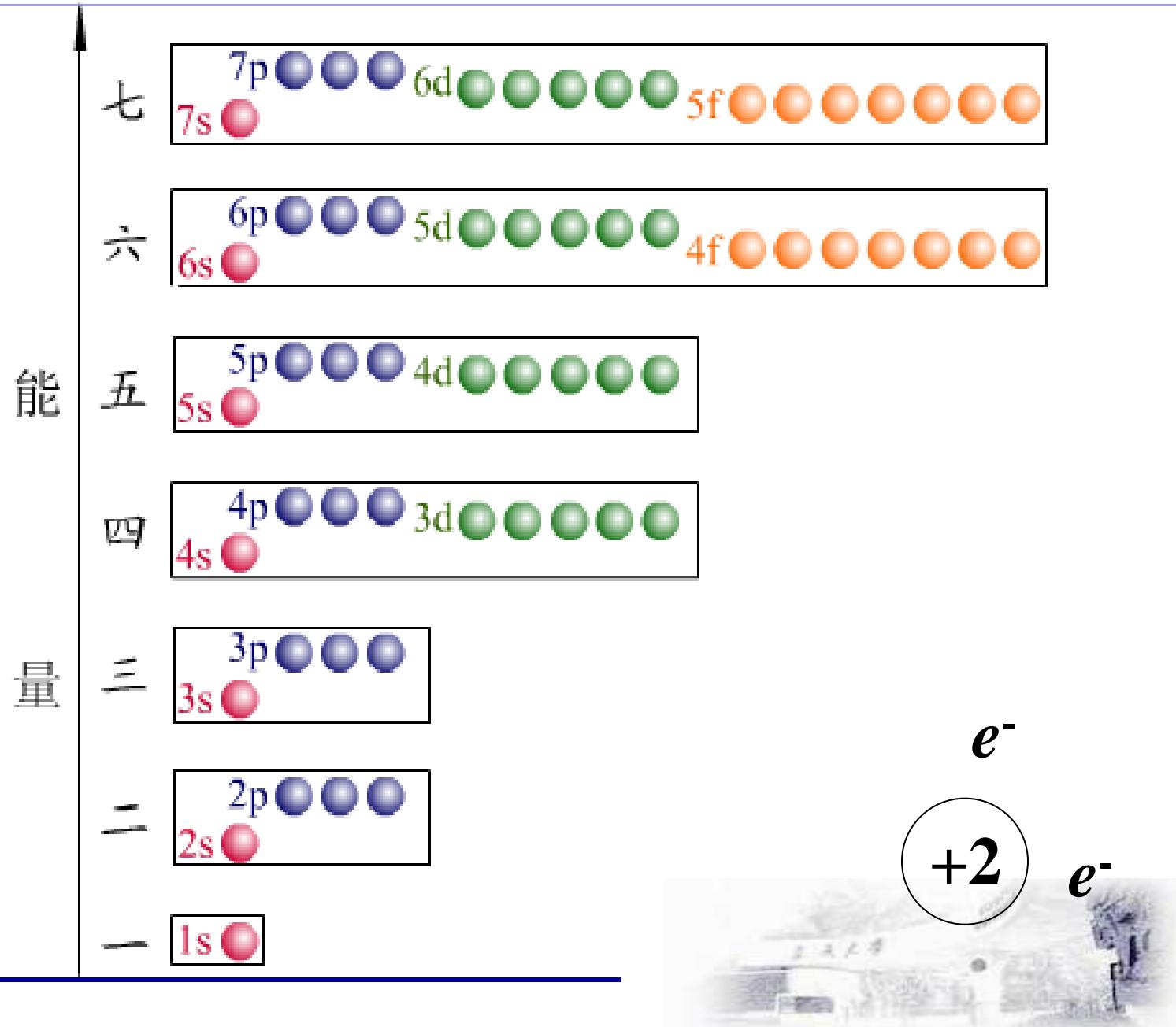
$$2.179 \times 10^{-18} \text{J}$$





## 2.1 多电子原子轨道能级

### 1). Pauling近似能级图



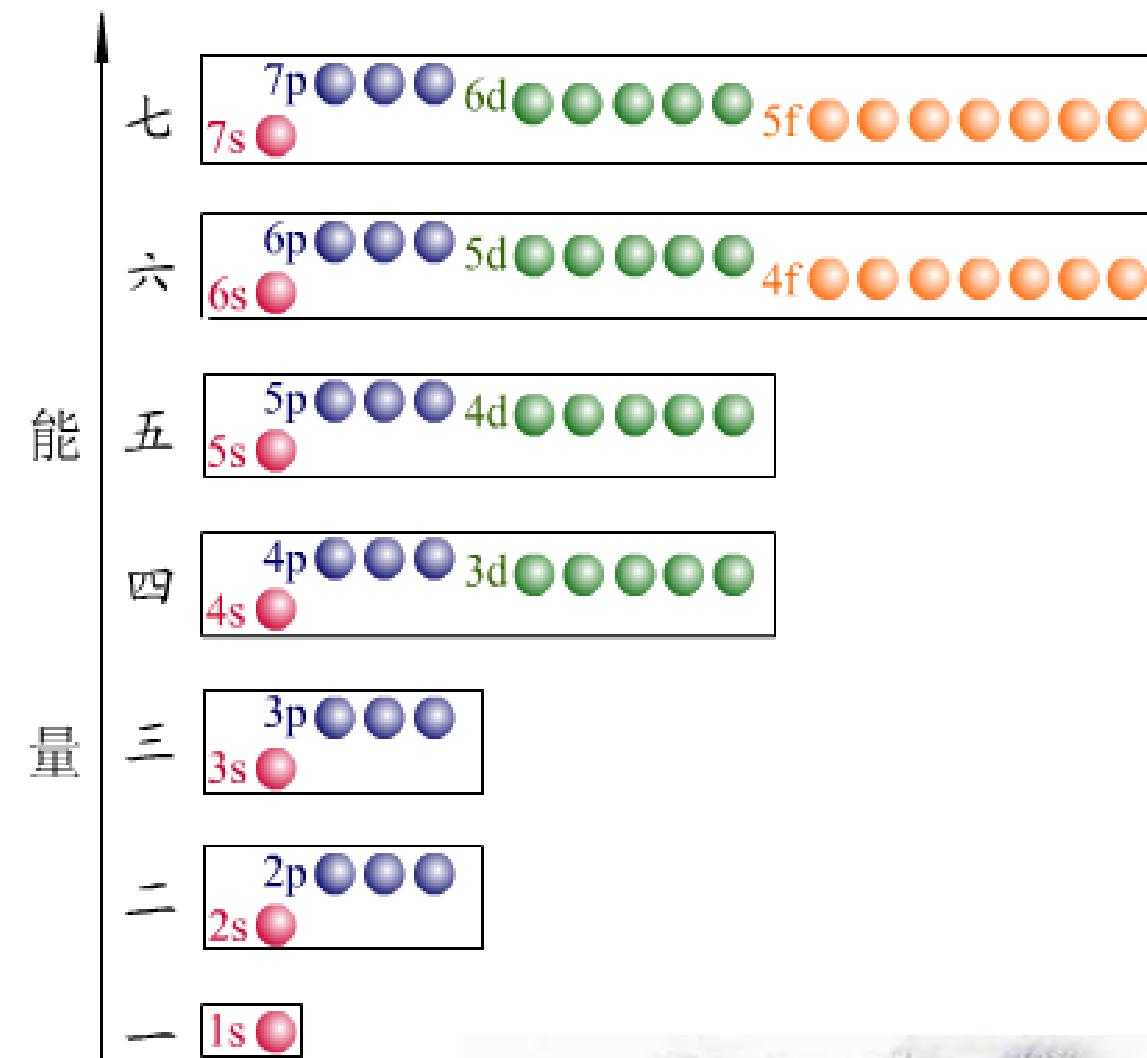
$$E_{1s} < E_{2s} < E_{3s} < E_{4s} \dots$$

$l$  相同的能级，能量随  $n$  增大而升高。

$$E_{ns} < E_{np} < E_{nd} < E_{nf} \dots \text{“能级分裂”}$$

$n$  相同的能级，能量随  $l$  增大而升高。

$$E_{4s} < E_{3d} < E_{4p} \dots \text{“能级交错”}.$$



徐光宪能级高低的近似原则：

$$n + 0.7l$$

例如：第四能级组

$$4s < 3d < 4p$$

$$n + 0.7l \quad 4.0 \quad 4.4 \quad 4.7$$

第六能级组

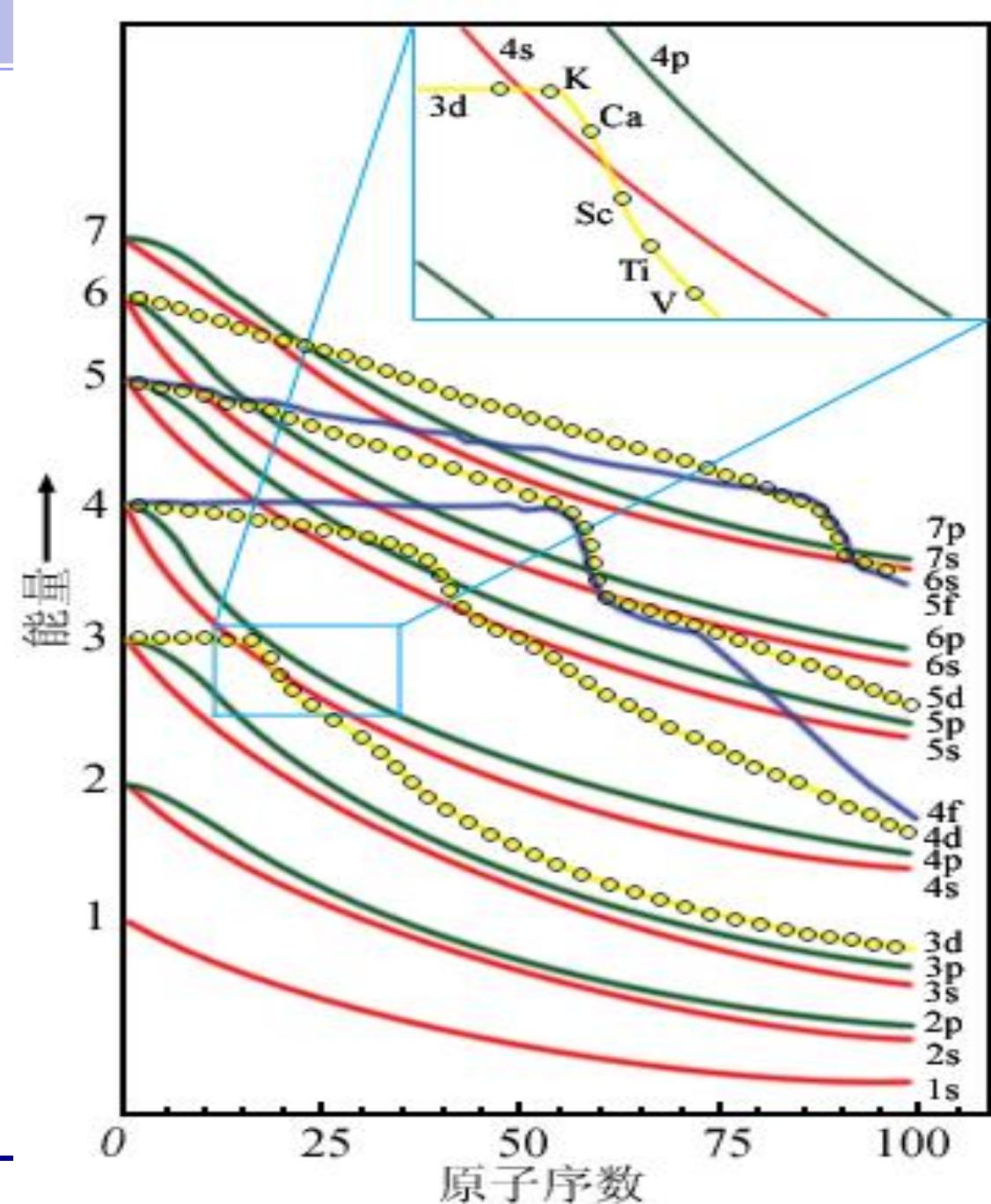
$$6s < 4f < 5d < 6p$$

$$n + 0.7l \quad 6.0 \quad 6.1 \quad 6.4 \quad 6.7$$

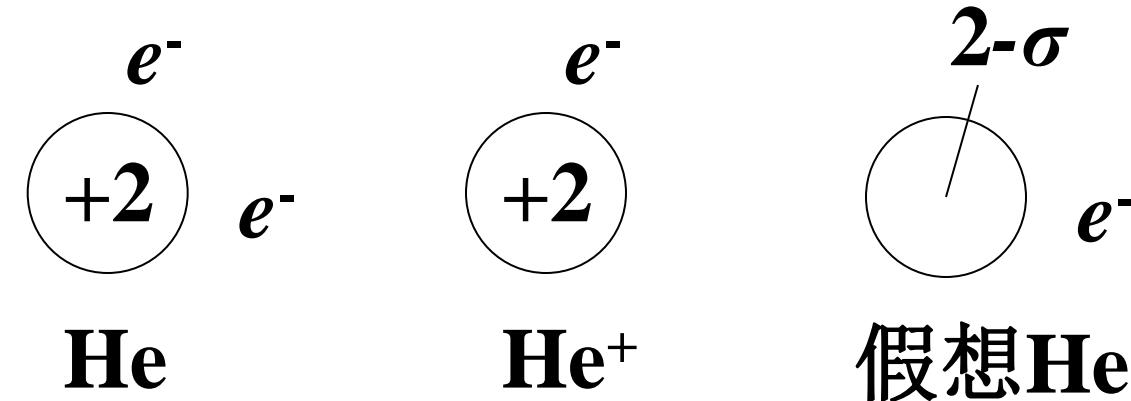


## 2). Cotton原子轨道能级图

- $n$  相同的氢原子轨道的简并性。
- 原子轨道的能量随原子序数的增大而降低。
- 随着原子序数的增大，原子轨道产生能级交错现象。



## 3). 屏蔽效应



屏蔽效应：由核外电子云抵消一些核电荷的作用。

$$E = \frac{-2.179 \times 10^{-18} (Z - \sigma)^2}{n^2} \text{ J}$$

$\sigma$ 为屏蔽常数，可用 Slater 经验规则算得。

$$Z - \sigma = Z^* \quad Z^* \text{ —— 有效核电荷数}$$



有效核电荷:  $Z^* = Z - \sigma$  (  $\sigma$  称屏蔽常数)

**Slater规则:**

- (1) 分组;
- (2) 外层  $\sigma = 0$ ;
- (3) 同组  $\sigma = 0.35$ ;
- (4) 邻组  $\sigma = 0.85$  (s,p), 1.00(d,f);
- (5) 内组  $\sigma = 0.85$  (s,p), 1.00(d,f)

[例] 求碳原子的2p电子的屏蔽常数

C: 1s<sup>2</sup>2s<sup>2</sup>sp<sup>2</sup>

$$\sigma = 3 \times 0.35 + 2 \times 0.85 = 2.75$$

$$Z^* = Z - \sigma = 6 - 2.75 = 3.25$$

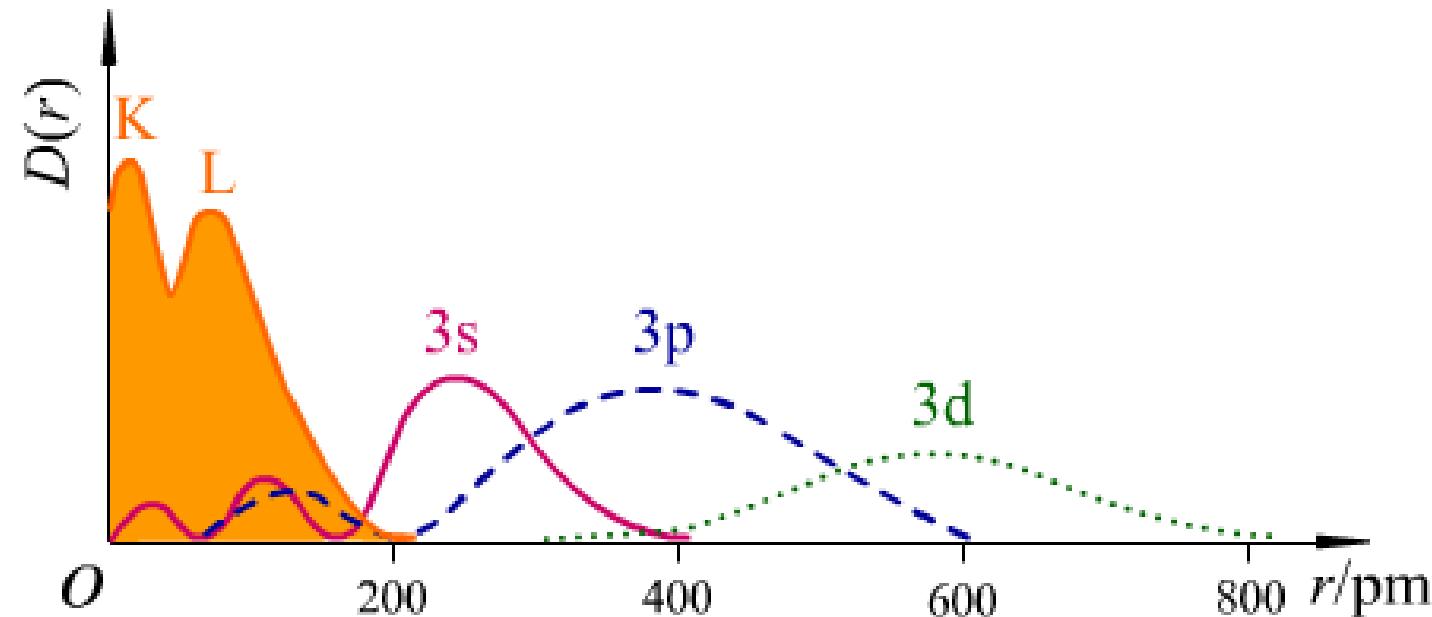
分组(1s) (2s2p) (3s3p) (3d) (4s4p) (4d) (5s5p) (5d) .....

能级除取决于主量子数  $n$  外, 还与角量子数  $l$  等有关。



## 4). 钻穿效应

电子进入原子内部空间，受到核较强的吸引作用。

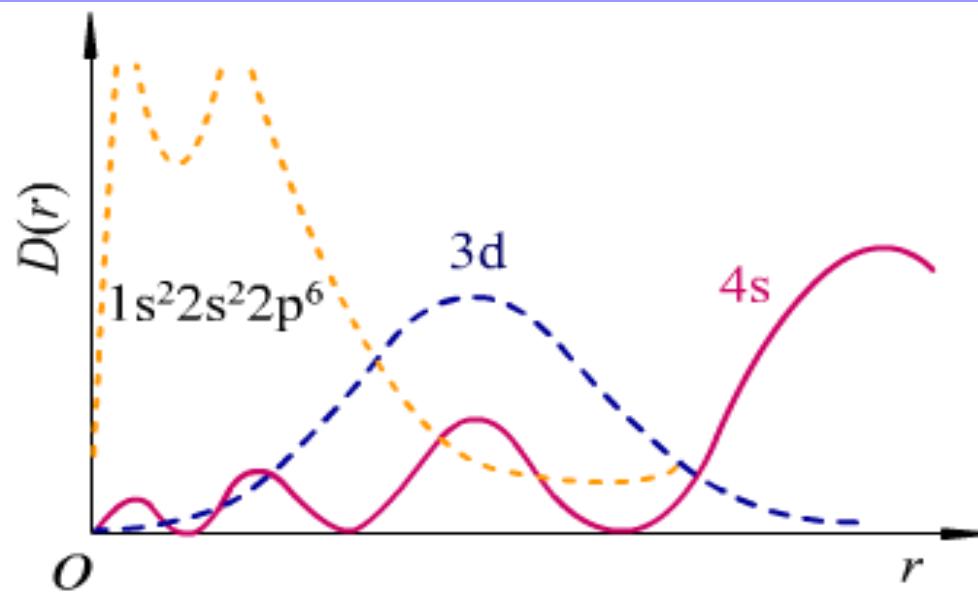
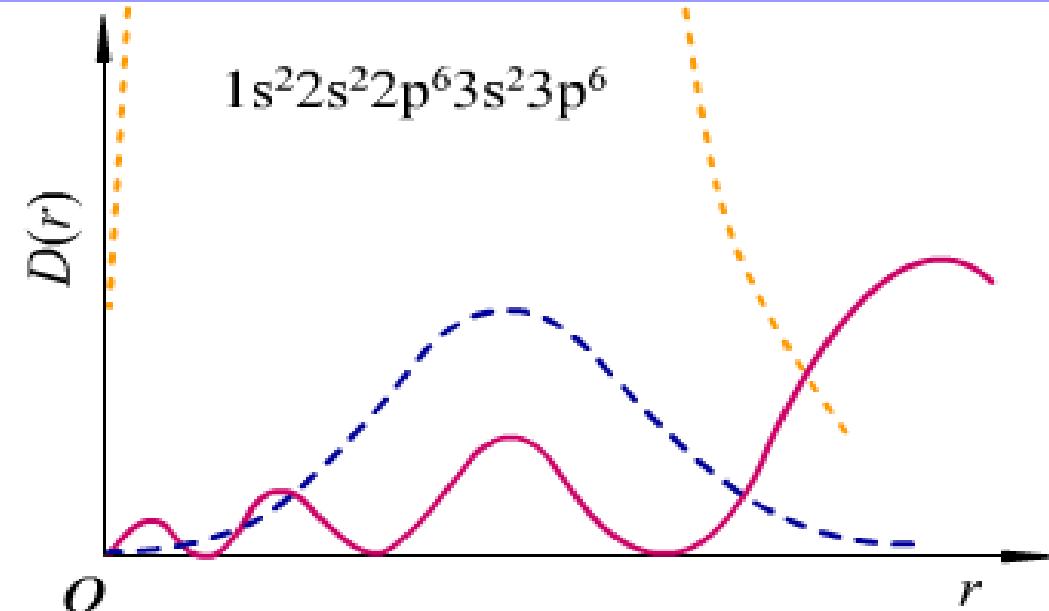


钠原子的电子云径向分布图

$n$ 相同时， $l$ 愈小的电子，钻穿效应愈明显：

$$ns > np > nd > nf, E_{ns} < E_{np} < E_{nd} < E_{nf}.$$



3d和4s对 $1s^2 2s^2 2p^6$ 原子芯的钻穿3d和4s对 $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ 原子芯的钻穿

$8 \leq Z \leq 20$ : 4s对K, L内层原子芯钻穿大,

$$E_{4s} < E_{3d}$$

$Z \geq 21$ : 4s对原子芯钻穿效应相对变小,

$$E_{4s} > E_{3d}$$



## 2. 核外电子的排布

### 1). 基态原子的核外电子排布原则

- **最低能量原理**

电子在核外排列应尽先分布在低能级轨道上，使整个原子系统能量最低。

- **Pauli不相容原理**

每个原子轨道最多容纳两个自旋方式相反的电子。

- **Hund 规则**

在  $n$  和  $l$  相同的轨道上分布的电子，将尽可能分占  $m$  值不同的轨道，且自旋平行。





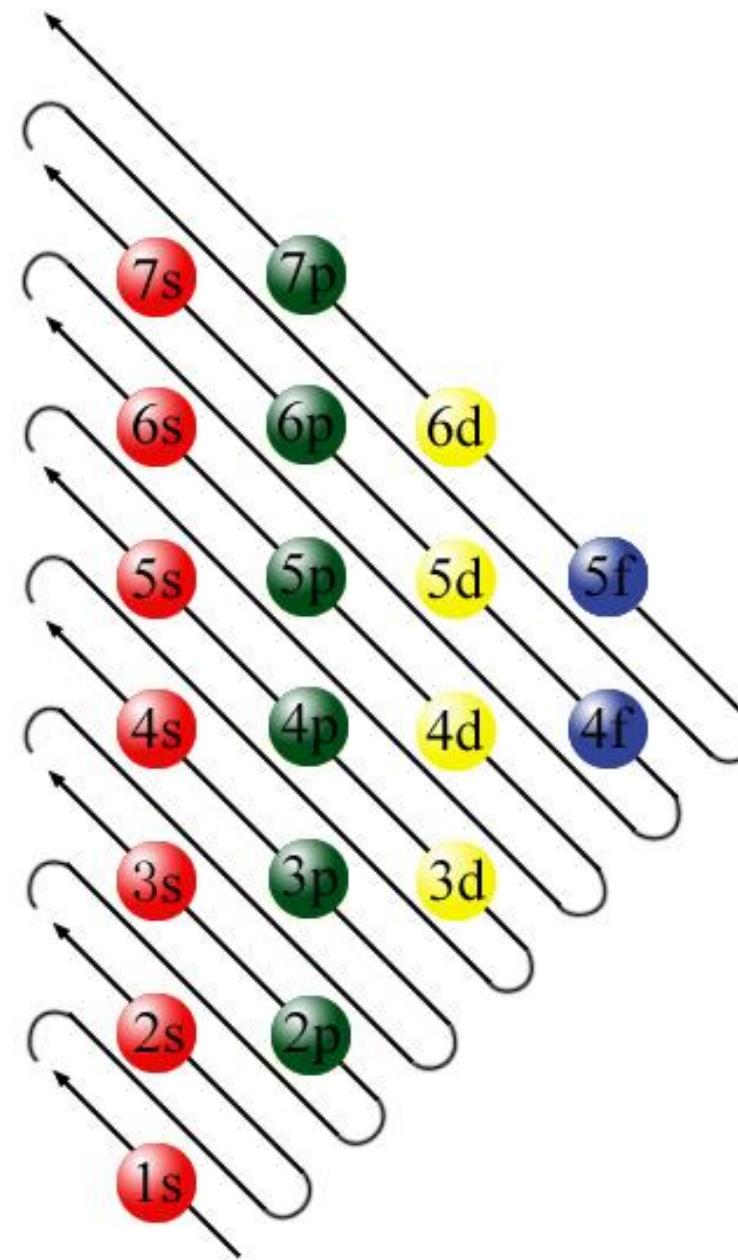
## 2). 基态原子的核外电子排布

基态原子的核外电子在各原子轨道上排布顺序：

**1s,2s,2p,3s,3p,4s,3d,4p,5s,4d,5p,6s,4f,5d,6p,**  
**7s,5f,6d,7p.....**

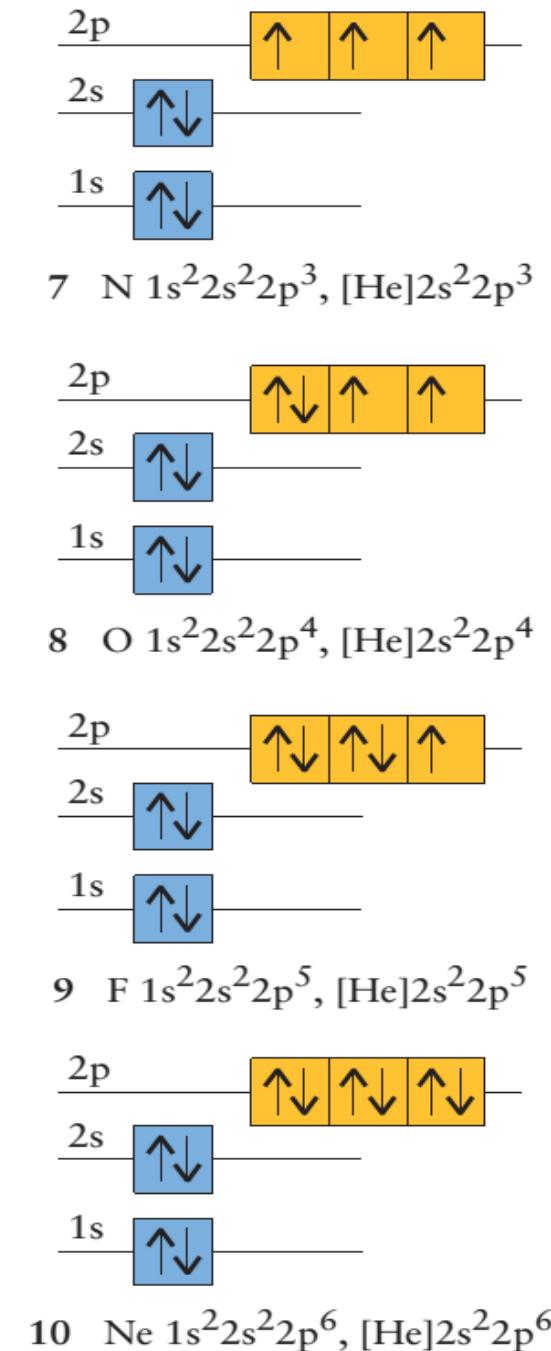
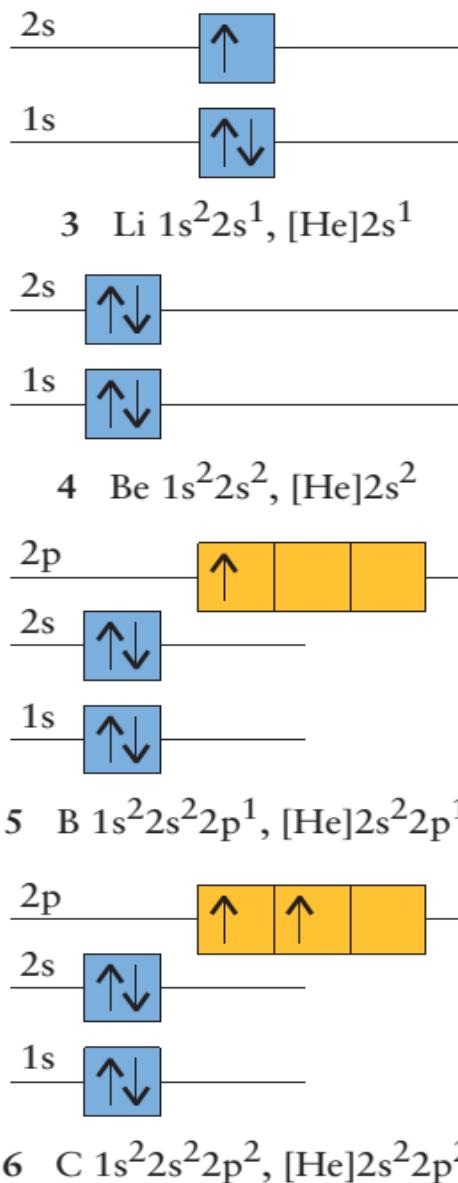
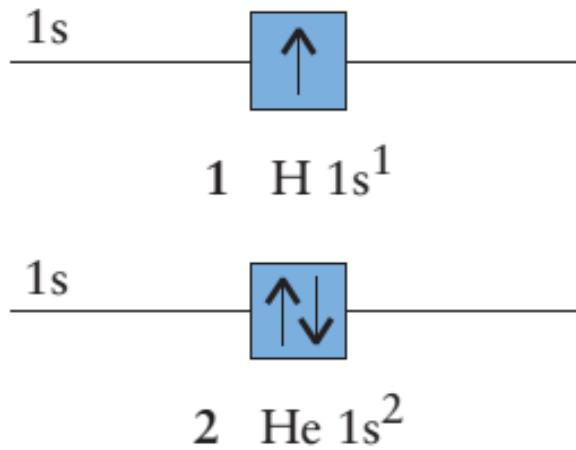
出现d轨道时，依照 **$ns, (n-1)d, np$** 顺序排布； d,f轨道均出现时，  
依照 **$ns, (n-2)f, (n-1)d, np$** 顺序排布。





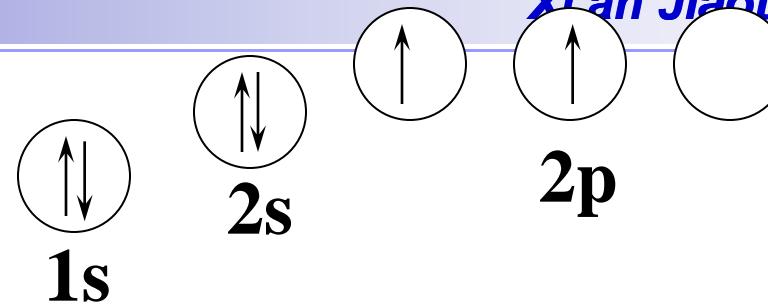
帮助记忆图







C:  $1s^2 2s^2 2p^2$



N: [He]  $2s^2 2p^3$

Z=24      Cr:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$   
              [Ar]  $3d^5 4s^1$

Z=29      Cu: [Ar]  $3d^{10} 4s^1$

[He]、[Ar]——原子芯

全满:  $p^6, d^{10}, f^{14};$   
半满:  $p^3, d^5, f^7;$   
全空:  $p^0, d^0, f^0.$

•半满全满规则:



Z=11, Na:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$  或  $[Ne] 3s^1$ ,

Z=20, Ca:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$  或  $[Ar] 4s^2$ ,

Z=50, Sn:  $[Kr] 4d^{10} 5s^2 5p^2$ ,

Z=56, Ba:  $[Xe] 6s^2$ 。

价电子:

例如: Ca的价电子排布式为:  $4s^2$ 。



## 判断题

- 1 基态氢原子的能量具有确定值，但核外电子的位置不确定。
- 2 因为氢原子只有一个电子，所以它只有一条原子轨道。
- 3 多电子原子中，电子的能量决定于主量子数n和角量子数l。
- 4 某原子的价电子构型为 $2s^22p^2$ ，若用四个量子数表示 $2p^2$ 两个价电子的运动状态，则分别为2, 2, 0, -1/2和2, 2, 1, +1/2。
- 5  $n=5$ ,  $l=2$ 的原子轨道可表示为5p轨道，它共有3种空间伸展方向,最多可容纳6个电子。



## 原子核外电子排布主要应遵循

- A 统计规律
- B 能量最低原理
- C 泡利不相容原理
- D 洪特规则



用量子数描述的下列亚层中，可以容纳电子数最多的是

- A  $n=2, l=1$
- B  $n=3, l=2$
- C  $n=4, l=3$
- D  $n=5, l=0$



提交

## 选择题

对于基态原子电子排布规则，下列叙述中正确的是

A

按照洪特规则，每个电子层的电子容量为 $2n^2$ 个

B

当轨道处于完全充满时，电子较稳定，故Br (35) 的电子排布为 [Ar]3d<sup>10</sup>4s<sup>1</sup>4p<sup>6</sup>

C

原子中核外电子的分布是根据三规则、一特例得出的

D

能量最低原理解决了电子在不同亚层中的排布顺序问题，而洪特规则解决了电子在简并轨道中的排布问题



## § 3 原子结构与元素周期表

### 3.1 元素的周期

### 3.2 元素的族和区的划分







## 不同形式的元素周期表

从外观看，化学元素周期表大约有5类

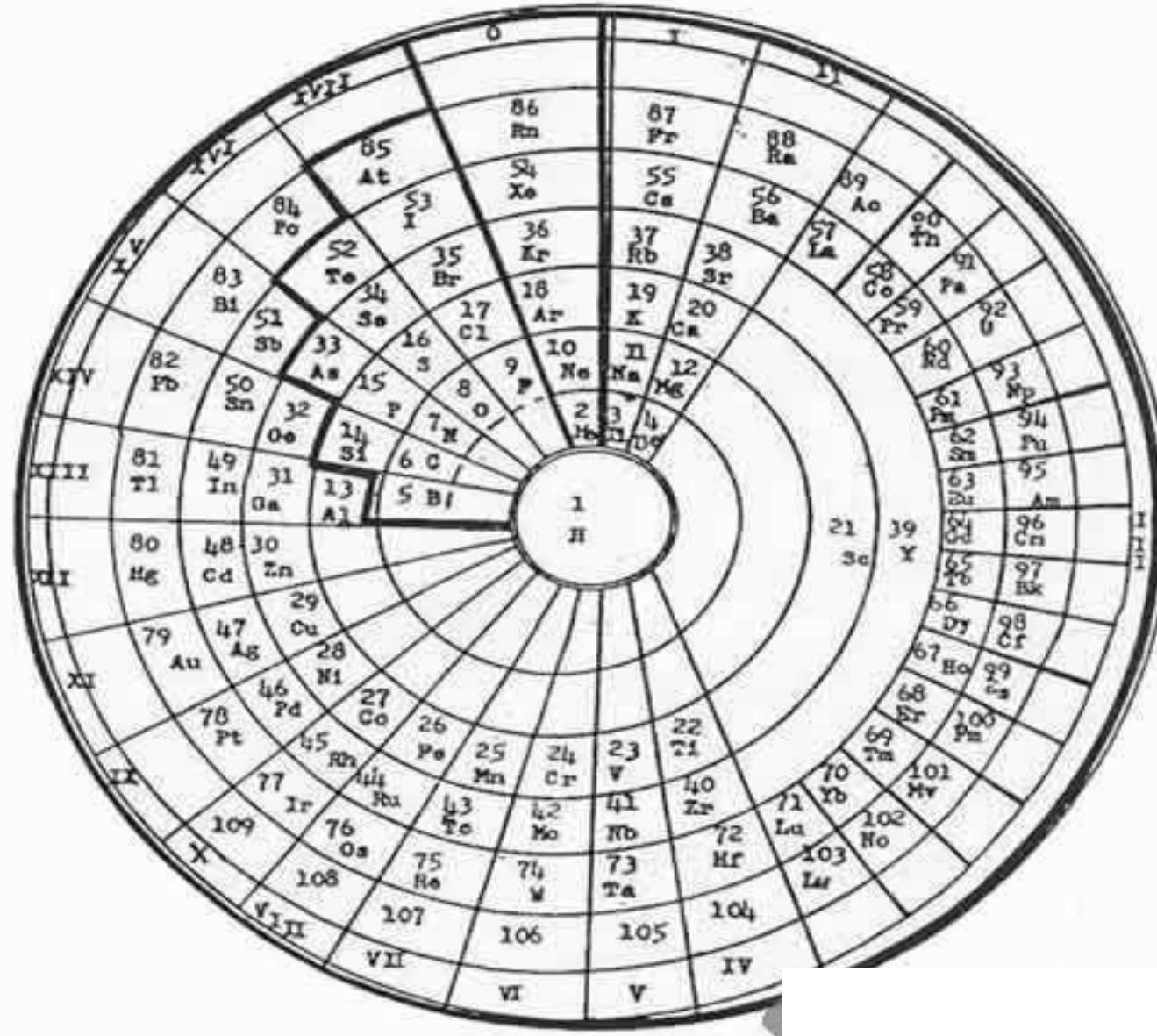
1. 短式周期表
2. 塔式或台阶式周期表
3. 环形、扇形、蜗牛形、螺旋形等形式的周期表
4. 立体式周期表
5. 长式周期表

- 化学元素周期表经过140年的锤炼得到了不断的修正、充实和拓展
- 100多种各具特色的元素在周期表中体现了从无序到有序的整合，达到了**自由创造与自然科学美的结合**。

恩格斯在创立自然辩证法时指出：

“理论自然科学把自己的自然观尽可能地制成一个和谐的整体”。







		C 6	B 5	S 16	Cl 17	V 23	Ti 22	Sc 21	Re 41	Rh 45	Pd 46	Nd 60	Pt 99	Ce 58	La 57	Os 96	Bk 97	Cl 98	Es 99
	He 2	N 7	Ia 3	Mg 12	A 13	Cr 24	Ge 32	Ga 31	Ts 52	I 53	Ag 47	Sm 62	Ta 73	Hf 72	Lu 71	Hs 108	Mts 109	Uus 110	Fm 100
H 1		P 15	Na 11	Be 4	Ne 10	Tc 43	Sb 51	Pa 37	Ca 20	Kr 36	Zn 30	Eu 63	Re 75	Bi 83	Cs 55	Rs 80	Qb 113	Uub 112	No 102
		Si 14	Al 13	O 8	F 9	Mo 42	Sn 50	In 49	Se 34	Bu 35	Ca 29	Hs 94	Sg 116	Uap 114	Uut 113	Po 84	At 85	Hg 79	Yb 69
						Nb 41	Zr 40	Y 39	Fe 26	Co 27	Ni 28	Np 93	Hs 105	Rf 104	Lr 103	Os 76	Ir 77	Pt 78	Ds 68
												U 92	Pu 91	Ts 90	Ac 89	Cs 64	Tb 65	Dy 66	Ha 67

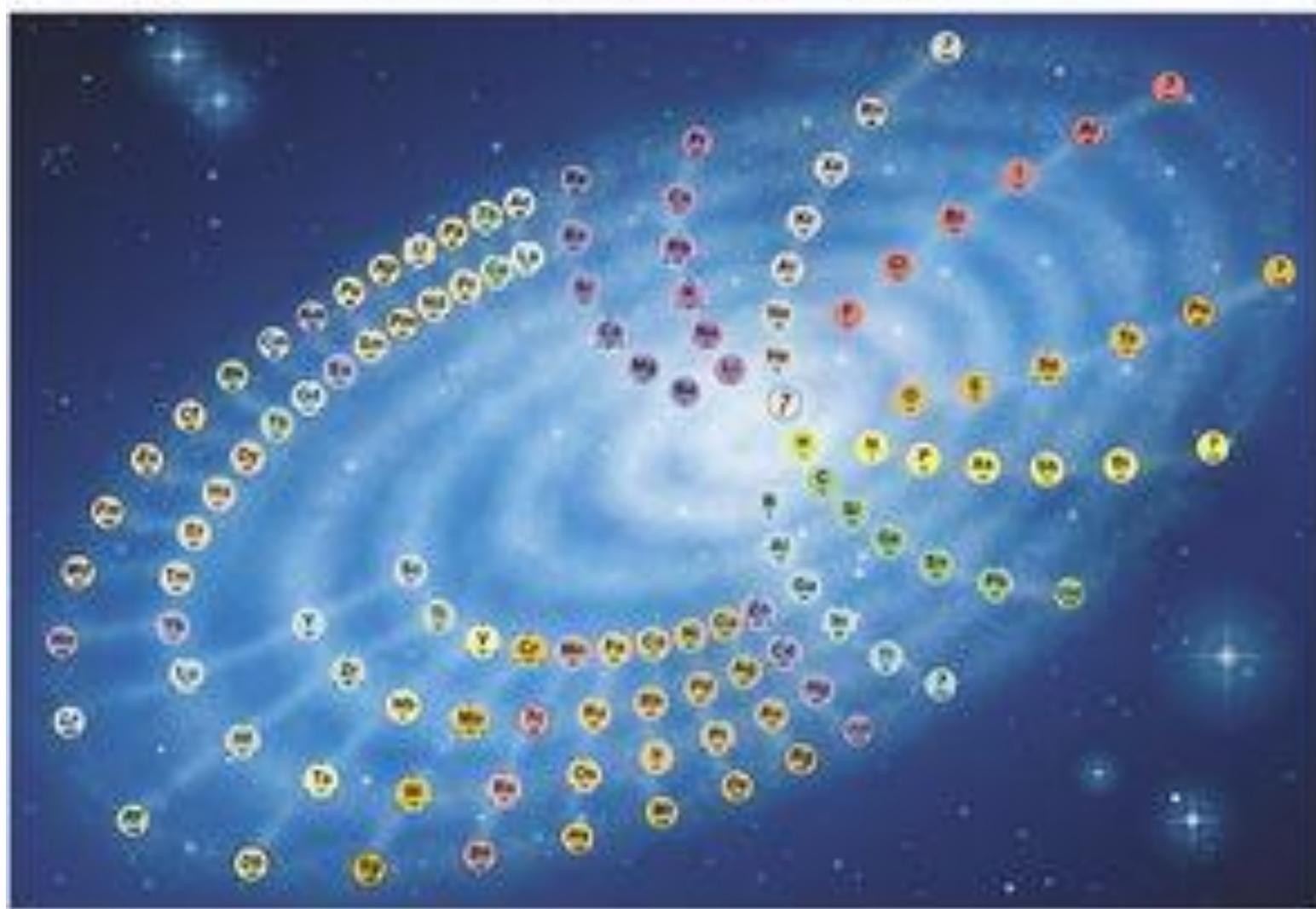
透视式元素周期表

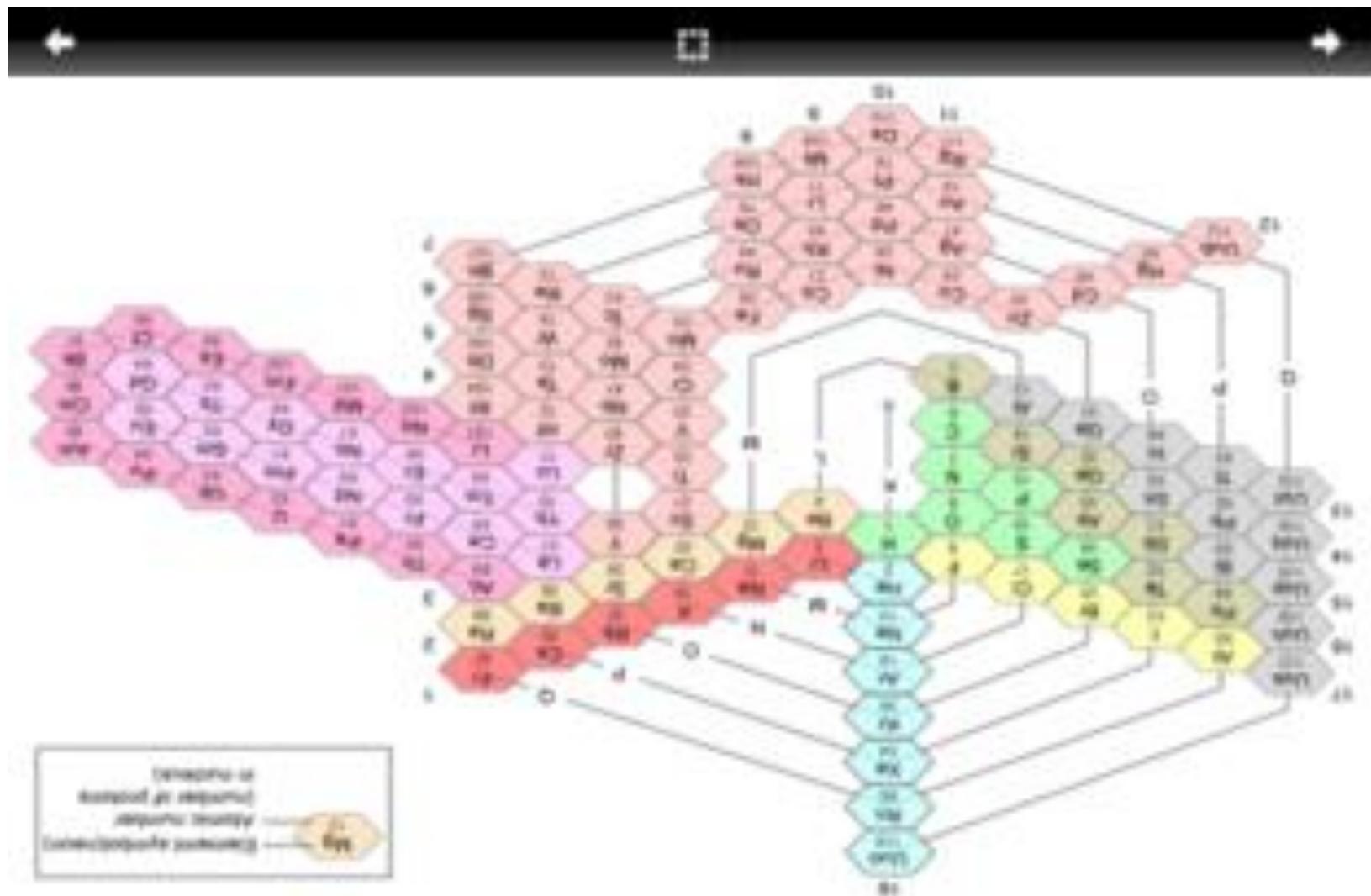




## CHEMICAL GALAXY II

A NEW VISION OF THE PERIODIC SYSTEM OF THE ELEMENTS

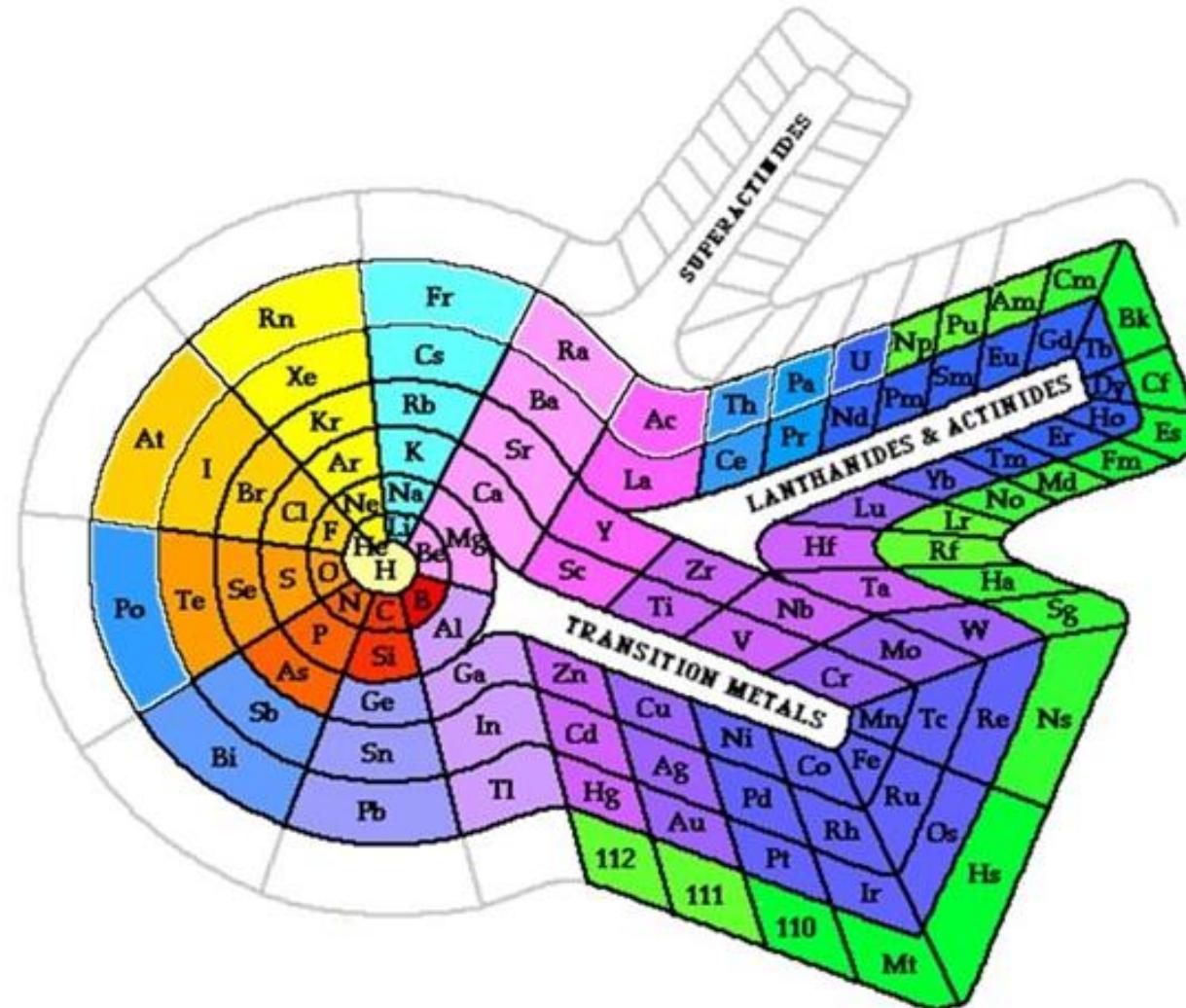






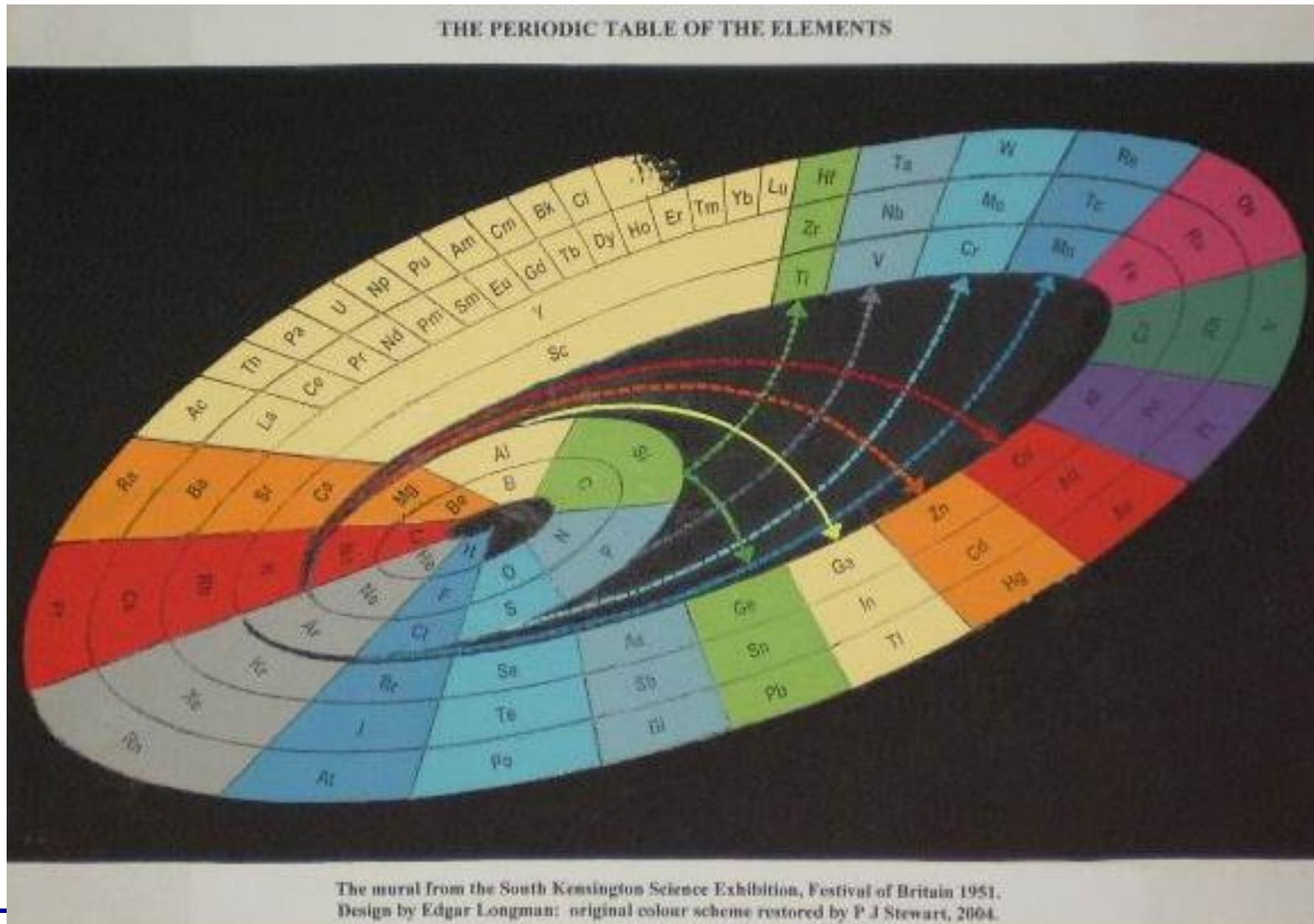
## The Mayan Periodic Chart of the Elements





螺旋式元素周期表（2）

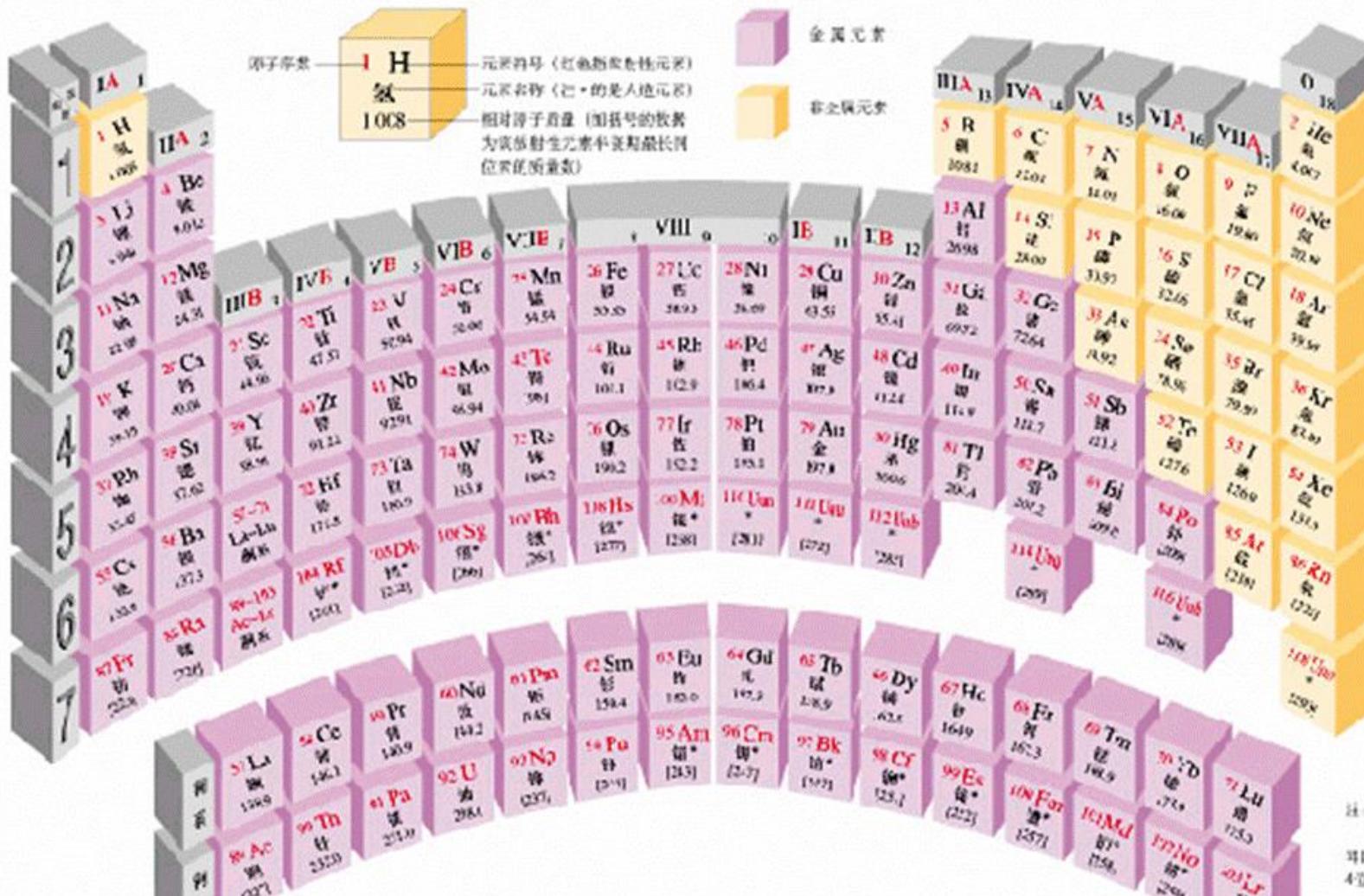








## 元素周期表





元素周期表

IA	元素周期表																		0																															
1 H 氢 1.008	IIA																				2 He 氦 4.003																													
3 Li 锂 6.941	4 Be 铍 9.012																				3 He 氦 4.003																													
11 Na 钠 22.990	12 Mg 镁 24.305																				5 B 硼 10.81																													
13 K 钾 39.098		14 Ca 钙 40.078		15 Sc 钪 44.956		16 Ti 钛 47.867		17 V 钒 50.944		18 Cr 钬 51.980		19 Mn 锰 54.938		20 Fe 铁 55.847		21 Co 钴 58.933		22 Ni 镍 58.693		23 Cu 铜 63.546		24 Zn 锌 65.401		25 Ga 镉 69.721		26 Ge 锗 71.923		27 As 阿斯 74.924		28 Se 硒 78.904		29 Br 溴 80.912		30 Kr 氪 83.800																
37 Rb 铷 85.460		38 Sr 钡 87.620		39 Y 钇 88.906		40 Zr 锆 91.226		41 Nb 钼 91.960		42 Mo 钼 95.940		43 Tc 钼 98.917		44 Ru 钨 101.922		45 Rh 钯 102.903		46 Pd 钯 106.905		47 Ag 银 107.868		48 Cd 钼 110.930		49 In 锎 113.937		50 Sn 锡 118.710		51 Sb 锑 121.723		52 Te 锗 127.900		53 I 氙 126.903		54 Xe 氙 131.903																
55 Cs 钡 132.905		56 Ba 钡 137.320		57-71 La-Lu 镧-镥 138.905-171.920		72 Hf 钨 174.917		73 Ta 钔 178.917		74 W 钨 183.917		75 Re 钐 186.917		76 Os 钇 187.917		77 Ir 钇 190.917		78 Pt 钯 191.917		79 Au 金 196.917		80 Hg 汞 200.917		81 Tl 铟 204.917		82 Pb 钋 207.2		83 Bi 钋 209.917		84 Po 钋 210.917		85 At 钋 211.917		86 Rn 氡 222.917																
87 Fr 钫 223.917		88 Ra 钽 226.917		89-103 Ac-Lr 钫系 227.917-232.917		104 Rf 钫 231.917		105 Db 钫 232.917		106 Sg 钫 233.917		107 Bh 钫 234.917		108 Hs 钫 235.917		109 Mt 钫 236.917		110 Uun 钫 237.917		111 Uuu 钫 237.917		112 Uub 钫 237.917																												
镧系																		57 La 镧 138.917	58 Ce 钕 140.122	59 Pr 钕 141.917	60 Nd 钕 144.917	61 Pm 钕 147.917	62 Sm 钕 150.917	63 Eu 钕 151.917	64 Gd 钕 157.917	65 Tb 钕 158.917	66 Dy 钕 162.917	67 Ho 钕 164.917	68 Er 钕 167.917	69 Tm 钕 169.917	70 Yb 钕 173.917	71 Lu 镧 175.917																		
锕系																		89 Ac 钫 227.917	90 Th 钫 232.917	91 Pa 钫 231.917	92 U 钫 232.917	93 Np 钫 237.917	94 Pu 钫 239.917	95 Am 钫 241.917	96 Cm 钫 242.917	97 Bk 钫 247.917	98 Cf 钫 249.917	99 Es 钫 252.917	100 Fm 钫 257.917	101 Md 钫 258.917	102 No 钫 259.917	103 Lr 钫 260.917																		

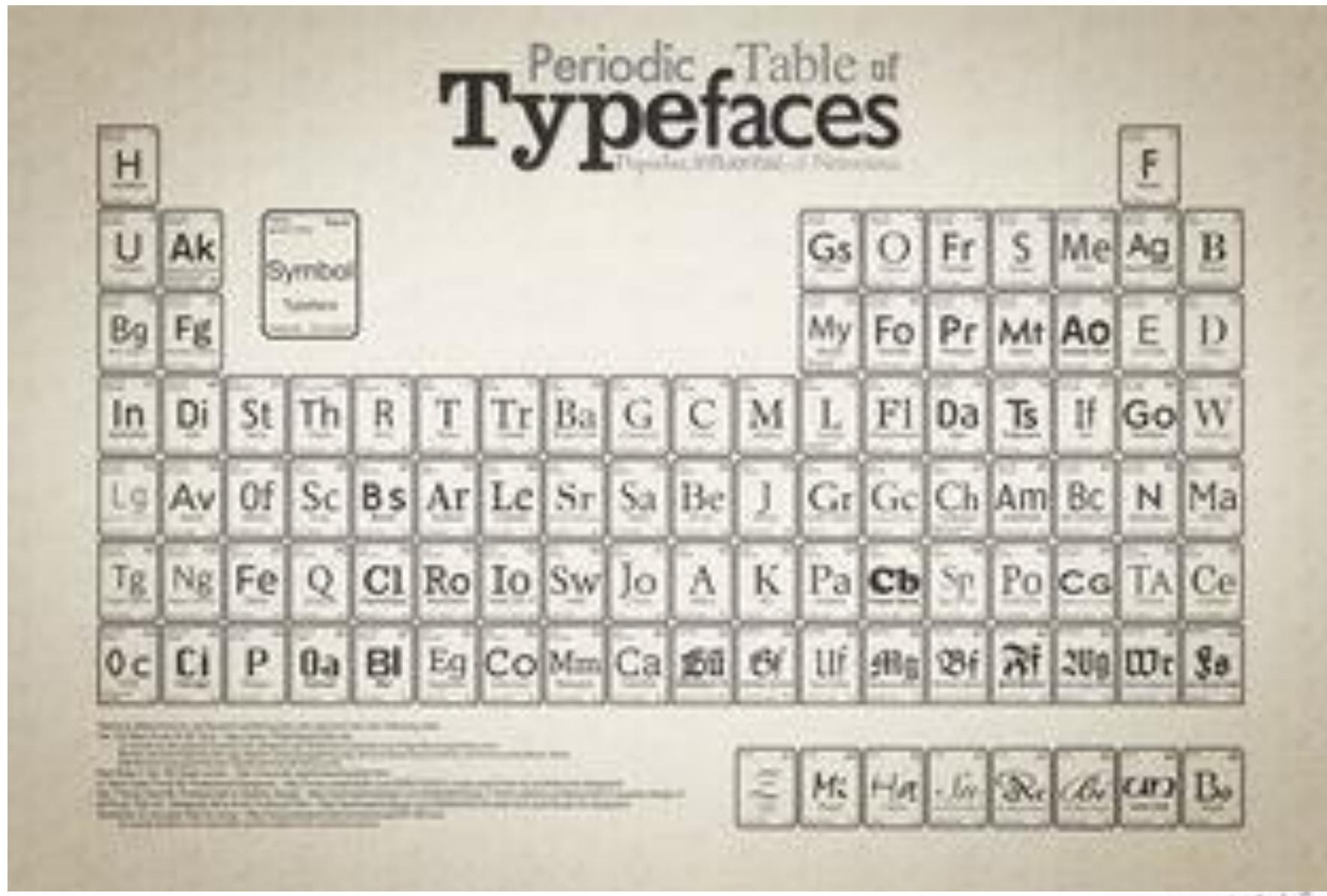
请各有关单位  
根据使用情况  
选用实验室。

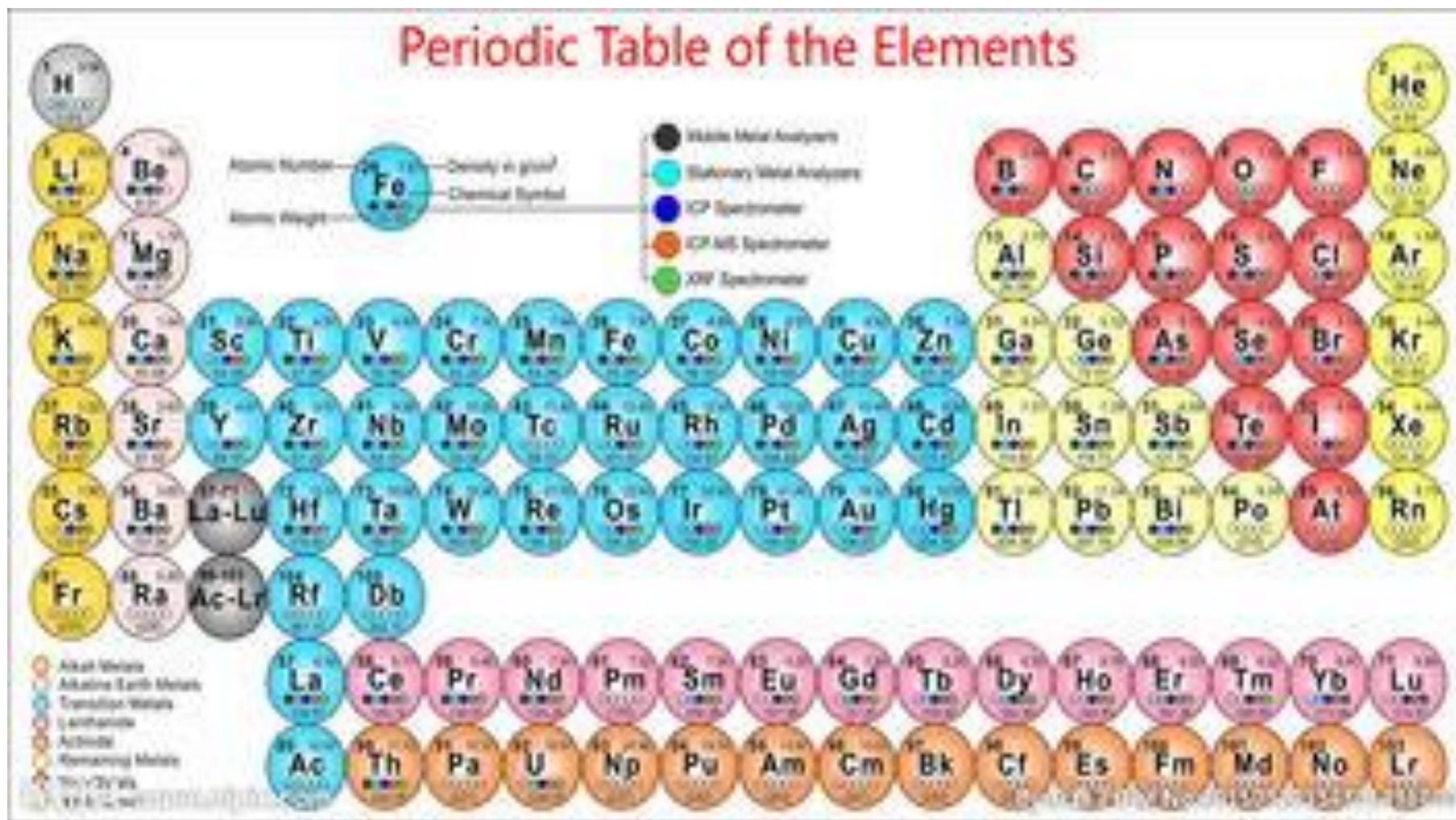
2007年版

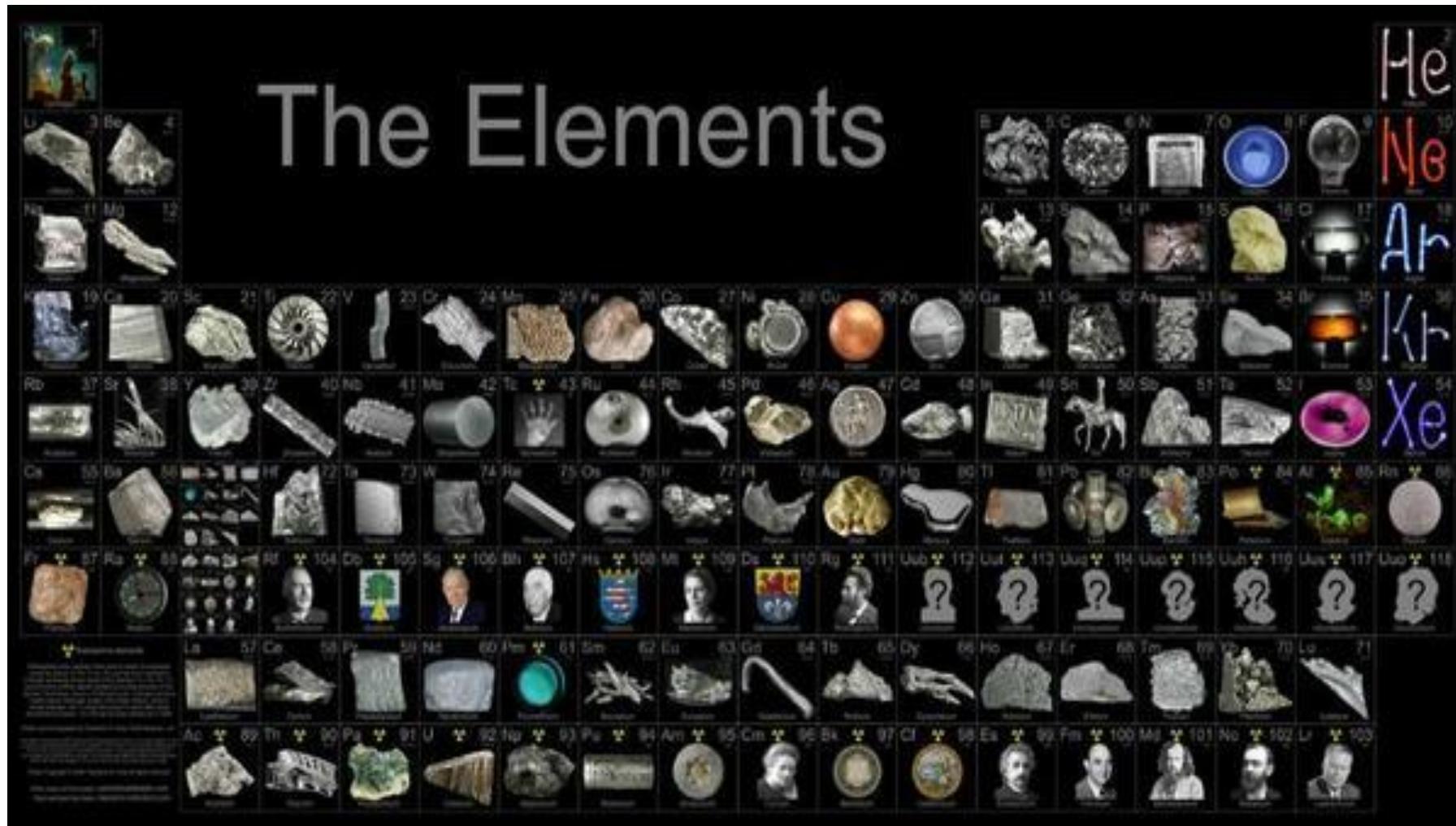


원소주기율표

주기	주기율표 읽는 법												18					
	1주기~2주기, 12주기~13주기: 합계정수 3주기~5주기: 합계원소		6주기~7주기: 합계원소		8주기~9주기: 합계원소		10주기~11주기: 합계원소		12주기~13주기: 합계원소		14주기~15주기: 합계원소							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1	Hydrogen	Helium	Lithium	Boron	Carbon	Nitrogen	Oxygen	Fluorine	Neon	Chlorine	Sulfur	Argon	Phosphorus	Silicon	Potassium	Chromium	Iron	
2	H	He	Li	B	C	N	O	F	Ne	Cl	S	Ar	P	Si	K	Cr	Fe	Sc
3	Li	Be	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	Ca	K	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe
4	Be	B	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	Ca	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc
5	B	C	Al	Si	P	S	Cl	Ar	Ca	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc
6	C	N	Si	P	S	Cl	Ar	Ca	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc
7	N	O	P	S	Cl	Ar	Ca	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc	Sc
단기원자 번스		17.000	20.000	22.000	24.000	26.000	28.000	30.000	32.000	34.000	36.000	38.000	40.000	42.000	44.000	46.000	48.000	
극히높은 번스		21.000	23.000	25.000	27.000	29.000	31.000	33.000	35.000	37.000	39.000	41.000	43.000	45.000	47.000	49.000	51.000	









	1	Periodic Table of the Fire Emblem Elements																		18	
1	H	Li	Be	Na	Mg	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
2	L	I	B	E																	
3	N	A	M	G	11	12	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
4	K	C	S	C	T	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr		
5	R	S	Y	Z	r	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	
6	C	B			Illinoids	56	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	
7	F	R			Iarachoids	87	88	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	
					Illinoids	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
					Iarachoids	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	





# PERIODIC TABLE OF JAPANESE CHARACTERS

	<h1>PERIODIC TABLE OF JAPANESE CHARACTERS</h1>	
	H	
	Li	
	Ca	
	Sr	
	Ba	
	Ra	
	C	
	N	
	Cr	
	Tc	
	Ru	
	Rh	
	Pd	
	Ag	
	Cd	
	In	
	Sn	
	Sb	
	Te	
	I	
	Xe	
	Pt	
	Hg	
	Pb	
	Po	
	At	
	Cp	



# 3.1 元素的周期

周期	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	IA	IIA							VIII		I B	II B	IIIA	IV A	V A	VIA	VIIA	He
1	H	Be											B	C	N	O	F	Ne
2	Li	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
3			III B	IV B	V B	VI B	VII B											
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	Lu	Ha	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	-	-	-	-	-	-	-	-	

镧系	La	Ce	Pr	Nb	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb				
锕系	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No				

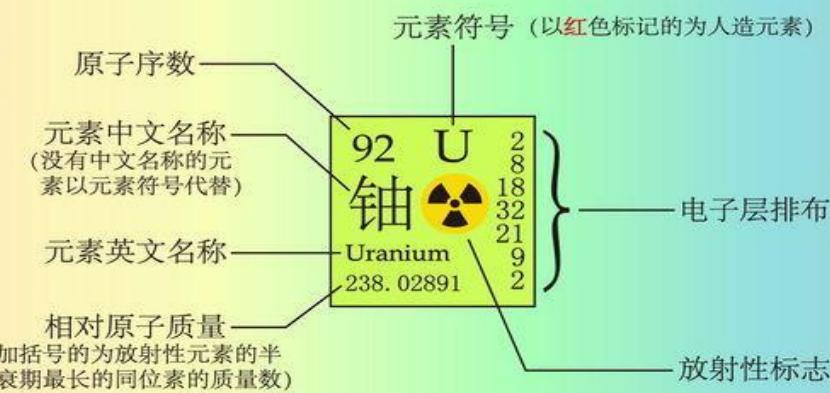


# 元素周期表

1~18——族序号  
IA~VIIA——主族序号  
IB~VIIB——副族序号  
VIII——第VIII族

族 周期	1	2
1	IA 氢 Hydrogen 1.00794	IIA 铍 Beryllium 9.012182
2	IIIA 锂 Lithium 6.941	IVB 铍 Beryllium 9.012182
3	VIA 钠 Sodium 22.98970	VIB 镁 Magnesium 24.3050
4	VIIA 钾 Potassium 39.0983	IIIA 钙 Calcium 40.078
5	VIIA 铷 Rubidium 85.4678	IIIA 锶 Strontium 87.62
6	VIIA 铯 Cesium 132.9045	IIIA 钡 Barium 137.327
7	VIIA 钫 Francium (223)	IIIA 镭 Radium (226)

注：112~118号元素尚处于探索之中，其电子层排布、物态与放射性仅由推断而来。



“元素中文名称”——该元素的单质在常温常压下为气态  
“元素中文名称”——该元素的单质在常温常压下为液态  
“元素中文名称”——该元素的单质在常温常压下为固态

非金属元素 (除稀有气体元素)  
非金属元素 (稀有气体元素)  
碱金属元素  
碱土金属元素  
主族其它金属元素  
附族元素 (过渡金属元素)

18 VIIA 1 He 2 氦 Helium 4.002602	2 K 氖 Neon 20.1797	3 L 氩 Argon 39.948	4 M 氪 Krypton 83.798	5 N 氙 Xenon 131.293
13 III A 硼 Boron 10.811	14 IV A 碳 Carbon 12.0107	15 VA 氮 Nitrogen 14.00674	16 VI A 氧 Oxygen 15.994	17 VII A 氟 Fluorine 18.9984032
5 B 硼 Boron 10.811	6 C 碳 Carbon 12.0107	7 N 氮 Nitrogen 14.00674	8 O 氧 Oxygen 15.994	9 F 氟 Fluorine 18.9984032
10 Ne 氖 Neon 20.1797	11 I B 铝 Aluminum 26.961538	12 II B 硅 Silicon 28.0855	13 P 磷 Phosphorus 30.973761	14 S 硫 Sulfur 32.066
15 S 硫 Sulfur 32.066	16 Cl 氯 Chlorine 35.453	17 Br 溴 Bromine 79.904	18 Ar 氩 Argon 39.948	19 Kr 氪 Krypton 83.798
20 Ca 钙 Calcium 40.078	21 Sc 钪 Scandium 44.955910	22 Ti 钛 Titanium 47.867	23 V 钒 Vanadium 50.9415	24 Cr 铬 Chromium 51.9961
25 Mn 锰 Manganese 54.938049	26 Fe 铁 Iron 55.8457	27 Co 钴 Cobalt 58.933200	28 Ni 镍 Nickel 58.6934	29 Cu 铜 Copper 63.546
30 Zn 锌 Zinc 65.409	31 Ga 镓 Gallium 69.723	32 Ge 锗 Germanium 72.64	33 As 砷 Arsenic 74.92160	34 Se 硒 Selenium 78.96
35 Br 溴 Bromine 79.904	36 Kr 氪 Krypton 83.798	37 Rb 铷 Rubidium 85.4678	38 Sr 锶 Strontium 87.62	39 Y 钇 Yttrium 91.224
40 Zr 锆 Zirconium 91.224	41 Nb 铌 Niobium 92.90638	42 Mo 钼 Tungsten 95.94	43 Tc 锝 Technetium (98)	44 Ru 钌 Ruthenium 101.07
45 Rh 铑 Rhodium 102.90550	46 Pd 钯 Palladium 106.42	47 Ag 银 Silver 107.8682	48 Cd 镉 Cadmium 112.411	49 In 铟 Indium 114.818
50 Sn 锡 Tin 107.710	51 Sb 锑 Antimony 121.760	52 Te 碲 Tellurium 127.60	53 I 碘 Iodine 126.90447	54 Xe 氙 Xenon 131.293
55 Cs 铯 Cesium 132.9045	56 Ba 钡 Barium 137.327	72 Hf 铪 Hafnium 178.49	73 Ta 钽 Tantalum 180.9479	74 W 钨 Tungsten 183.84
75 Re 铼 Rhenium 190.23	76 Os 锇 Osmium 192.217	77 Ir 铱 Iridium 195.078	78 Pt 铂 Platinum 196.96655	79 Au 金 Gold 200.59
80 Hg 汞 Mercury 204.3833	81 Tl 铊 Thallium 204.3833	82 Pb 铅 Lead 207.2	83 Bi 铋 Bismuth (209)	84 Po 钋 Polonium (210)
85 At 砹 Astatine (222)	86 Rn 氡 Radon 8	87 Fr 钫 Francium (223)	88 Ra 镭 Radium (226)	89 Rf 𬬻 Rutherfordium (261)
104 Db 𬭊 Dubnium (10)	105 Sg 𬭳 Sesquibutium (11)	106 Bh 𬭛 Berkelium (262)	107 Hs 𬭶 Hassium (269)	108 Mt 鿏 Meitnerium (266)
109 Ds 𫟼 Darmstadtium (271)	110 Ds 𫟼 Darmstadtium (271)	111 Rg 𬬭 Roentgenium (272)	112 Cp  Copernicium (277)	113 Uut 

# 元素周期表中的七个周期分别对应7个能级组

周期	特点	能级组	对应的能级	原子轨道数	元素个数
一	特短周期	1	1s	1	2
二	短周期	2	2s2p	4	8
三	短周期	3	3s3p	4	8
四	长周期	4	4s3d4p	9	18
五	长周期	5	5s4d5p	9	18
六	特长周期	6	6s4f5d6p	16	32
七	不完全周期	7	7s5f6d7p	16	应有32



## 3.2 元素的族

第1, 2, 13, 14, 15, 16和17列为主族，  
即, IA, IIA, IIIA, IVA, VA, VIA, VIIA。

主族：族序数=价电子总数

稀有气体(He除外) $8e^-$ 为VIIIA, 通常称为零族。

第3~7, 11和12列为副族。

即, IIIB, IVB, VB, VIB, VIIIB, IB 和 IIB。

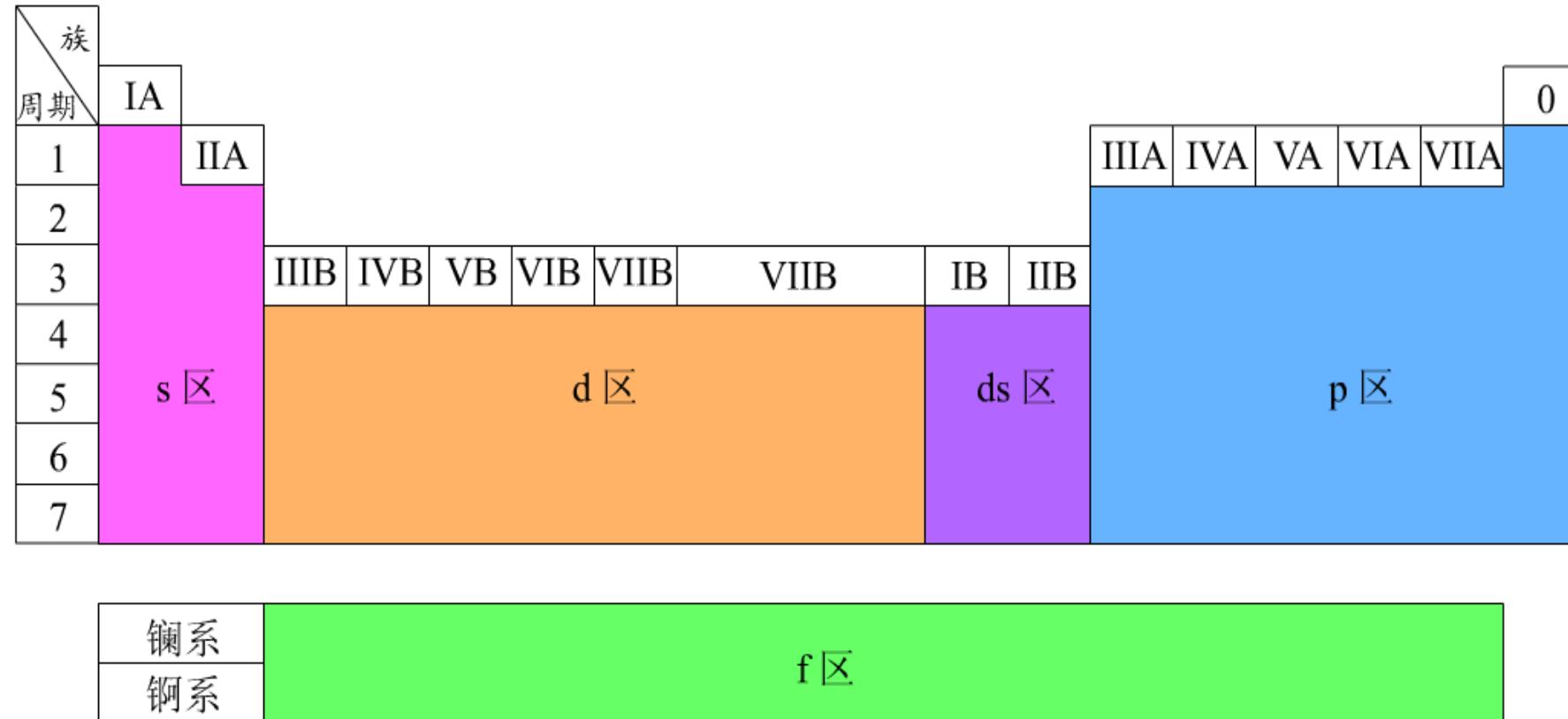
前5个副族的价电子数=族序数。

IB, IIB——根据 $ns$ 轨道上电子数划分。

第8,9,10列元素称为VIIIA族, 价电子排布 $(n-1)d^{6-8}ns^2$ 。

### 3.3 元素的分区

元素周期表中价电子排布类似的元素集中在一起，分为5个区，并以最后填入的电子能级代号作为区号。



s 区:  $ns^{1-2}$   
 p 区:  $ns^2np^{1-6}$   
 d 区:  $(n-1)d^{1-10}ns^{1-2}$   
 (Pd无 s 电子)  
 ds区:  $(n-1)d^{10}ns^{1-2}$   
 f 区:  $(n-2)f^{0-14}(n-1)d^{0-2}ns^2$





按最后一个电子进入的情况决定，有如下具体情况：

(1) 进入ns ( $ns^{1\sim 2}$ , 其中 $1s^2$ 除外) 为IA、IIA } 族数=  $(ns+np)$  电子总数 → 属s区元素

(2) 进入np  $\left\{ \begin{array}{l} \text{① } np^{1\sim 5} \\ \text{② } np^6 (\text{含 } 1s^2) \end{array} \right.$  为III A ~ VII A } 为零族元素 } → 属p区元素

(3) 进入  $(n-1)d$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{① } (n-1)d^{1\sim 5} \\ \text{② } (n-1)d^{6\sim 8} \\ \text{③ } (n-1)d^{10} \end{array} \right.$  为III B ~ VII B → 族数=  $[(n-1)d+ns]$  电子总数 } 为VIII B } 为IB、II B → 族数= ns的电子数 } → 属d区元素 → 属ds区元素

(4) 进入  $(n-2)f$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{① } 4f \\ \text{② } 5f \end{array} \right.$  La系元素 } Ac系元素 } III B → 属f区元素



例题1：已知某元素的原子序数为25，写出该元素的电子结构式，并指出该元素的名称、符号、以及所在周期和族。

例题2：已知某元素在周期表中位于第五周期VI族的位置，写出该元素基态原子的电子结构式、元素名称、符号和原子序数。



## 选择题

下列哪一组数值是描述原子序数19号元素的价电子  
(四个量子数依次为n,l,m,ms)

- A 1, 0, 0, +1/2
- B 2, 1, 0, +1/2
- C 3, 2, 1, +1/2
- D 4, 0, 0, +1/2



## 选择题

在  $l=3$  的亚层中，最多能容纳的电子数是

- A 2
- B 6
- C 10
- D 14



## 选择题

今有一种元素，其原子中有5个半充满的d轨道，该元素是

- A 24Cr
- B 29Cu
- C 26Fe
- D 74W



如果发现114号元素，该元素应属下列的哪一周期哪一族

- A 第八周期 $\text{IIIA}$ 族
- B 第六周期 $\text{VA}$ 族
- C 第七周期 $\text{IVB}$ 族
- D 第七周期 $\text{IVA}$ 族



## 选择题

外围电子构型为 $4f^75d^16s^2$ 的元素，在周期表中所处的位置是

- A 第四周期VIIIB族
- B 第五周期IIIB族
- C 第七周期VIIIB族
- D 第六周期IIIB族



## 选择题

某元素原子的外层电子构型为 $3d^54s^2$ ，它的原子中未成对电子数为

- A 0
- B 1
- C 3
- D 5



## 选择题

某元素的基态原子中， $l=0$ 的轨道中有7个电子， $l=2$ 的轨道中全充满，则这个元素是

- A N
- B P
- C Cu
- D Zn
- E Cl



## 选择题

原子序数为33的元素，其原子在 $n=4$ ,  $l=1$ ,  $m=0$ 的轨道中的电子数为

- A 1
- B 2
- C 3
- D 4
- E 5





## 思考题

元素周期表中，每一周期元素的个数正好等于相应的最外层原子轨道可以容纳的电子数目？



## § 4 元素性质的周期性

1 原子半径

2 电离能

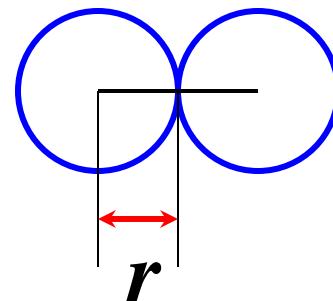
3 电子亲和能

4 电负性

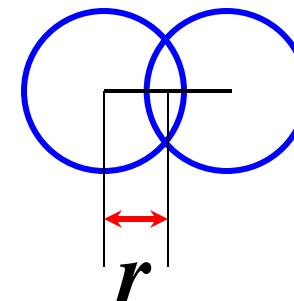


## 4.1 原子半径

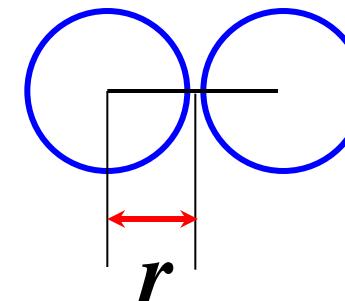
• 金属半径



• 共价半径



• van der Waals 半径



主族元素：从左到右  $r$  减小；

从上到下  $r$  增大。

过渡元素：从左到右  $r$  缓慢减小；

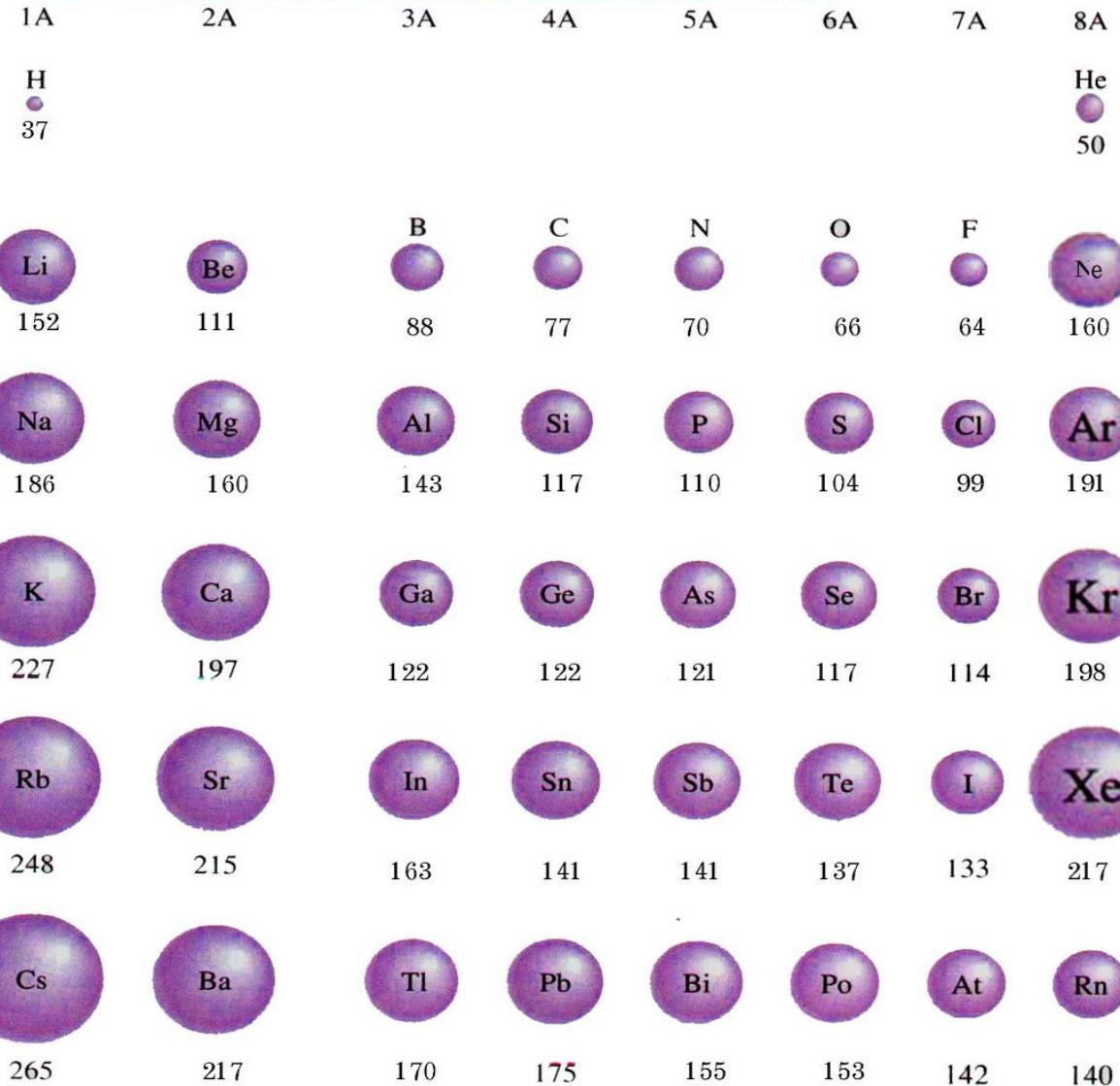
从上到下  $r$  略有增大。





## 主族元素半径变化

原子半径增大

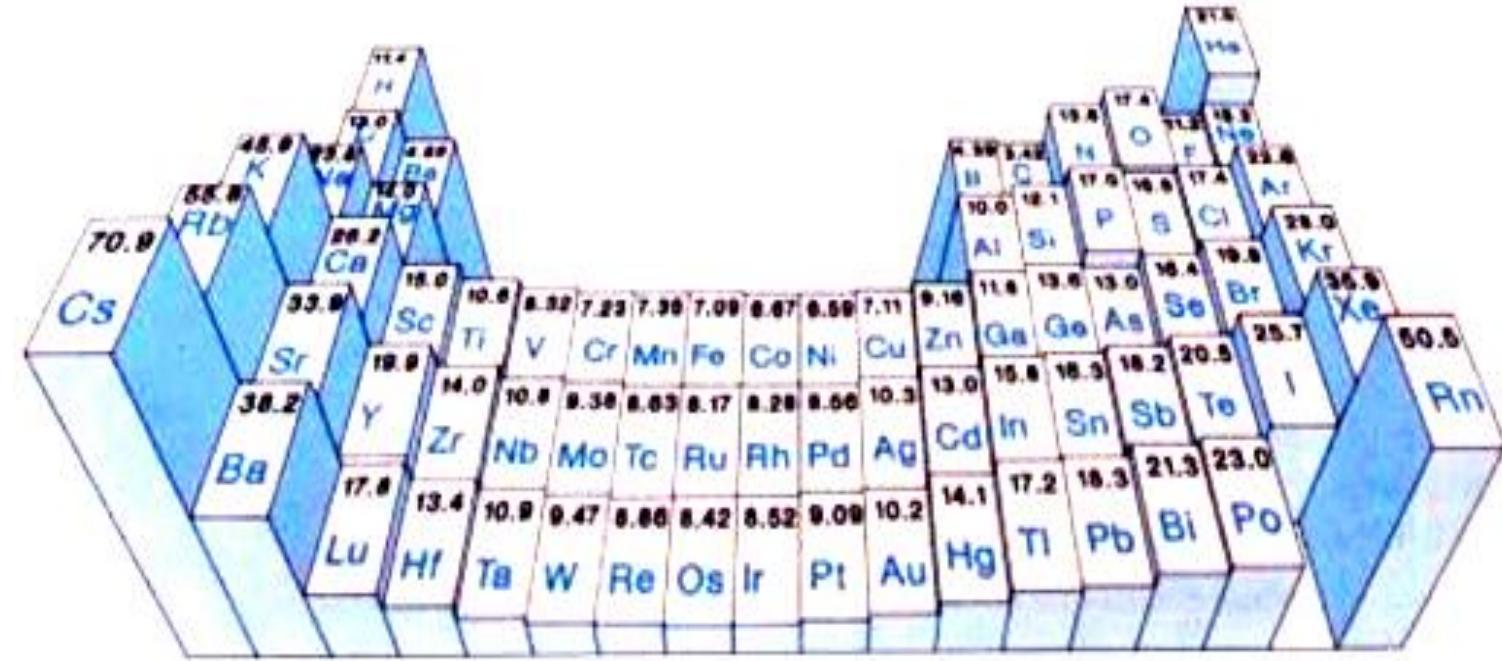


各周期末尾稀有气体的半径较大，是Van der Waals半径。





# 元素的原子半径变化趋势



$r$ 变化受两因素的制约：

- 核电荷数增加，引力增强， $r$ 变小；

**同一周期：** • 核外电子数增加，斥力增强， $r$ 变大；

增加的电子不足以完全屏蔽核电荷；

左→右，有效核电荷 $Z^*$ 增加， $r$ 变小。



## 有效核电荷Z\*

H		He						
1s	1	1.70						
	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
1s	2.70	3.70	4.70	5.70	6.70	7.70	8.70	9.70
2s,2p	1.30	1.95	2.60	3.25	3.90	4.55	5.20	5.85
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
1s	10.70	11.70	12.70	13.70	14.70	15.70	16.70	17.70
2s,2p	6.85	7.85	8.85	9.85	10.85	11.85	12.85	13.85
3s,3p	2.20	2.85	3.50	4.15	4.80	5.45	6.10	6.75



**长周期：**电子填入 $(n-1)d$ 层，屏蔽作用大， $Z^*$ 增加不多， $r$ 减小缓慢。

- **IB, IIB :**  $d^{10}$ 构型，屏蔽显著， $r$ 略有增大。
- **镧、锕系：**电子填入 $(n-2)f$ 亚层，屏蔽作用更大， $Z^*$ 增加更小， $r$ 减小更不显著。

**镧系收缩：**

镧系元素从镧(La)到镱(Yb)原子半径依次更缓慢减小的事实。



## 镧系收缩结果

第四周期元素	Sc	Ti	V	Cr
r/pm	161	145	132	125
第五周期元素	Y	Zr	Nb	Mo
r/pm	181	160	143	146
第六周期元素	Lu	Hf	Ta	W
r/pm	173	159	143	137

同一族：

- 主族：从上到下，外层电子构型相同，电子层增加的因素占主导， $r$ 增加。
- 副族：第四周期到第五周期， $r$ 增大，  
第五周期到第六周期， $r$ 接近。

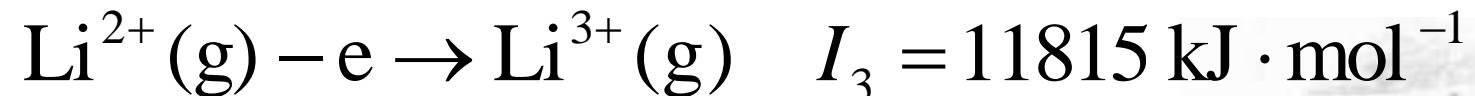
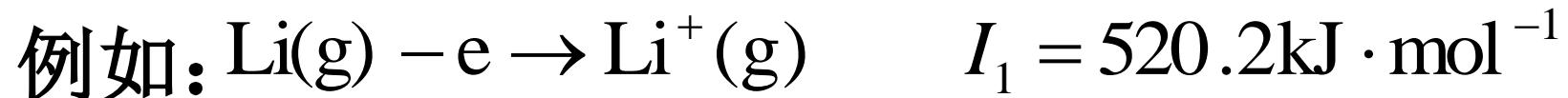
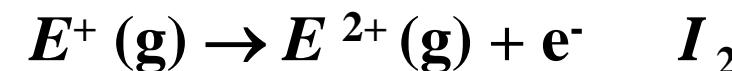


## 4.2 电离能

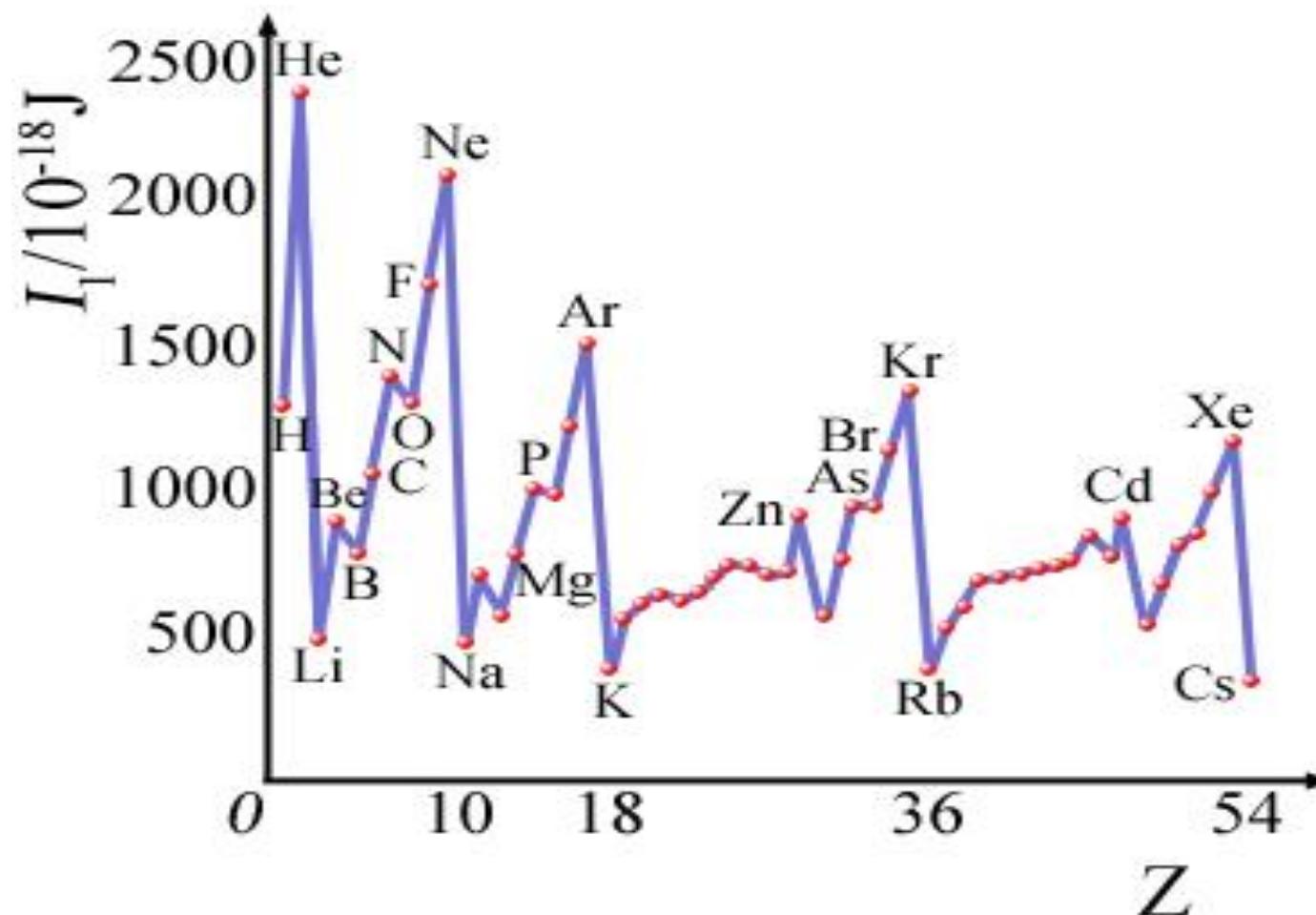
基态气体原子失去电子成为带一个正电荷的气态正离子所需要的能量称为第一电离能，用  $I_1$  表示。



由+1价气态正离子失去电子成为带+2价气态正离子所需要的能量称为第二电离能，用  $I_2$  表示。



电离能随原子序数的增加呈现出周期性变化



同一族:  $I$  变小。

同一周期:

◆ 短周期  $I$  增大。

◆ 长周期的前半部

分  $I$  增加缓慢。

•  $I_1(\text{IA})$  最小,  $I_1(\text{稀有气体})$  最大

• N, P, As, Sb, Be, Mg 电离能较大

(半满、全满)

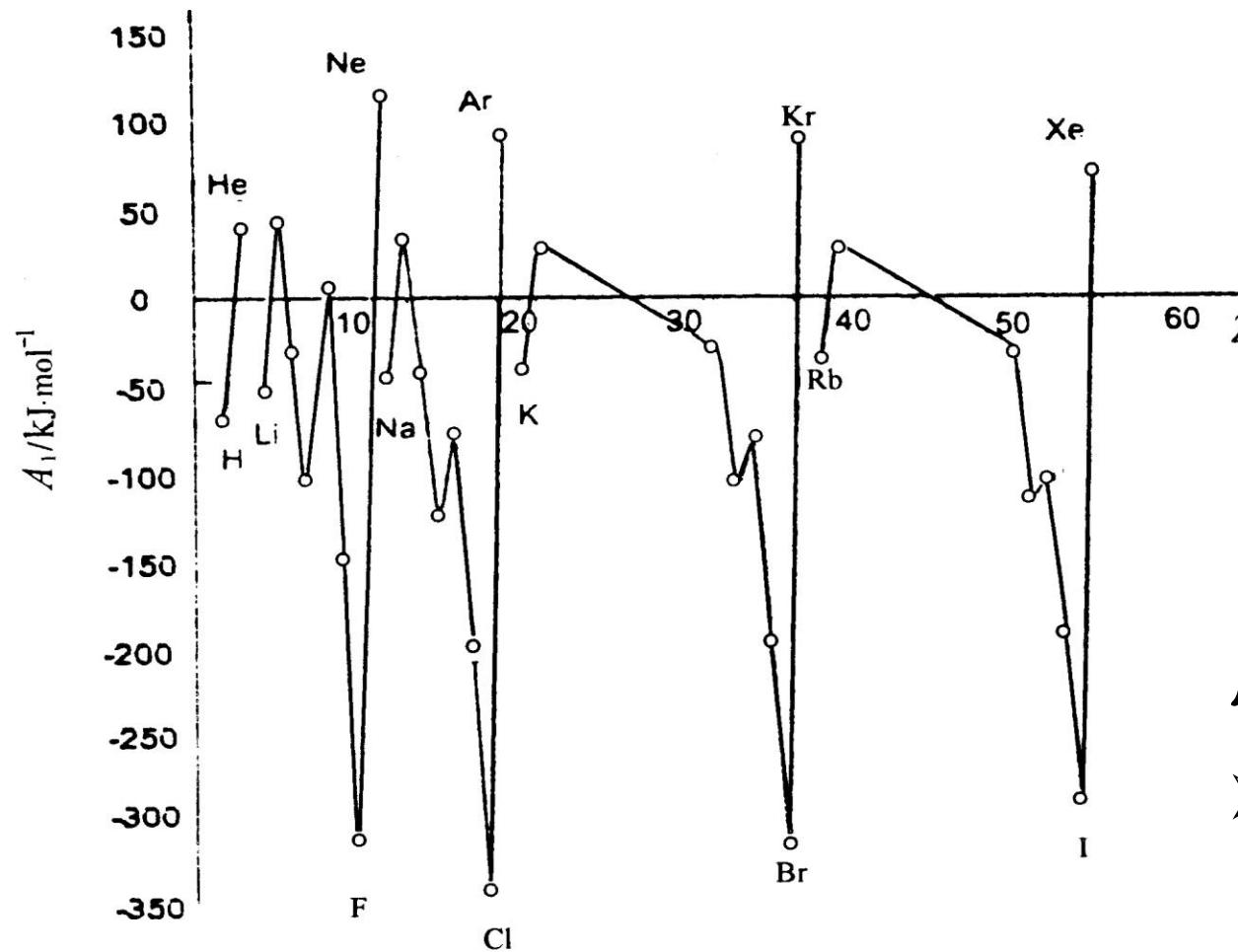


## 4.3 电子亲和能

元素的气态原子在基态时获得一个电子成为一价气态负离子所放出的能量称为电子亲和能。

当负一价离子再获得电子时要克服负电荷之间的排斥力，因此要吸收能量。





同一周期：从左到右， $A$  的负值增加，卤素的  $A$  呈现最大负值。

•  $A$  (IIA) 为正值， $A$  (稀有气体) 为最大正值。

同一族：从上到下，大多  $A$  的负值变小。

思考：

➤  $A$  的最大负值不出现在 F 原子而在 Cl 原子。为什么？

➤ N 原子的电子亲和能为正值。为什么？

## 4.4 电负性

原子在分子中吸引电子的能力称为元素的电负性，用 $\chi$ 表示。

电负性的标度有多种，常见的有：

Pauling标度( $\chi_P$ )， Mulliken标度 ( $\chi_M$ )，  
Allred-Rochow 标度( $\chi_{AR}$ )， Allen标度( $\chi_A$ )。

电负性大小规律：

同一周期：从左到右， $\chi$  增大。

同一主族：从上到下， $\chi$  变小。



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

$$\chi_A = 0.169 \frac{mE_p + nE_s}{m + n}$$

式中：  $m, n$ ——分别为p轨道， s轨道上的电子数。

$E_p, E_s$ ——分别为p轨道， s轨道上电子的平均能量。



H

**2.18**

Li

Be

B

C

N

O

F

**0.98**

**1.57**

**2.04**

**2.55**

**3.04**

**3.44**

**3.98**

Na

S Cl

**0.93**

**2.58** 3.16

K

Se Br

**0.82**

**2.55** 2.96

Rb

Te I

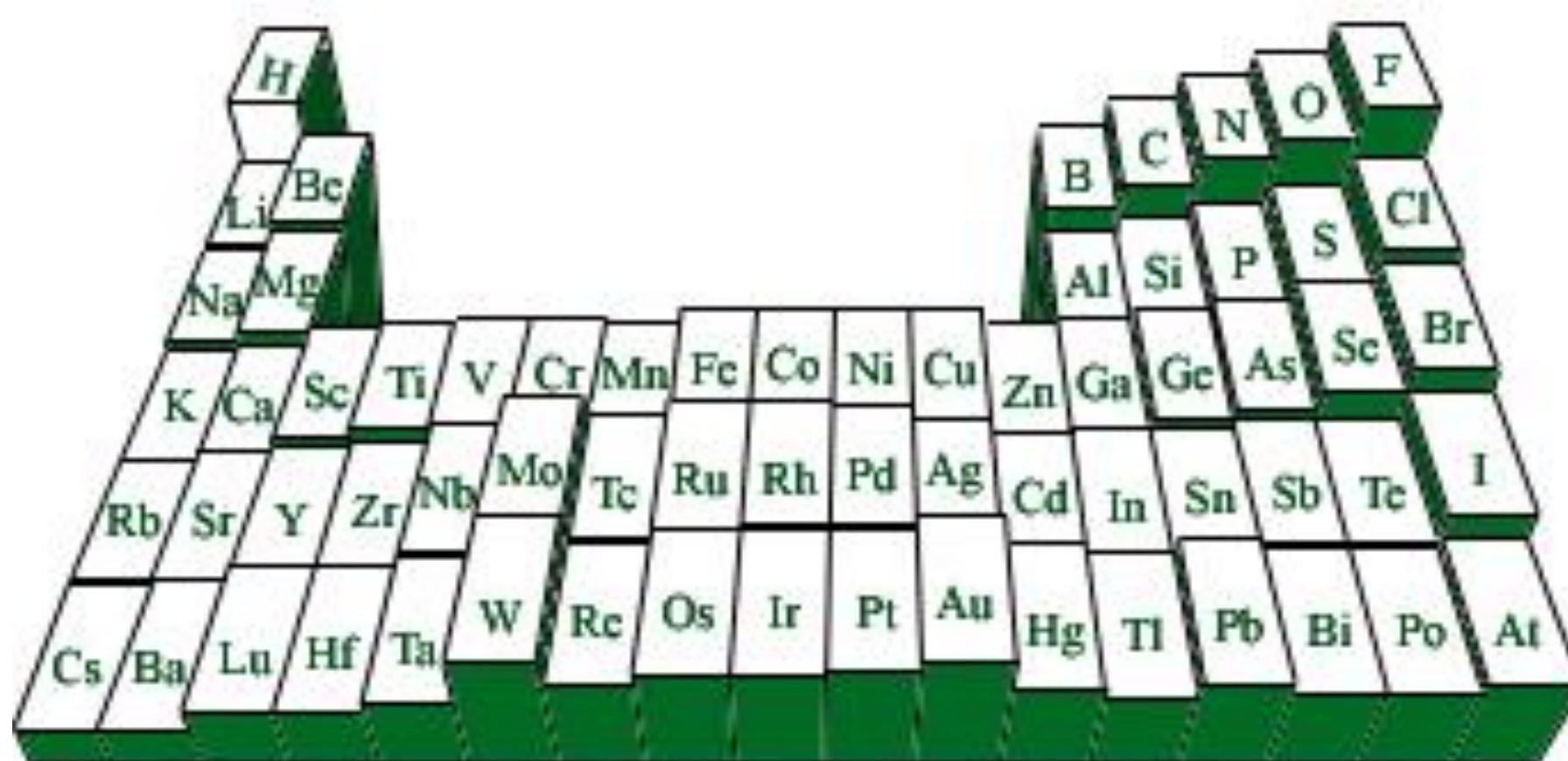
**0.82**

**2.10** 2.66



Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
1.36	1.54	1.63	1.66	1.55	1.80	1.88	1.91	1.90	1.65
Y Zr									
1.22 1.33									
Lu Hf									
1.20 1.30									



电负性( $\chi_p$ )

# 本章基本要求

- 1、熟悉四个量子数对核外电子运动状态的描述，熟悉s、p、d原子轨道和电子云角度部分的形状和伸展方向。
- 2、掌握原子核外电子排布的一般规律及其与元素周期表的联系。
- 3、会从原子半径、电子层结构和有效核电荷来了解元素一些性质（电离能、电子亲合能、电负性、元素的氧化数、元素的金属性和非金属性）的周期性变化规律。



# 本章结语

量子力学是一门神秘的、令人琢磨不透的学科，我们谁都谈不上真正理解，我们只是知道怎样运用它。

——穆雷·盖尔曼

摘自：量子理论——爱因斯坦与玻尔的伟大论战

