

第1章

原子结构与元素周期性质

Atomic Structure and Periodic Properties of Elements

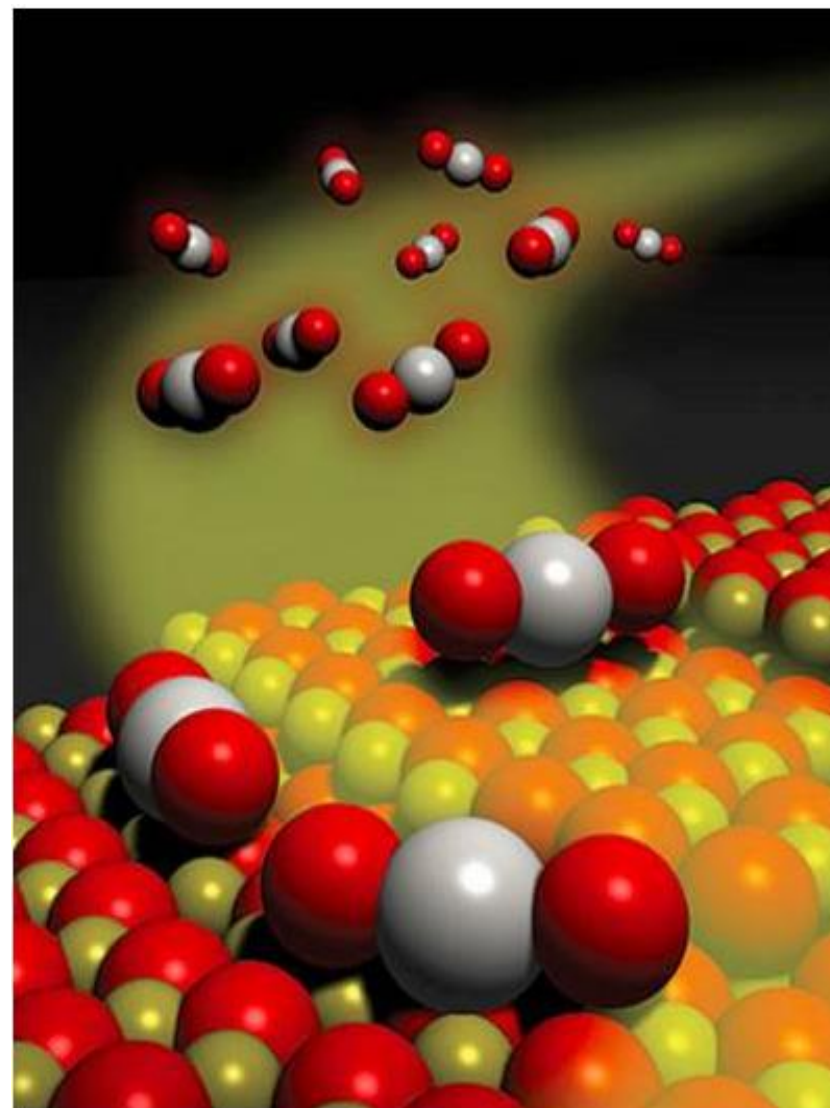
本章内容提要

§ 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：

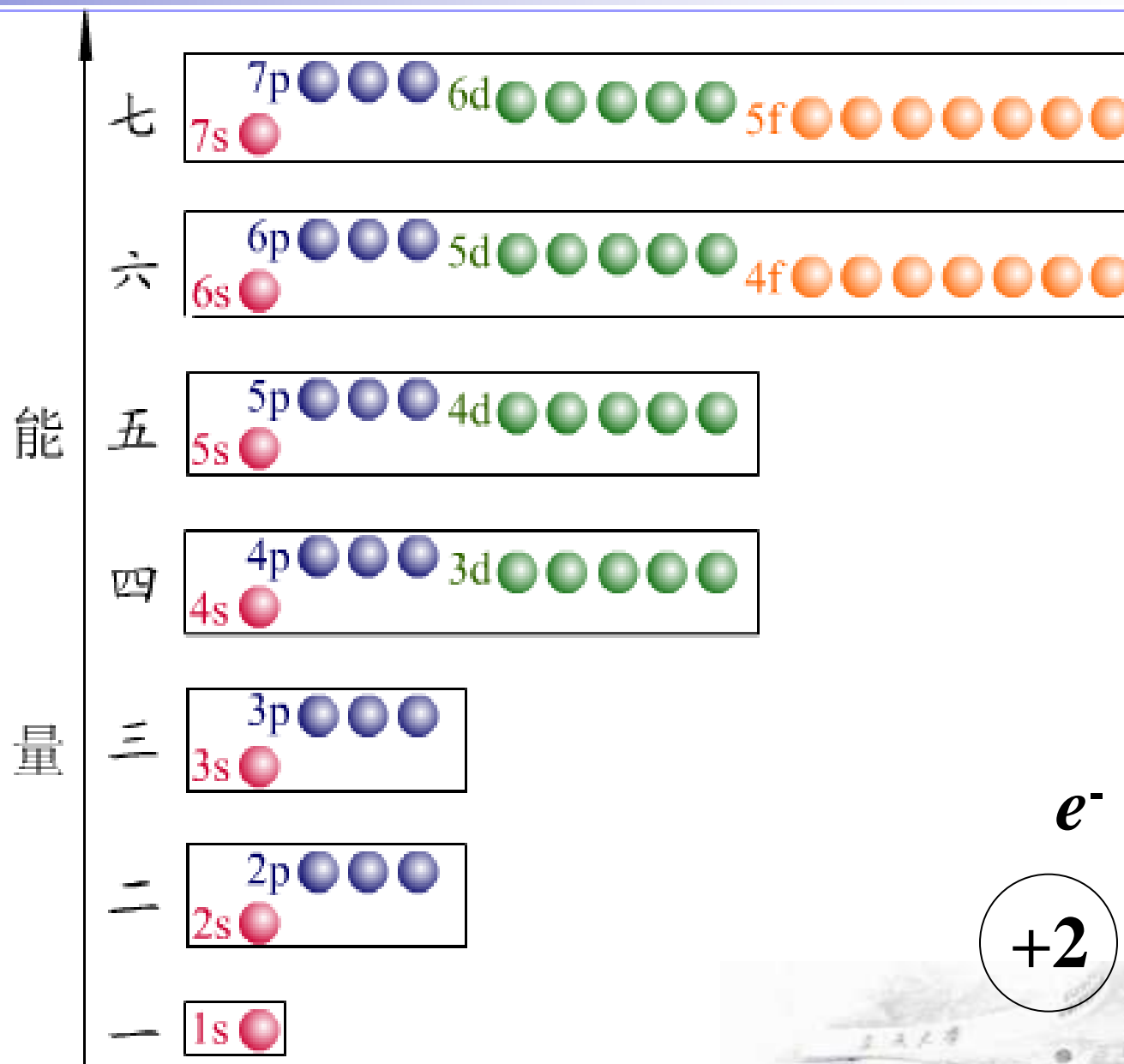
$$2.179 \times 10^{-18} \text{J}$$





2.1 多电子原子轨道能级

1). Pauling近似能级图



e^-

+2

e^-



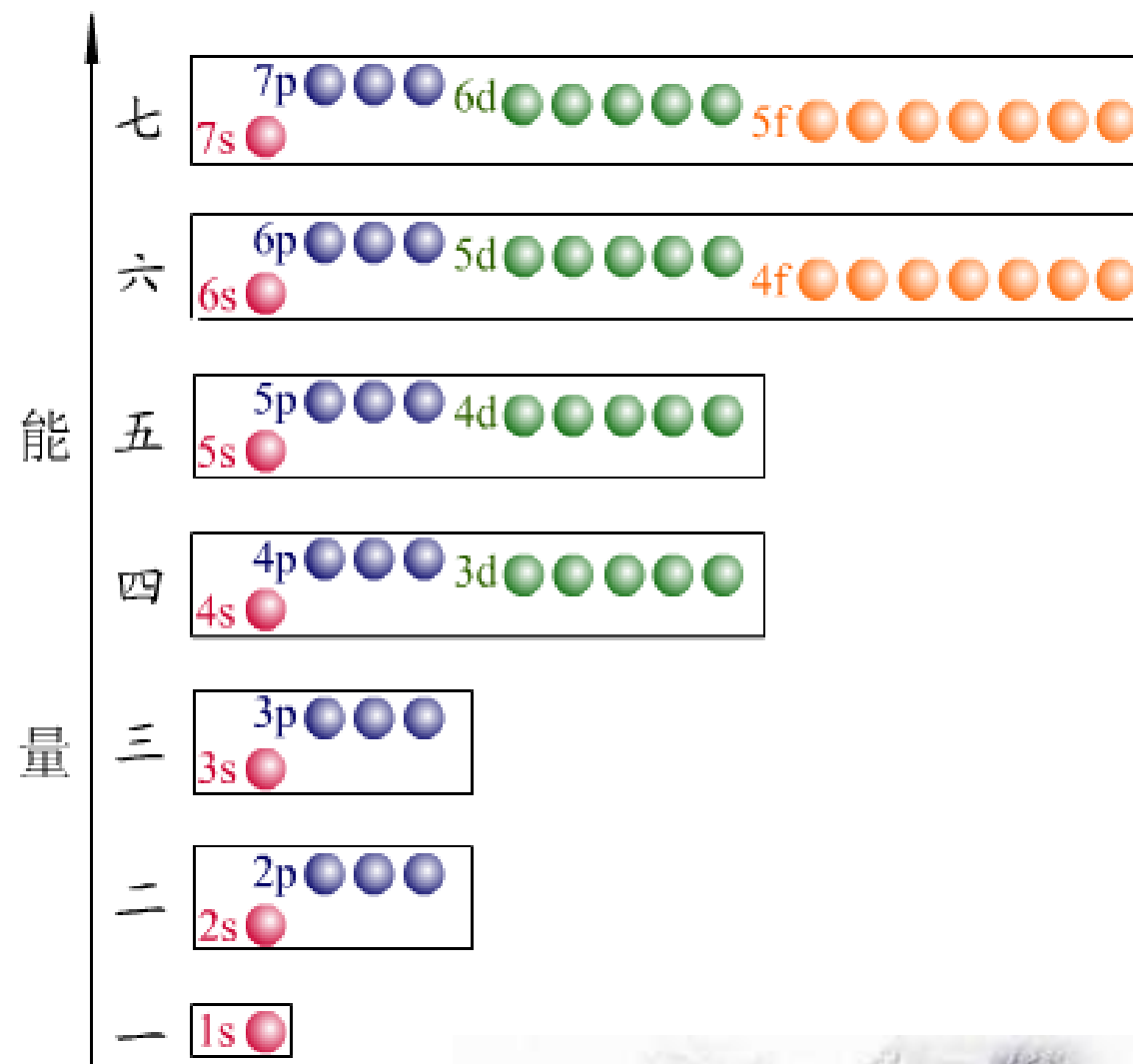
$$E_{1s} < E_{2s} < E_{3s} < E_{4s} \dots\dots$$

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。

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



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

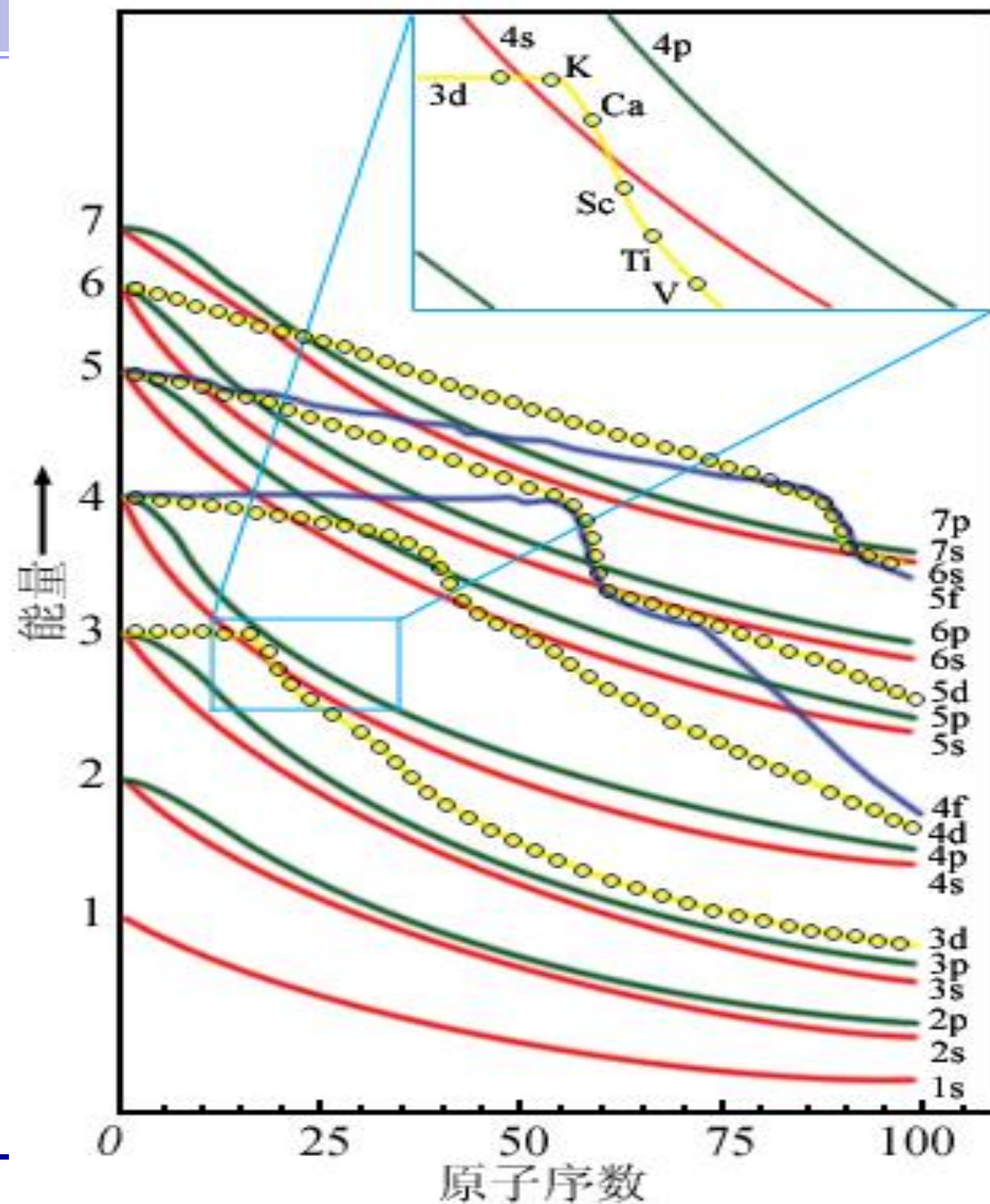
$$6s < 4f < 5d < 6p$$

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

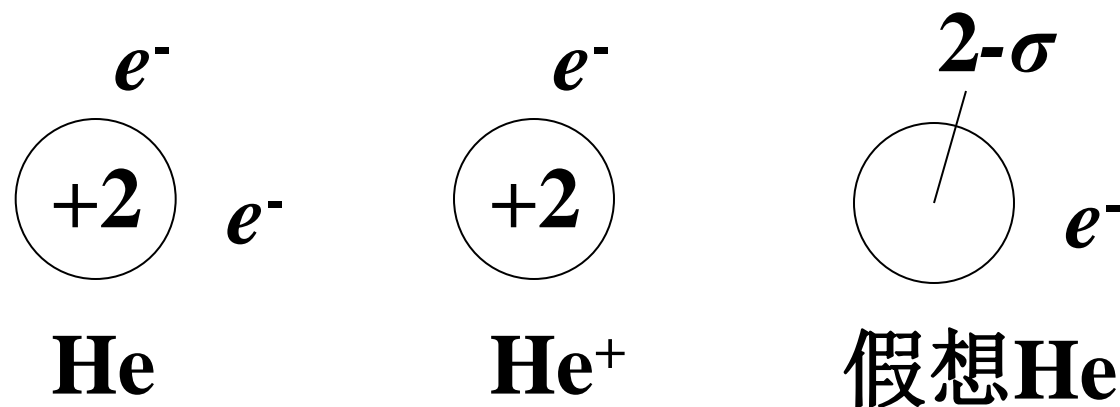


2). Cotton原子轨道能级图

- 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。

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

σ 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: $Z^* = Z - \sigma$ (σ 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: $1s^2 2s^2 2p^2$

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

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

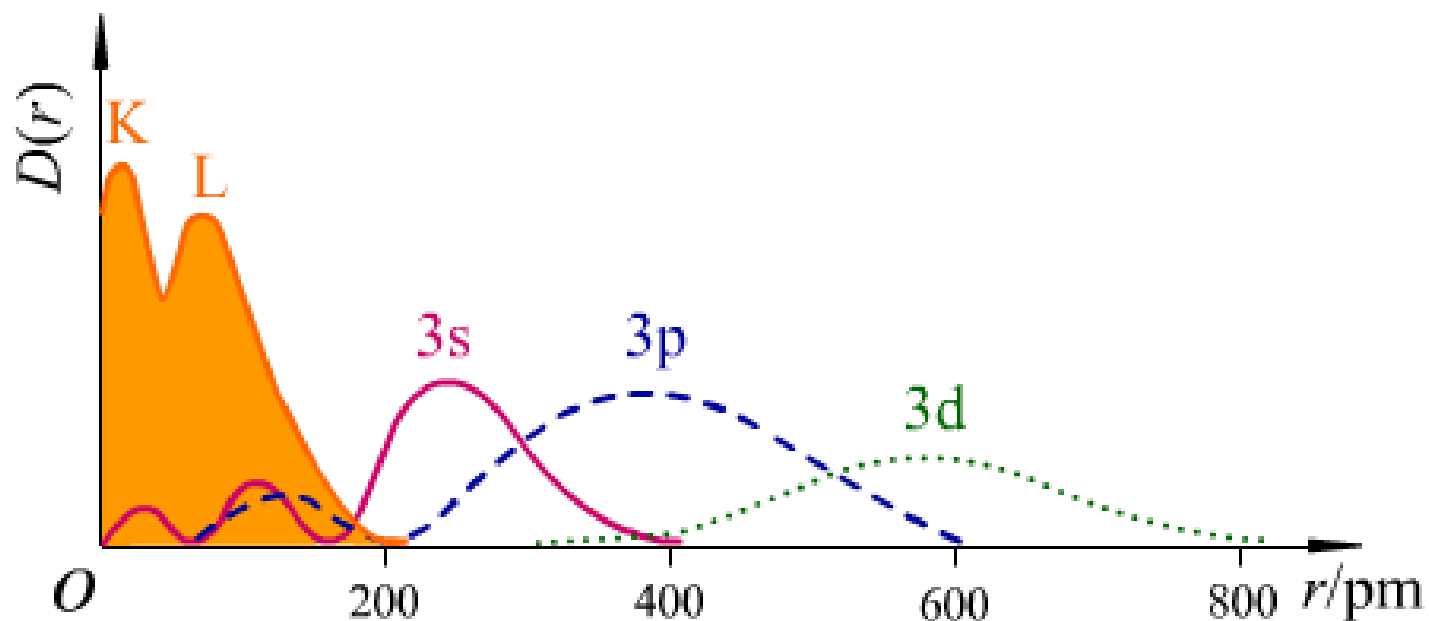
分组(1s) (2s2p) (3s3p) (3d) (4s4p) (4d) (5s5p) (5d)

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。

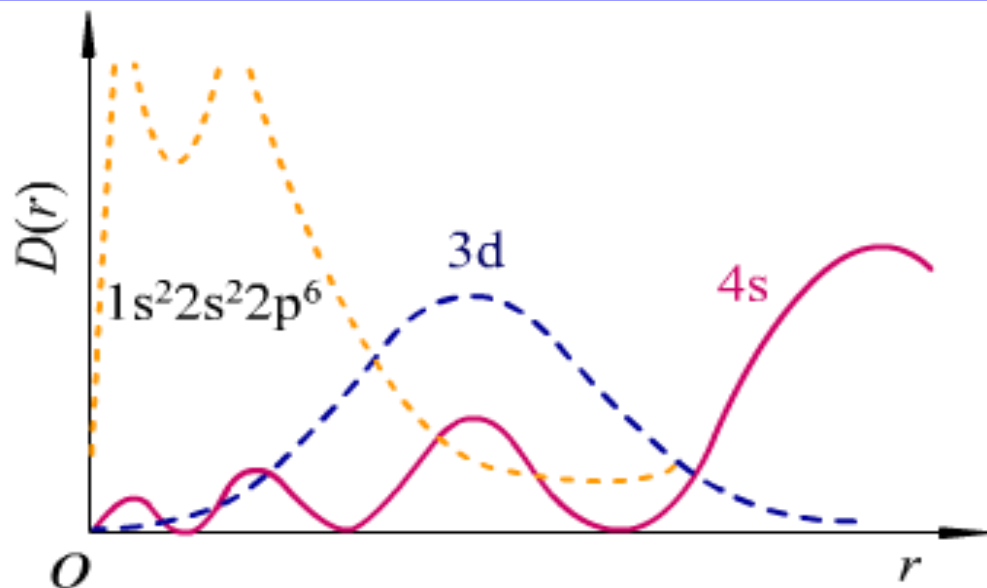


钠原子的电子云径向分布图

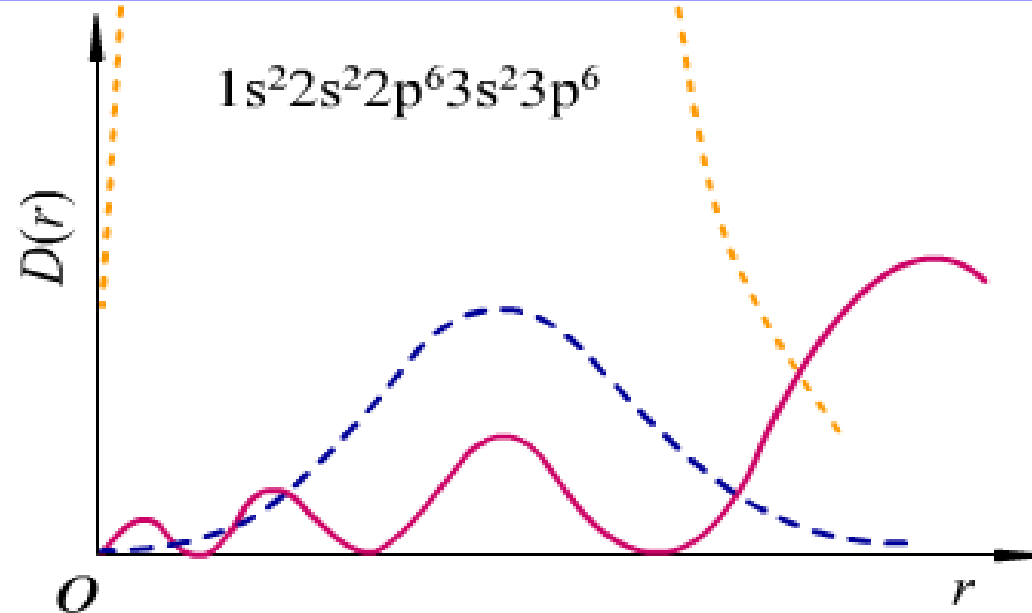
n 相同时， l 愈小的电子，钻穿效应愈明显：

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





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。



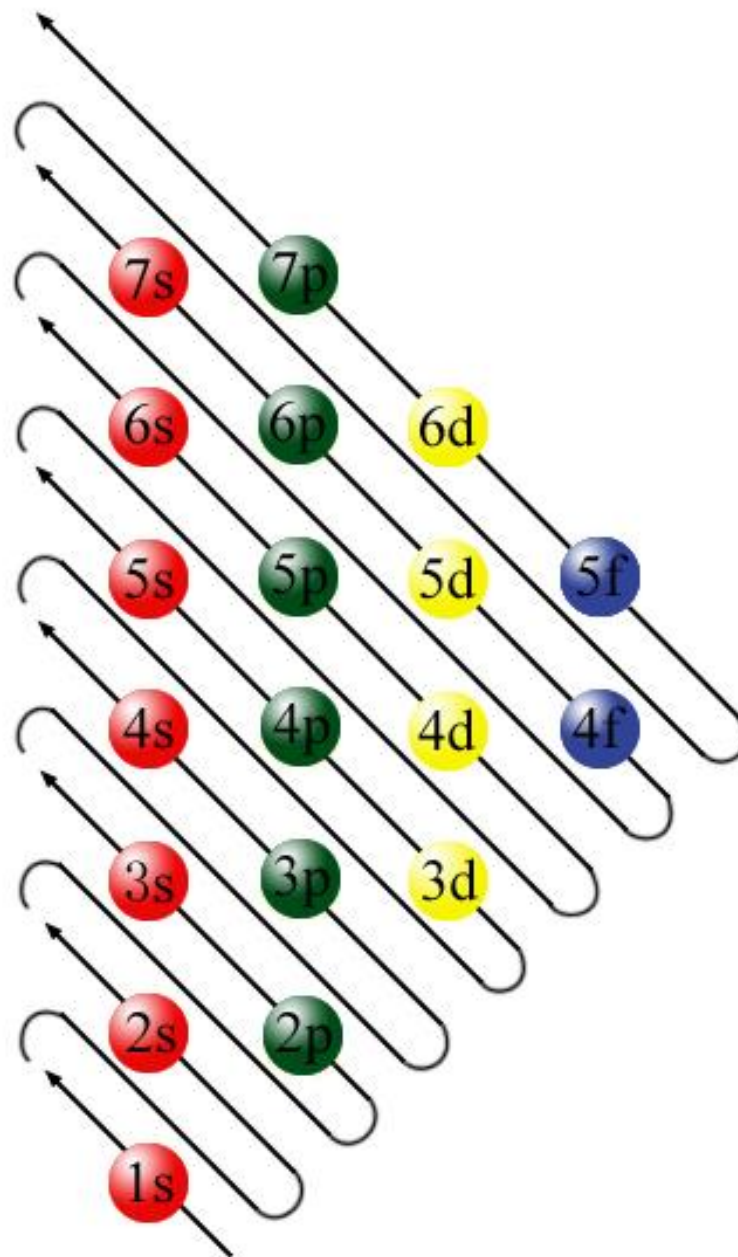
2). 基态原子的核外电子排布

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

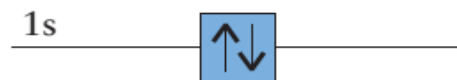




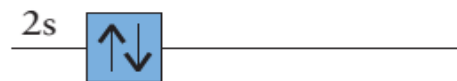
1 H $1s^1$



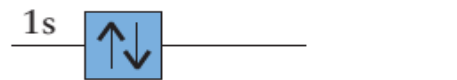
2 He $1s^2$



3 Li $1s^2 2s^1$, [He] $2s^1$



4 Be $1s^2 2s^2$, [He] $2s^2$



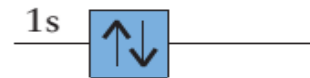
5 B $1s^2 2s^2 2p^1$, [He] $2s^2 2p^1$



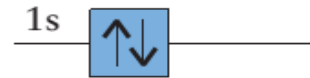
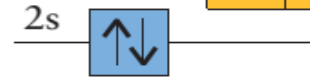
6 C $1s^2 2s^2 2p^2$, [He] $2s^2 2p^2$



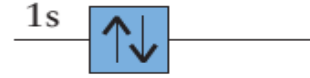
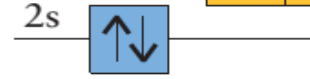
7 N $1s^2 2s^2 2p^3$, [He] $2s^2 2p^3$



8 O $1s^2 2s^2 2p^4$, [He] $2s^2 2p^4$

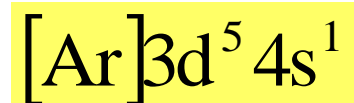
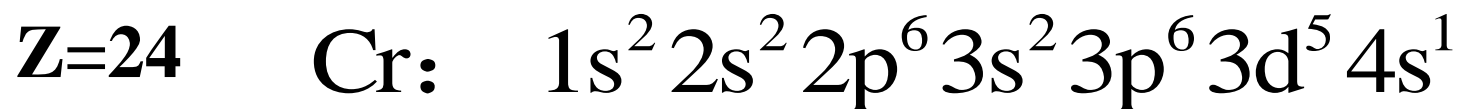
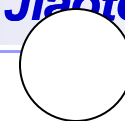
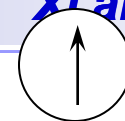
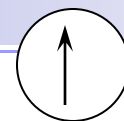
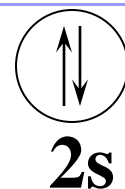
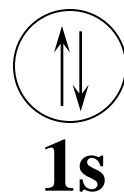
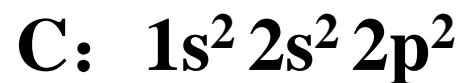


9 F $1s^2 2s^2 2p^5$, [He] $2s^2 2p^5$



10 Ne $1s^2 2s^2 2p^6$, [He] $2s^2 2p^6$





[He]、[Ar]——原子芯

•半满全满规则:

全满: $p^6, d^{10}, f^{14};$

半满: $p^3, d^5, f^7;$

全空: $p^0, d^0, f^0。$



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

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

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

$Z=56$, Ba: $[\text{Xe}] 6s^2$ 。

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 $2s^2 2p^2$ ，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 $[\text{Ar}]3d^{10}4s^14p^6$

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





化学元素周期表

A PERIODIC TABLE OF THE CHEMICAL ELEMENTS

周期
1

1/IA

【说明】

- 表格底色表示原子结构分区：蓝色为s区，黄色为d区，浅红色为p区，绿色为f区。
- 元素的符号、颜色为固态，绿色为液态，蓝色为气态，红色为放射性元素。
- 酸性氧化物或酸性氧化物的水溶液的酸性，红色为酸性，蓝色为碱性，白色为两性。
- 晶体结构为选项，其中s、p、d、f表示晶体类型。
- 气体元素的密度单位为 $\text{g} \cdot \text{dm}^{-3}$ 。
- 序号1-18，前者为IUPAC推荐使用方法(Floek E. Pure Appl Chem, 1988, 60(3): 431)，后者为CAS数用法。
- 氢的位置采用单独放在表的上中央(Cronyn M.W. J Chem Edu, 2003, 80(8): 947)。



- 相对原子质量引自IUPAC (<http://www.chem.qmul.ac.uk/iupac/AIW/>)，2015年发布的数据。
- 表中引用数据主要取自《化学与物理学手册》(Haynes W.H. Handbook of Chemistry and Physics, 91st ed. Boca Raton: CRC, 2010-2011)。
- 稀有气体的电负性值为估算值(与Pauling电负性意义不同)，1963年第4期1页。
- 生命必需元素在周期表中的分布图，《无机化学丛书》第十五卷24页，和“*”者为尚未确认的潜在的生命必需元素。
- 还原电位反应式电子数，水未写出，铂的值取自《无机化学丛书》第十卷23页。
- 104-118号元素初次合成的核反应取自《化学进展》(2011, 23(7))，与第三版不同，113、115、117、118号元素已被IUPAC承认。
- 命名：中文名称由全国科学技术名词审定委员会公布(114和116号元素已分别命名为钅和钅(全国科学技术名词审定委员会 科技名词研究2013, 5): 60)，据新华社报道，由专家推荐的113、115、117、118号元素的中文名称：镆、镱、鰹、鰹正在广泛征求各界的意见。

2/IIA

锂Li	铍Be
钠Na	镁Mg
钾K	钙Ca
铷Rb	锶Sr
铯Cs	钡Ba
钫Fr	镭Ra

一些键(A-B)的平均键能 \bar{D} (kJ $\cdot \text{mol}^{-1}$) (298K)

A	B																												
	H	C	Ni	Ge	N	P	As	O	S	Se	Te	P	Cl	Br															
H	436	414	333	389	391	333	397	467	347	276	364	431	337	149															
C	358	361	288	285	264	281	336	272	244	485	367	327	149																
Ni		276																											
Ge			188	206																									
N					355																								
P						209		348																					
As							355																						
O								348																					
S									348																				
Se										226																			
Te											316	355	213																
P																													
Cl																													
Br																													
I																													

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

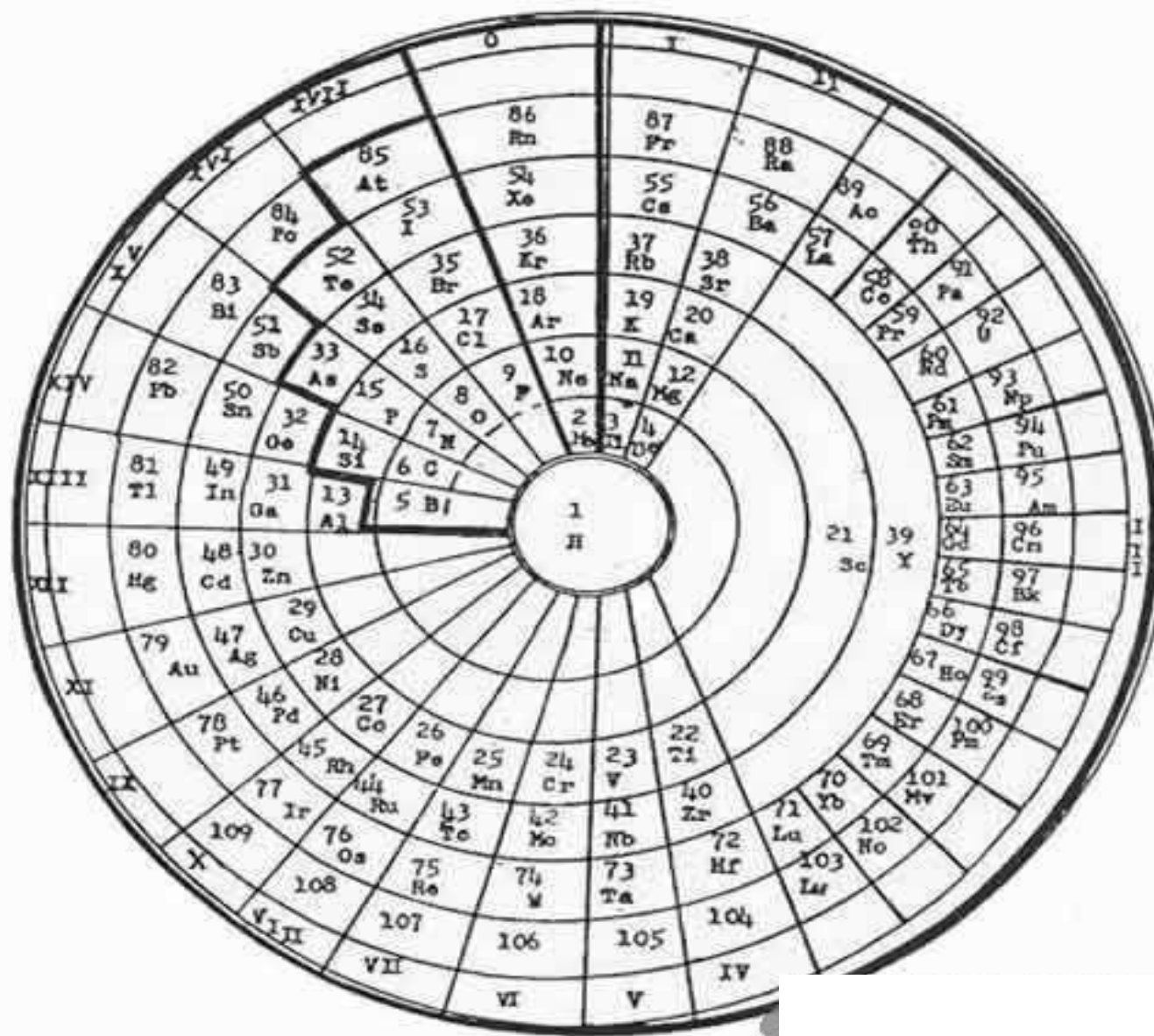
1. 短式周期表
2. 塔式或台阶式周期表
3. 环形、扇形、蜗牛形、螺旋形等形式的周期表
4. 立体式周期表
5. 长式周期表

- 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”。







												Nd 60	Pt 79	Ce 58	La 57	Om 96	Bk 97	Cf 98	Es 99
												Pm 61	Ta 73	Hf 72	Lu 71	Ho 100	Mt 109	Uun 110	Fm 100
												Sm 62	W 74	Pb 82	Tl 81	Uuh 116	Uus 117	Uut 111	Md 101
												Eu 63	Ra 75	Bi 83	Cs 55	Rn 86	Ubb 118	No 102	
												Am 95	Ni 107	Uup 115	Fr 87	Ba 56	Rn 86	Hg 80	Yb 70
												Pu 94	Sg 106	Uuq 114	Uut 113	Po 84	At 85	Au 79	Tm 69
												Np 93	Ha 105	Rf 104	Lr 103	Os 76	Ir 77	Pt 78	Er 68
												U 92	Pk 91	Th 90	Ac 89	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67

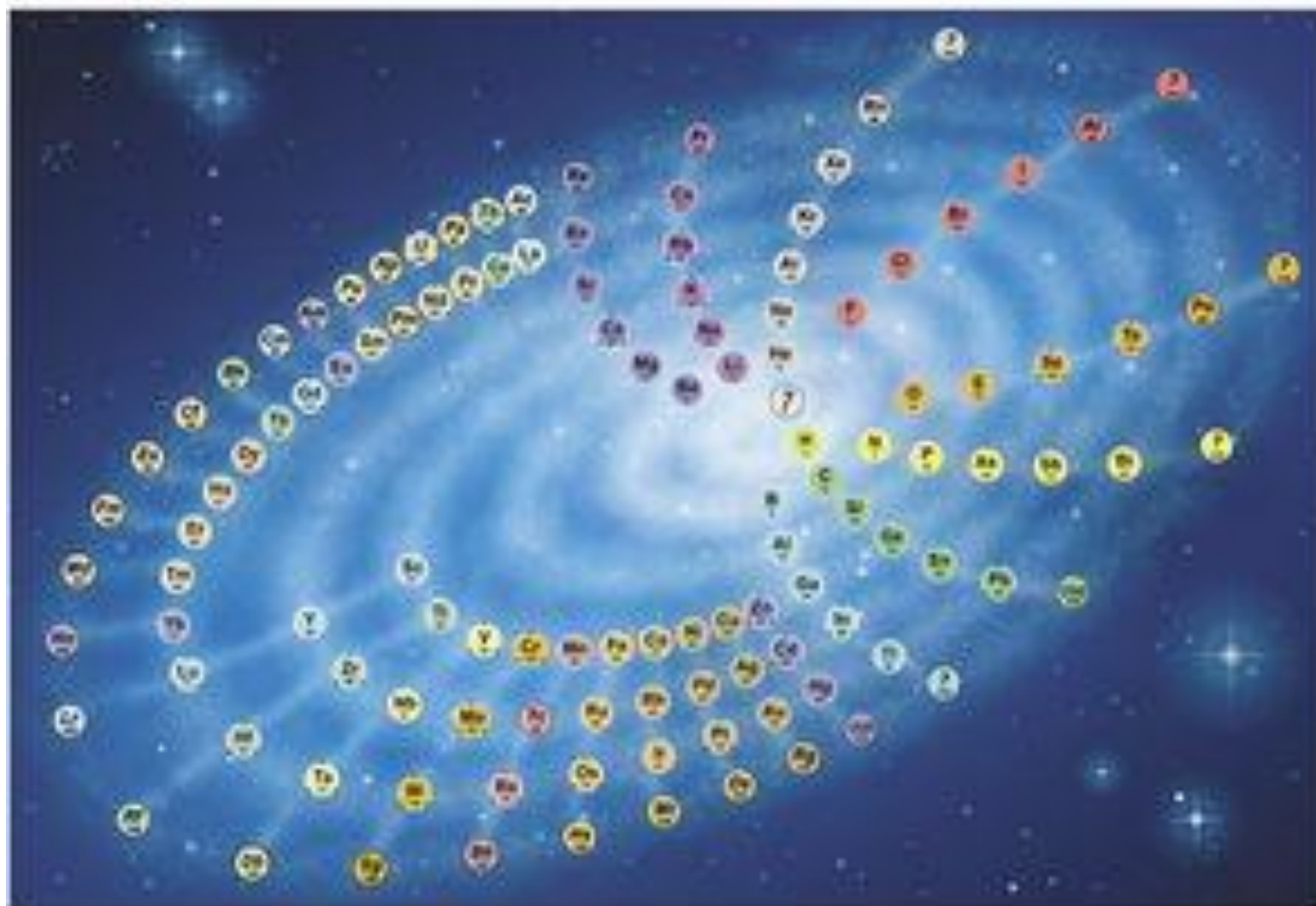
透視式元素周期表

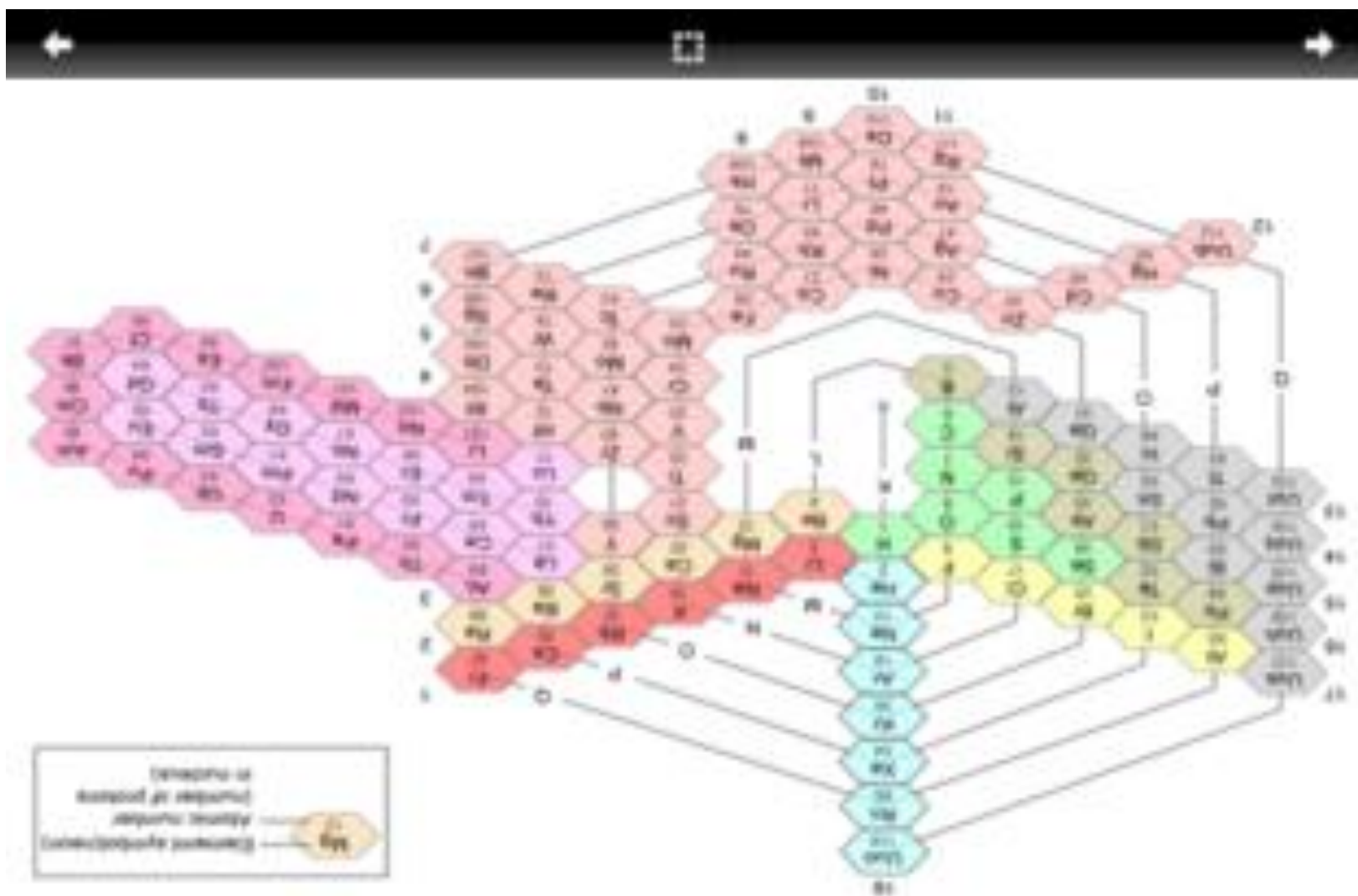




CHEMICAL GALAXY II

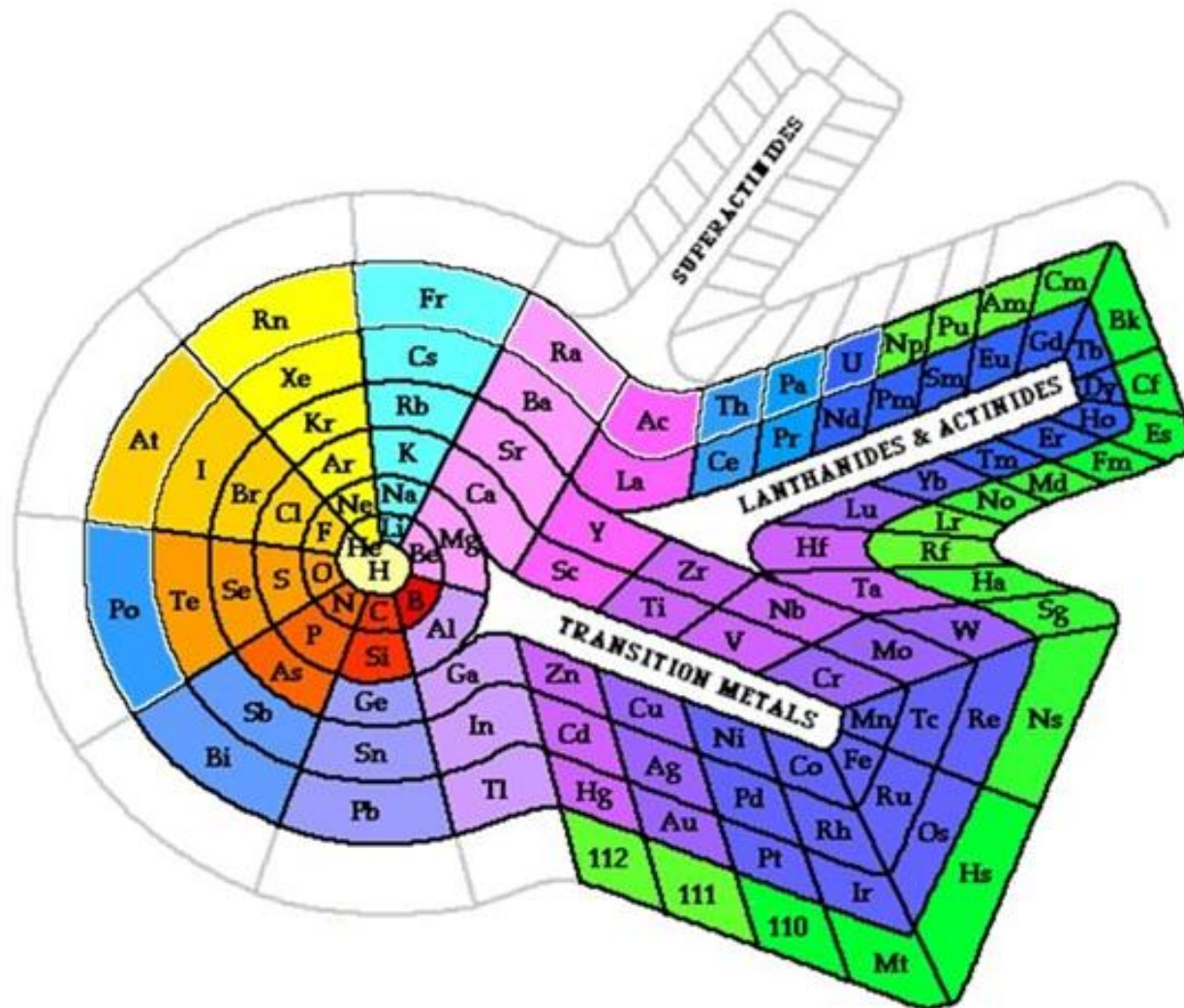
A NEW VISION OF THE PERIODIC SYSTEM OF THE ELEMENTS





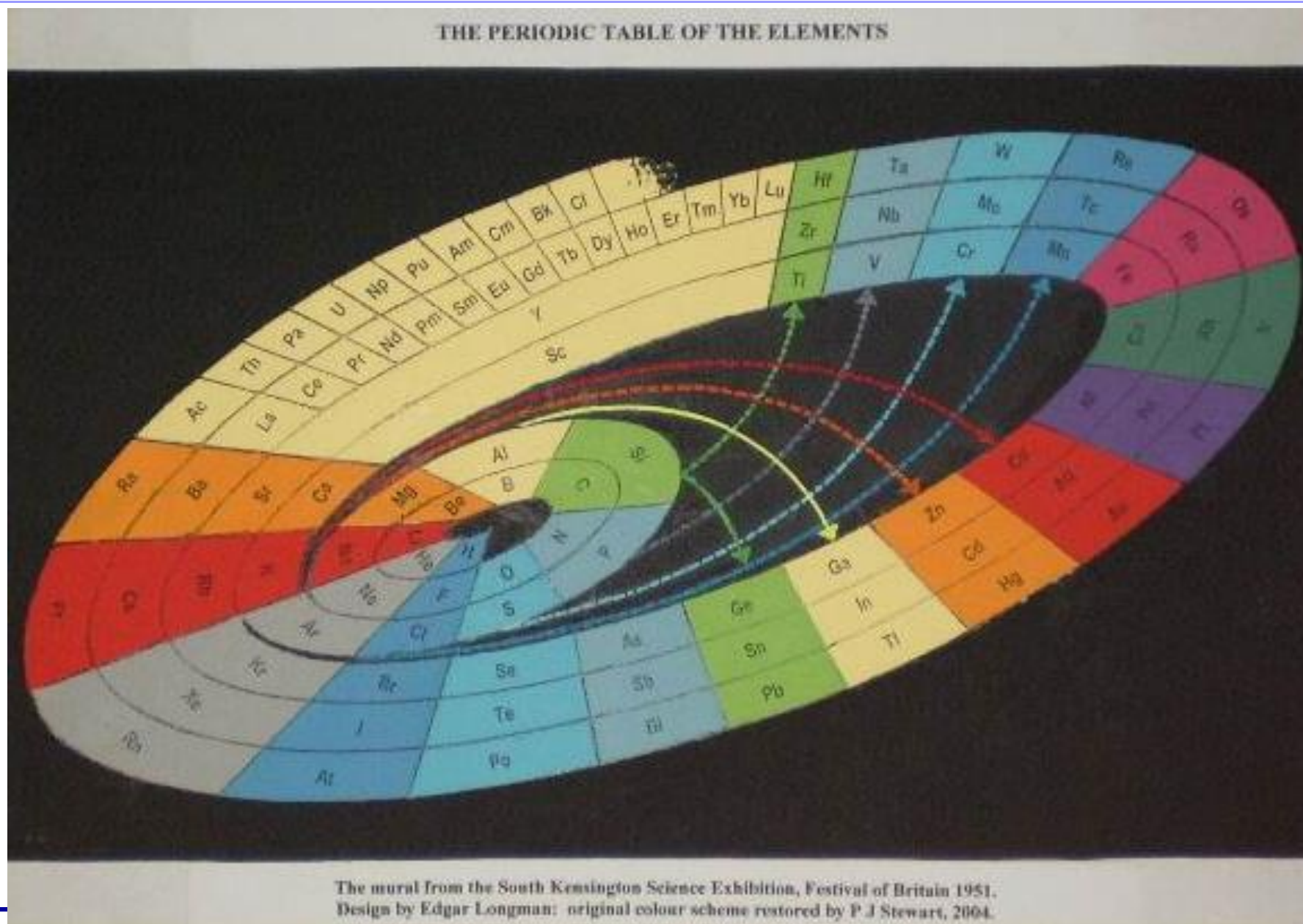
The Mayan Periodic Chart of the Elements





螺旋式元素周期表 (2)









元素周期表

元素周期表

原子序数

元素符号 (红色标注放射性元素)

元素名称 (带*的是人造元素)

相对原子质量 (加括号的数字为放射性元素半衰期最长同位素的质量数)

金属元素

非金属元素

1	2		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1 H 氢 1.008	2 He 氦 4.003		3 Li 锂 6.941	4 Be 铍 9.012		5 B 硼 10.81	6 C 碳 12.01	7 N 氮 14.01	8 O 氧 16.00	9 F 氟 18.99	10 Ne 氖 20.18		11 Na 钠 22.99	12 Mg 镁 24.31	13 Al 铝 26.98	14 Si 硅 28.09	15 P 磷 30.97	16 S 硫 32.06	17 Cl 氯 35.45	18 Ar 氩 39.95
19 K 钾 39.10	20 Ca 钙 40.08	21 Sc 钪 44.96	22 Ti 钛 47.88	23 V 钒 50.94	24 Cr 铬 52.00	25 Mn 锰 54.94	26 Fe 铁 55.85	27 Co 钴 58.93	28 Ni 镍 58.69	29 Cu 铜 63.55	30 Zn 锌 65.38	31 Ga 镓 69.72	32 Ge 锗 72.64	33 As 砷 74.92	34 Se 硒 78.96	35 Br 溴 79.90	36 Kr 氪 83.80			
37 Rb 铷 85.47	38 Sr 锶 87.62	39 Y 钇 88.91	40 Zr 锆 91.22	41 Nb 铌 92.91	42 Mo 钼 95.94	43 Tc 锝 98.0	44 Ru 钌 101.1	45 Rh 铑 102.9	46 Pd 钯 106.4	47 Ag 银 107.9	48 Cd 镉 112.4	49 In 铟 114.8	50 Sn 锡 118.7	51 Sb 锑 121.8	52 Te 碲 127.6	53 I 碘 126.9	54 Xe 氙 131.3			
55 Cs 铯 132.9	56 Ba 钡 137.3	57 La-Lu 镧系-镥系	58 Ce 铈 140.1	59 Pr 镨 140.9	60 Nd 钕 144.2	61 Pm 钷 145	62 Sm 钐 150.4	63 Eu 铕 152.0	64 Gd 钆 157.3	65 Tb 铽 158.9	66 Dy 镝 162.5	67 Ho 铥 164.9	68 Er 铒 167.3	69 Tm 铥 168.9	70 Yb 镱 173.0	71 Lu 镥 175.0				
72 Hf 铪 178.5	73 Ta 钽 180.9	74 W 钨 183.8	75 Re 铼 186.2	76 Os 锇 190.2	77 Ir 铱 192.2	78 Pt 铂 195.1	79 Au 金 197.0	80 Hg 汞 200.6	81 Tl 铊 204.4	82 Pb 铅 207.2	83 Bi 铋 209	84 Po 钋 209	85 At 砹 210	86 Rn 氡 222						
87 Fr 钫 223	88 Ra 镭 226	89 Ac-Lr 锕系-镥系	90 Th 钍 232.0	91 Pa 镤 231.0	92 U 铀 238.0	93 Np 镎 237	94 Pu 钚 244	95 Am 镅 243	96 Cm 锔 247	97 Bk 锫 247	98 Cf 锿 251	99 Es 镅 252	100 Fm 镆 257	101 Md 镅 258	102 No 镎 259					

注：
相对原子质量
4位有效



元素周期表

57 La 镧 138.91	58 Ce 铈 140.12	59 Pr 镨 140.91	60 Nd 钕 144.24	61 Pm 钷 (145)	62 Sm 钐 150.36	63 Eu 铕 151.96	64 Gd 钆 157.25	65 Tb 铽 158.93	66 Dy 镝 162.50	67 Ho 钬 164.93	68 Er 铒 167.26	69 Tm 铥 168.93	70 Yb 镱 173.05	71 Lu 镥 174.97
89 Ac 锕 (227)	90 Th 钍 232.04	91 Pa 镤 231.04	92 U 铀 238.03	93 Np 镎 (237)	94 Pu 钚 (244)	95 Am 镅 (243)	96 Cm 锔 (247)	97 Bk 锫 (247)	98 Cf 锿 (251)	99 Es 镅 (252)	100 Fm 镆 (257)	101 Md 钔 (258)	102 No 钆 (259)	103 Lr 铹 (262)

请各位教师按时
候课，把对后进生
进行个别辅导。

2007年 10月 第10期



원소주기율표

주기율표 읽는 법

1족~2족, 12족~13족: 전이원소
3족~11족: 전이원소

주기율표는 원소의 물리적, 화학적 성질을 체계적으로 정리한 표이다. 원소의 번호는 원자번호(원자핵의 양성자 수)와 같다.

주기율표의 구성:

- 1족: 알칼리 금속
- 2족: 알칼리 토금속
- 3족~10족: 전이 금속
- 11족: 동전 금속
- 12족: 아연족
- 13족~17족: 주족 원소
- 18족: 비활성 기체

주기율표의 원소 번호는 원자번호와 같다.

주기	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18		
1	H (1.008)	He (4.003)																		
2	Li (6.941)	Be (9.012)	B (10.81)	C (12.01)	N (14.01)	O (16.00)	F (18.998)	Ne (20.18)					Na (22.99)	Mg (24.31)	Al (26.98)	Si (28.09)	P (30.97)	S (32.07)	Cl (35.45)	Ar (39.95)
3	K (39.10)	Ca (40.08)	Sc (44.96)	Ti (47.88)	V (50.94)	Cr (52.00)	Mn (54.94)	Fe (55.85)	Co (58.93)	Ni (58.69)	Cu (63.55)	Zn (65.38)	Ga (69.72)	Ge (72.64)	As (74.92)	Se (78.96)	Br (79.90)	Kr (83.80)		
4	Rb (85.47)	Sr (87.62)	Y (88.91)	Zr (91.22)	Nb (92.91)	Mo (95.94)	Tc (98.91)	Ru (101.07)	Rh (101.07)	Pd (106.32)	Ag (107.87)	Cd (112.41)	In (114.82)	Sn (118.71)	Sb (121.76)	Te (127.60)	I (126.91)	Xe (131.29)		
5	Cs (132.91)	Ba (137.33)	La (138.91)	Hf (178.49)	Ta (180.95)	W (183.84)	Re (186.21)	Os (190.23)	Ir (192.22)	Pt (195.08)	Au (196.97)	Hg (200.59)	Tl (204.38)	Pb (207.2)	Bi (208.98)	Po (209)	At (210)	Rn (222)		
6	Fr (223)	Ra (226)	Ac (227)	Th (232.04)	Pa (231.04)	U (238.03)	Np (237.05)	Pu (244.06)	Am (243.06)	Cm (247.07)	Bk (247.07)	Cf (251.08)	Es (252.08)	Fm (257.10)	Md (258.10)	No (259.10)	Lr (262.11)			
7	Uue (288)	Uub (293)	Uut (288)	Uuq (294)	Uup (294)	Uuh (295)	Uus (296)	Uuo (297)	Uuq (298)	Uup (299)	Uuh (301)	Uus (303)	Uuo (305)	Uuq (307)	Uup (309)	Uuh (311)	Uus (313)	Uuo (315)		
알칼리금속 원소			131.04	85.47	138.91	88.91	178.49	180.95	183.84	186.21	190.23	192.22	195.08	196.97	200.59	204.38	207.2	208.98	209	
알칼리토금속 원소			85.47	137.33	138.91	88.91	178.49	180.95	183.84	186.21	190.23	192.22	195.08	196.97	200.59	204.38	207.2	208.98	209	



Periodic Table of the Elements

Atomic Number →

Atomic Weight →

Density in g/cm³

Chemical Symbol

● Waste Metal Analyzers

● Stationary Metal Analyzers

● ICP Spectrometer

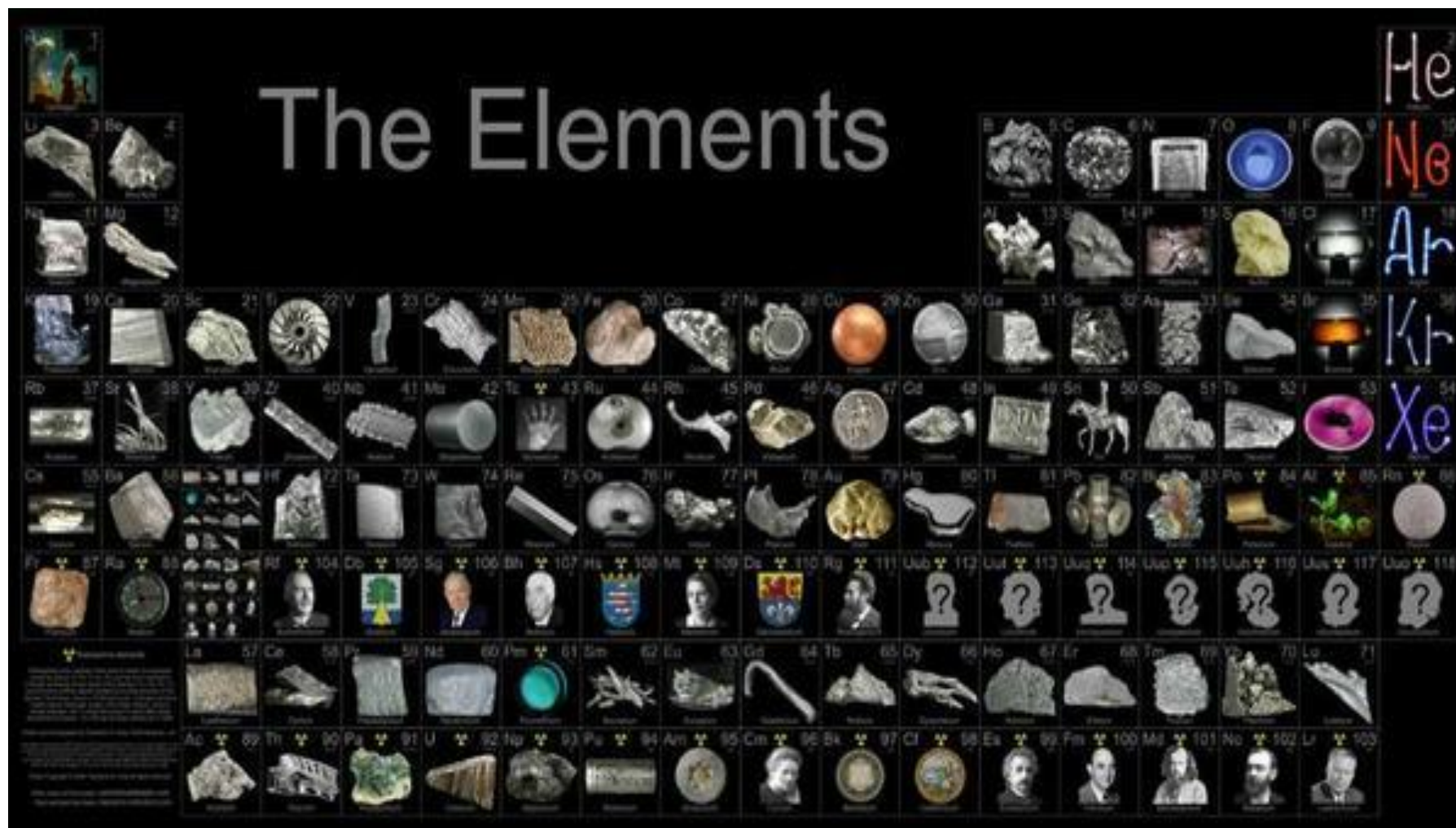
● ICP MS Spectrometer

● XRF Spectrometer

1	2																	10	11	12	13	14	15	16	17	18																						
H	He																	Ne	Ar	Kr	Xe	Rn																										
3	4																	19	20											35	36																	
Li	Be																	K	Ca											Br	Kr																	
5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																	
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																							
23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																															
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54																															
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																															
55	56	57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86																															
Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db																																												
		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																

- Alkali Metals
- Alkaline Earth Metals
- Transition Metals
- Lanthanide
- Actinide
- Remaining Metals
- Non-Metals
- Noble Gases







1													18										
Periodic Table of the Fire Emblem Elements																							
火纹元素周期表																							
compiled by sprays 天堂幻想 http://fcfantasy.cn 2012.11.11 version 1.0																							
1	2												13	14	15	16	17	18					
H	He												B	C	N	O	F	Ne					
3	4												13	14	15	16	17	18					
Li	Be												Al	Si	P	S	Cl	Ar					
5	6	7	8	9	10	11	12											13	14	15	16	17	18
Na	Mg												Al	Si	P	S	Cl	Ar					
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36						
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr						
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54						
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe						
55	56	Ilinoids		72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86					
Cs	Ba			Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn					
87	88	Iarachoids		104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118					
Fr	Ra			Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo					
Ilinoids		57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71							
		La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu							
Iarachoids		89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103							
		Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr							

PERIODIC TABLE OF JAPANESE CHARACTERS

PERIODIC TABLE OF JAPANESE CHARACTERS

H																	He														
Li	Be																	B	C	N	O	F	Ne								
Na	Mg																	Al	Si	P	S	Cl	Ar								
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr														
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe														
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn														
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cp																				
																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
																		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

3.1 元素的周期

周期	1	2											13	14	15	16	17	18
	I A	II A											IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	0
1	<u>H</u>																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Al	Si	P	S	Cl	Ar
			IIIB	IVB	VB	VIB	VII B		VIII		IB	IIB						
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	<u>Tc</u>	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	<u>Po</u>	<u>At</u>	<u>Rn</u>
7	<u>Fr</u>	<u>Ra</u>	<u>Lr</u>	<u>Rf</u>	<u>Db</u>	<u>Sg</u>	<u>Bh</u>	<u>Hs</u>	<u>Mt</u>	-	-	-	-	-				

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



元素周期表

“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

1~18——族序号
I A~VIII A——主族序号
I B~VII B——副族序号
VIII——第八族

族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	电子层
周期	I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII	VIII	VIII	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A	
1	1 H 氢 Hydrogen 1.00794	2 He 氦 Helium 4.002602																	2 K
2	3 Li 锂 Lithium 6.941	4 Be 铍 Beryllium 9.012182											5 B 硼 Boron 10.811	6 C 碳 Carbon 12.0107	7 N 氮 Nitrogen 14.00644	8 O 氧 Oxygen 15.9994	9 F 氟 Fluorine 18.9984032	10 Ne 氖 Neon 20.1797	2 L
3	11 Na 钠 Sodium 22.989770	12 Mg 镁 Magnesium 24.3050											13 Al 铝 Aluminum 26.981538	14 Si 硅 Silicon 28.0855	15 P 磷 Phosphorus 30.973761	16 S 硫 Sulfur 32.065	17 Cl 氯 Chlorine 35.453	18 Ar 氩 Argon 39.948	3 M
4	19 K 钾 Potassium 39.0983	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	4 N
5	37 Rb 铷 Rubidium 85.4678	38 Sr 锶 Strontium 87.62	39 Y 钇 Yttrium 88.90585	40 Zr 锆 Zirconium 91.224	41 Nb 铌 Niobium 92.90638	42 Mo 钼 Molybdenum 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 118.710	51 Sb 锑 Antimony 121.760	52 Te 碲 Tellurium 127.60	53 I 碘 Iodine 126.90447	54 Xe 氙 Xenon 131.293	5 O
6	55 Cs 铯 Cesium 132.90545	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 186.207	76 Os 锇 Osmium 190.23	77 Ir 铱 Iridium 192.217	78 Pt 铂 Platinum 195.078	79 Au 金 Gold 196.96655	80 Hg 汞 Mercury 200.59	81 Tl 铊 Thallium 204.3833	82 Pb 铅 Lead 207.2	83 Bi 铋 Bismuth 208.98038	84 Po 钋 Polonium (209)	85 At 砹 Astatine (210)	86 Rn 氡 Radon (222)	6 P
7	87 Fr 钫 Francium (223)	88 Ra 镭 Radium (226)		104 Rf 𨭈 Rutherfordium (261)	105 Db 𨭉 Dubnium (262)	106 Sg 𨭊 Seaborgium (266)	107 Bh 𨭋 Bohrium (264)	108 Hs 𨭌 Hassium (269)	109 Mt 𨭍 Meitnerium (268)	110 Ds 𨭎 Darmstadtium (271)	111 Rg 𨭏 Roentgenium (272)	112 Cp 𨭐 Copernicium (277)	113 Uut 𨭑 Ununtrium (284)	114 Uuq 𨭒 Ununquadium (289)	115 Uup 𨭓 Ununpentium (288)	116 Uuh 𨭔 Ununhexium (292)	117 Uus 𨭕 Ununseptium (293)	118 Uuo 𨭖 Ununoctium (293)	7 Q
			镧系	57 La 镧 Lanthanum 138.9055	58 Ce 铈 Cerium 140.116	59 Pr 镨 Praseodymium 140.90768	60 Nd 钕 Neodymium 144.24	61 Pm 钷 Promethium (145)	62 Sm 钐 Samarium 150.36	63 Eu 铕 Europium 151.964	64 Gd 钆 Gadolinium 157.25	65 Tb 铽 Terbium 158.92534	66 Dy 镝 Dysprosium 162.500	67 Ho 铥 Holmium 164.93032	68 Er 铒 Erbium 167.259	69 Tm 铥 Thulium 168.93421	70 Yb 镱 Ytterbium 173.04	71 Lu 镥 Lutetium 174.967	8 K
			锕系	89 Ac 锕 Actinium (227)	90 Th 钍 Thorium 232.0381	91 Pa 镤 Protactinium 231.03588	92 U 铀 Uranium 238.02891	93 Np 镎 Neptunium (237)	94 Pu 钚 Plutonium (244)	95 Am 镅 Americium (243)	96 Cm 锔 Curium (247)	97 Bk 锫 Berkelium (247)	98 Cf 锿 Californium (251)	99 Es 镅 Einsteinium (252)	100 Fm 镆 Fermium (257)	101 Md 镎 Mendelevium (258)	102 No 钆 Nobelium (259)	103 Lr 铹 Lawrencium (262)	9 L

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, VIIB, 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**VIII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。

族 周期	IA																	0
1	s 区	IIA																
2																		
3		IIIB	IVB	VB	VIB	VIIB	VIIB				IB	IIB						
4		d 区										ds 区		p 区				
5																		
6																		
7																		
镧系		f 区																
铪系																		

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 \rightarrow 属 s 区元素

(2) 进入 np { ① $np^{1\sim 5}$ 为 IIIA~VIIA }
 { ② np^6 (含 $1s^2$) 为零族元素 } \rightarrow 属 p 区元素

(3) 进入 $(n-1)d$ { ① $(n-1)d^{1\sim 5}$ 为 IIIB~VIIB \Rightarrow 族数 = $[(n-1)d+ns]$ 电子总数 } \rightarrow 属 d 区元素
 { ② $(n-1)d^{6\sim 8}$ 为 VIII B }
 { ③ $(n-1)d^{10}$ 为 IB、IIB \Rightarrow 族数 = ns 的电子数 \rightarrow 属 ds 区元素 }

(4) 进入 $(n-2)f$ { ① $4f$ ————— La 系元素 }
 { ② $5f$ ————— Ac 系元素 } IIIB \rightarrow 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, m_s)

- 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 ^{24}Cr

B ^{29}Cu

C ^{26}Fe

D ^{74}W



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IIIA族
- B 第六周期VA族
- C 第七周期IVB族
- D 第七周期IVA族



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**VIIB**族
- B 第五周期**IIIB**族
- C 第七周期**VIIB**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？



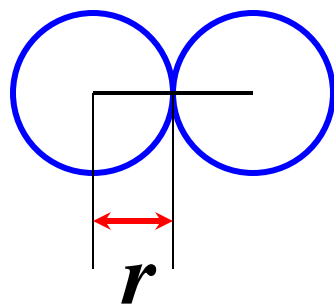
§ 4 元素性质的周期性

- 1 原子半径
- 2 电离能
- 3 电子亲和能
- 4 电负性

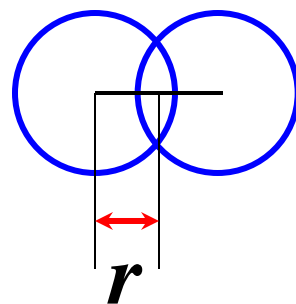


4.1 原子半径

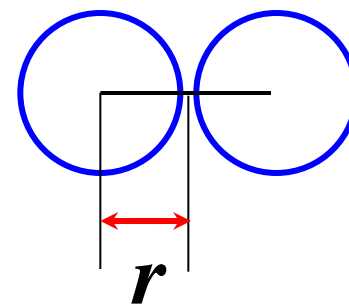
• 金属半径



• 共价半径



• van der Waals 半径



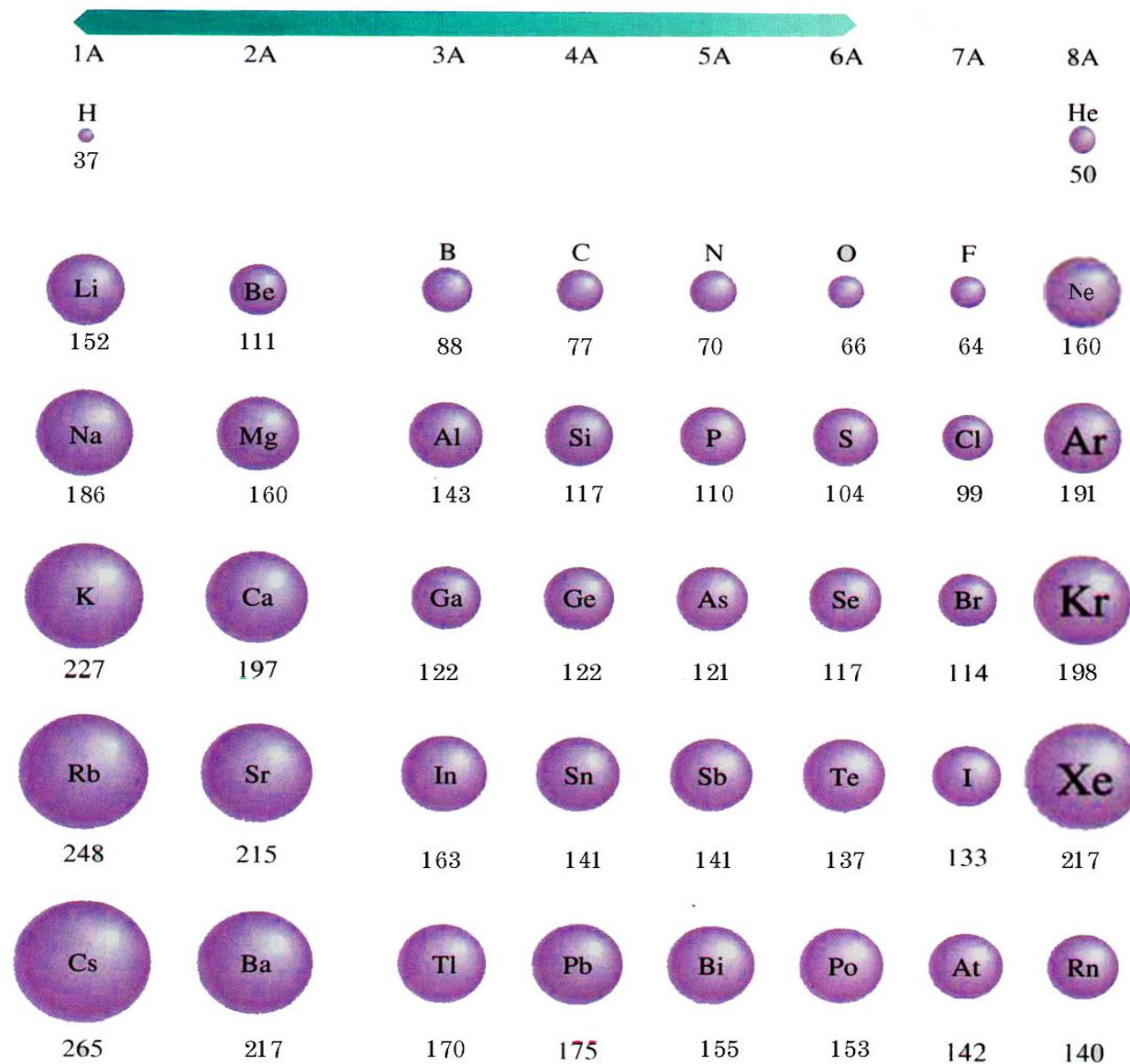
主族元素：从左到右 r 减小；
从上到下 r 增大。

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

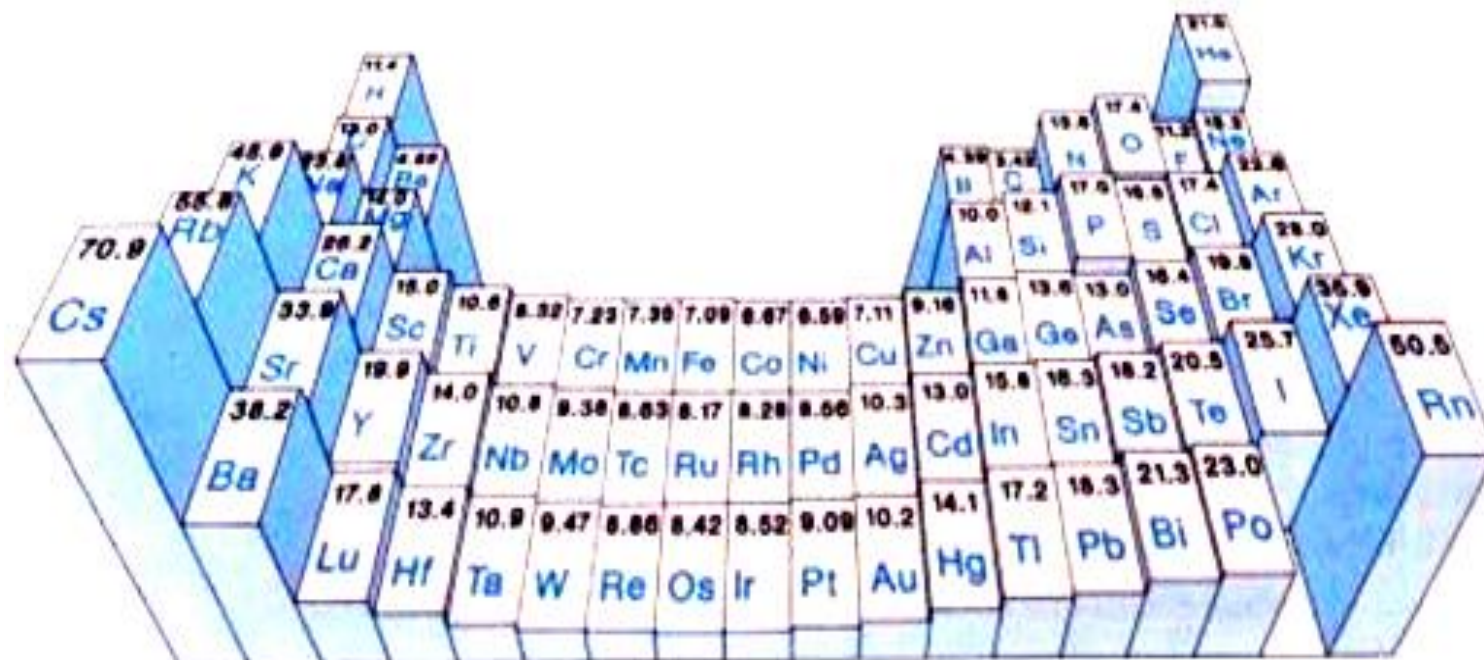
原子半径增大



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;
 - 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;

同一周期:

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、镧系：**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。

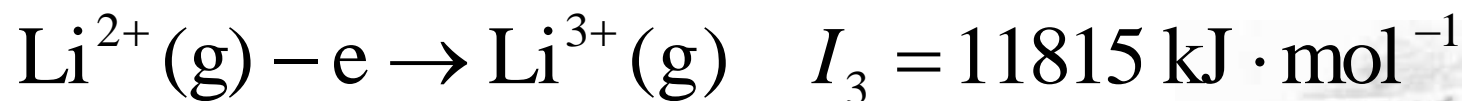
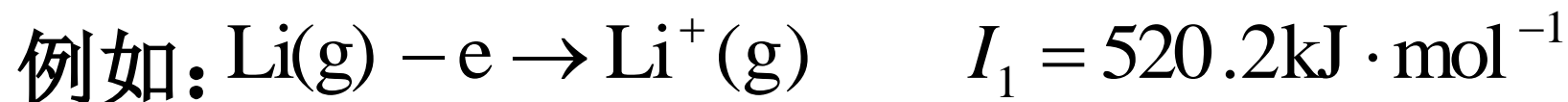
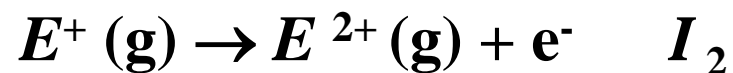


4.2 电离能

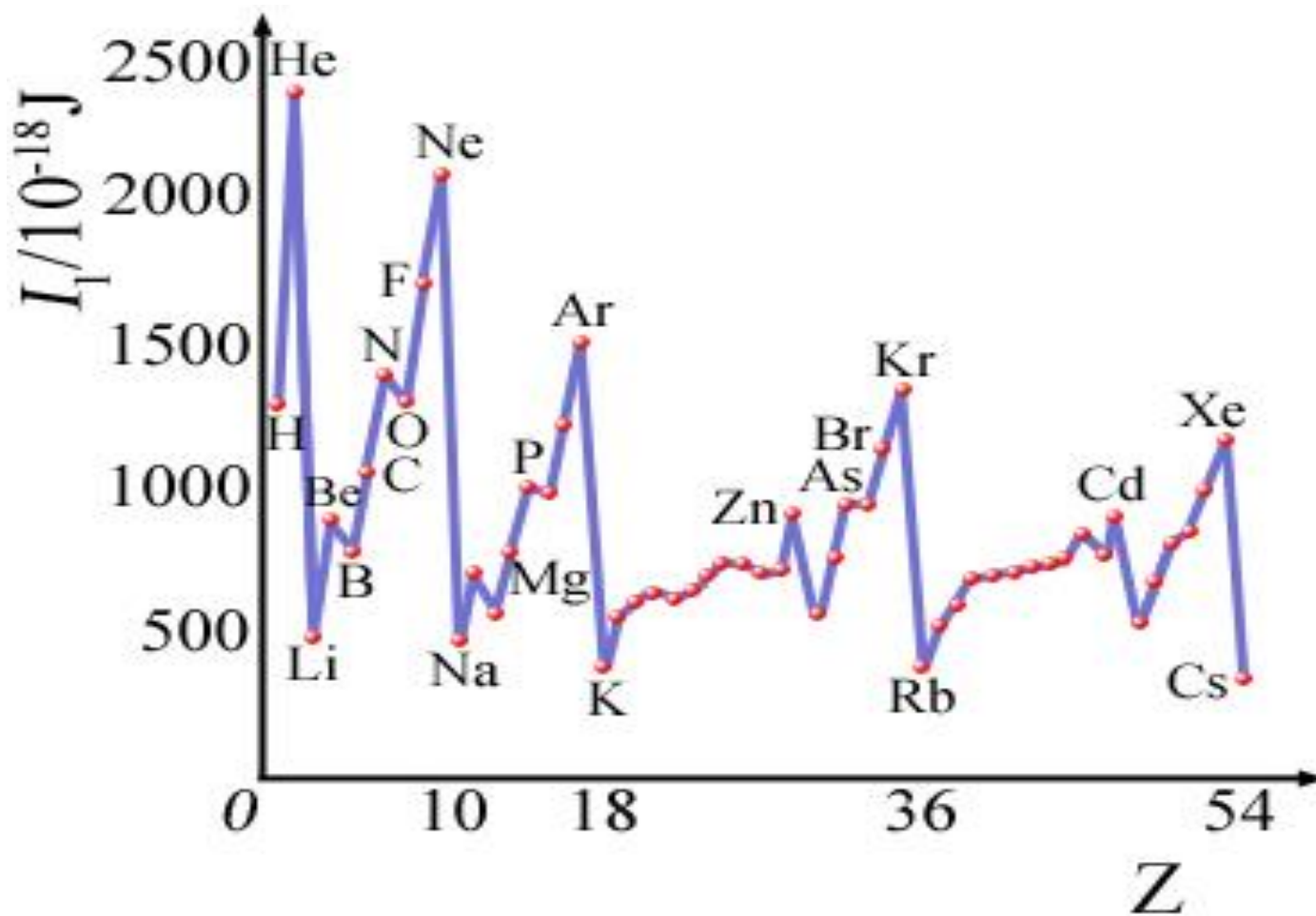
基态气体原子失去电子成为带一个正电荷的气态正离子所需要的能量称为第一电离能，用 I_1 表示。



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 (稀有气体) 最大
- N, P, As, Sb, Be, Mg 电离能较大 (半满、全满)

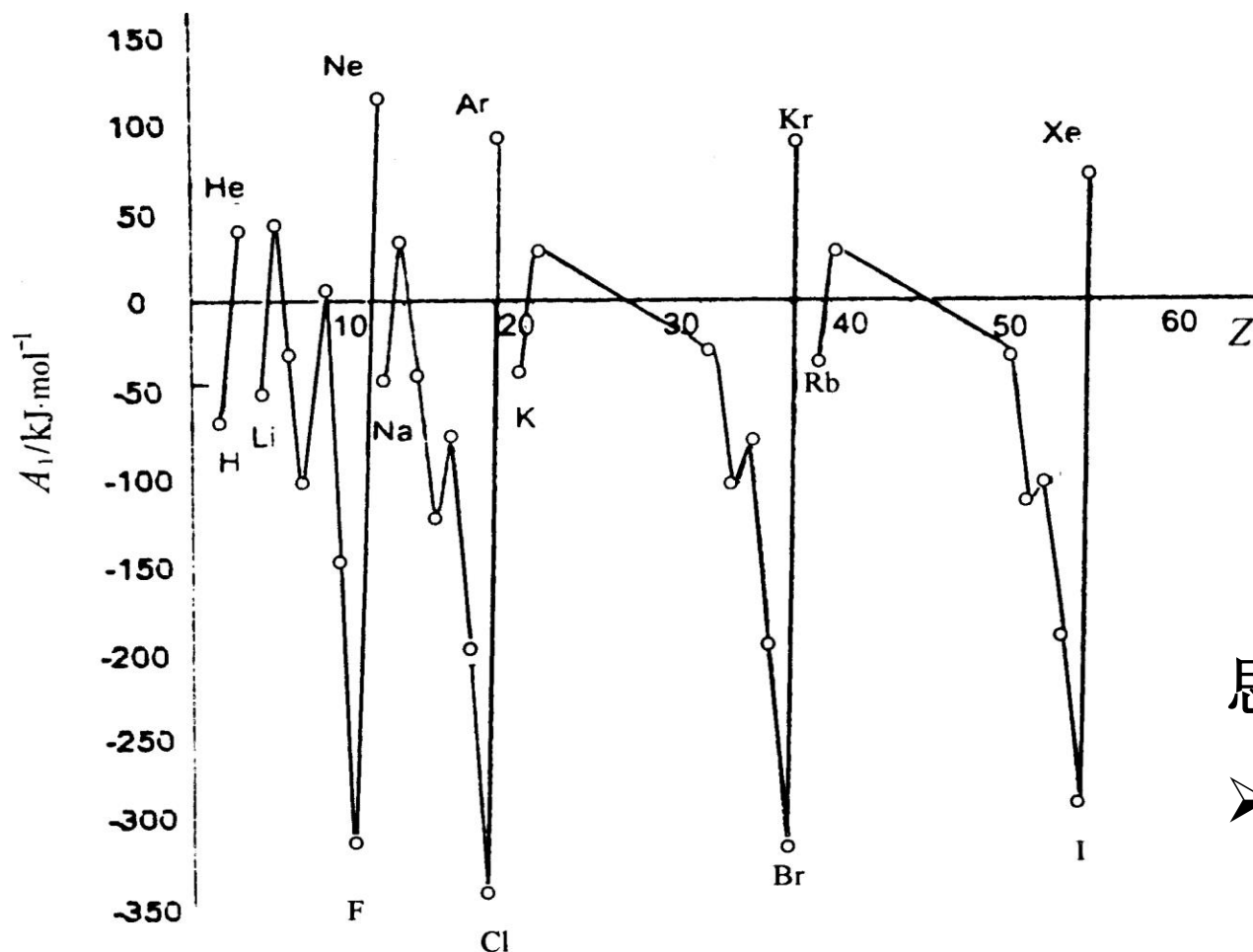


4.3 电子亲和能

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。





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 χ 表示。

电负性的标度有多种，常见的有：
Pauling标度(χ_P)， Mulliken标度(χ_M)，
Allred-Rochow 标度(χ_{AR})， Allen标度(χ_A)。

电负性大小规律：

同一周期：从左到右， χ 增大。

同一主族：从上到下， χ 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。

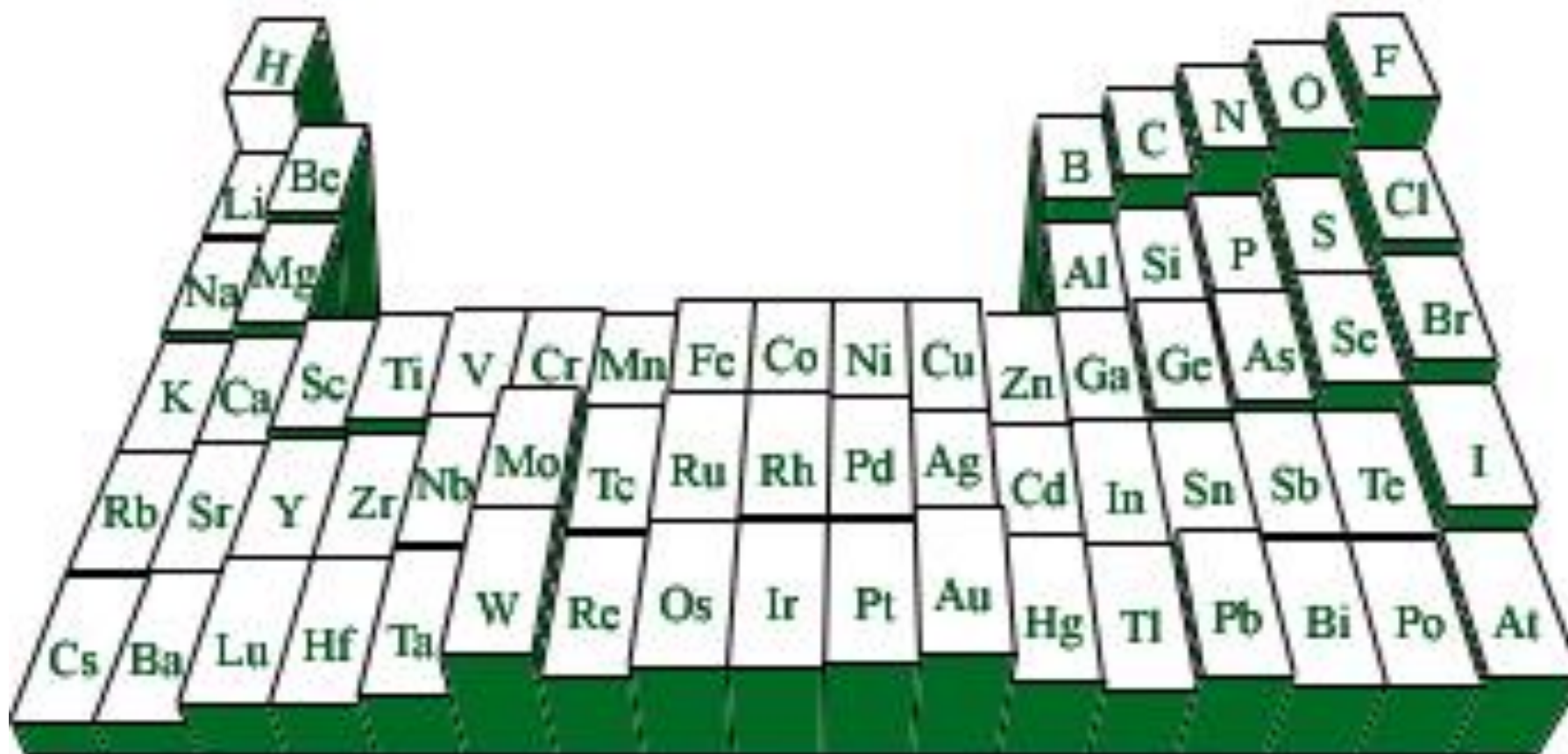


H						
2.18						
Li	Be	B	C	N	O	F
0.98	1.57	2.04	2.55	3.04	3.44	3.98
Na					S	Cl
0.93					2.58	3.16
K					Se	Br
0.82					2.55	2.96
Rb					Te	I
0.82					2.10	2.66



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(χ_{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、电子亲和能、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

