

• 高等学校教学用书 •

无机化学与 化学分析学习指导

尤慧艳 主编



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高等学校教学用书

无机化学与化学分析 学 习 指 导

尤慧艳 主编

内 容 提 要

无机化学与化学分析是目前理工和综合性大学普遍开设的一门课程。本书以史启祯主编的《无机化学与化学分析》教材为参考,对本课程的学习提出了指导性的参考建议并附有大量例题与习题。

全书共 17 章。内容包括无机化学基础理论、平衡与滴定、元素及其化合物等。各章都含有教学基本要求、习题分析与解答、自测习题、自测习题答案四个部分。

本书可作为高等学校化学、化工、环境、过程控制、应用化学、医学、药学、生物工程等相关专业本科生的教学用书,也可供研究生及相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

无机化学与化学分析学习指导/尤慧艳主编. —北京:
冶金工业出版社, 2011. 9
高等学校教学用书
ISBN 978-7-5024-5673-3

I. ①无… II. ①尤… III. ①无机化学—高等学校—
教学参考资料 ②化学分析—高等学校—教学参考资料
IV. ①O6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 167181 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjcbbs@cnmip.com.cn

责任编辑 谢冠伦 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5673-3

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2011 年 9 月第 1 版, 2011 年 9 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 12.75 印张; 307 千字; 197 页

25.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

目前,许多高等学校,特别是理工和综合性大学,都将无机化学和化学分析合并为一门课程。由于配套的习题集,特别是近年来出版的习题集很少,给教学工作带来了一定的困难。本书的出版可以为高等学校的广大师生提供极大的方便,它对于加速实现高等教育课程体系的改革与建设具有重要的现实意义。

本书是按史启禎主编的《无机化学与化学分析》(高等教育出版社,2005)的章节顺序编写的,该教材已纳入教育部“高等教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划”,在高等学校本科教学中普遍使用,很受欢迎,但其二版教材没有课后习题。本书可以作为《无机化学与化学分析》教材的配套用书,同时也可以作为相关课程的主要参考书。本书内容突出教学重点,具有典型性,主要内容已经在大连大学环境与化学工程学院各专业六届学生中进行了教学实践,针对出现的问题不断进行修改和补充,日趋完善。

本书共17章,包括无机化学基础理论、平衡与滴定、元素及其化合物等内容。各章都含有教学基本要求、习题分析与解答、自测习题、自测习题答案四个部分。教学基本要求以近期教育部高等学校化学与化工学科教学指导委员会化学类专业教学指导分委员会为本科化学类专业教学制定的化学教学基本内容为指导,强调了各章教学的重点内容;习题分析与解答中的习题以史启禎主编的《无机化学与化学分析》第一版教材中的课后习题为基础,全部给出了参考答案;自测习题是编者在多年教学实践的基础上参考了大量资料编写而成的,既具有普遍性又具有典型性。自测习题答案给出了各题的参考答案,可为读者提供方便。

参加本书编写工作的人员皆为工作在本专业教学一线的、具有20年以上丰富教学工作经验的教师。全书17章,分别由大连大学的尤慧艳(第一章至第

十七章部分内容)、王伟夫(第一章至第七章、第十二章至第十七章主要内容)、李英敏(第八章至第十一章主要内容)、齐建平(各章第二部分原题录入及全文校对)撰写,最后由尤慧艳增删、编辑、汇总定稿。

特别感谢已退休教师王伟夫老师为本书和本课程建设所付出的辛勤劳动和巨大贡献!

感谢大连大学教务处、环境与化学工程学院领导及本专业同仁的大力支持!

由于编者水平有限,不妥之处恳请读者批评指正。

编 者

2011 年春于大连

目 录

第一章 原子结构与元素周期律	1
第二章 化学键与分子结构	17
第三章 化学反应速率与反应动力学的初步概念	31
第四章 化学热力学初步与化学平衡	38
第五章 酸、碱和酸碱反应	50
第六章 氧化还原反应	57
第七章 配位化合物	72
第八章 酸碱平衡和酸碱滴定	81
第九章 沉淀-溶解平衡和沉淀滴定	95
第十章 条件稳定常数和配位滴定	103
第十一章 条件电势和氧化还原滴定	110
第十二章 s 区元素	117
第十三章 p 区元素 (一)	126
第十四章 p 区元素 (二)	146
第十五章 d 区元素	160
第十六章 f 区元素	180
第十七章 氢	183
附 录	186
参考文献	197

第一章 原子结构与元素周期律

一、教学基本要求

1. 了解核外电子运动的能量量子化特征及玻尔理论对氢原子及类氢离子光谱的解释。
2. 了解核外电子运动的波粒二象性特征。
3. 掌握波动力学中四个量子数的物理意义及其相互关系，能正确写出描述一个核外电子运动状态的四个量子数。
4. 熟悉波函数角度分布和径向分布图形。
5. 理解 $|\psi|^2$ 的物理意义。熟悉几率、几率密度及其相互关系。
6. 理解多电子原子体系中能级分裂与能级交错现象。
7. 掌握鲍林轨道填充顺序图。了解科顿能级图。
8. 熟练掌握核外电子排布三原则及常见元素的电子构型。
9. 掌握元素在周期表中的位置与其原子电子构型的关系。掌握元素周期表的分区，周期及族的结构。
10. 理解电离能、电子亲和能、电负性等概念的意义及它们与原子结构的关系。

在本章的学习过程中，应从核外电子的运动特征入手，以核外电子的排布规律为主线，掌握周期表中各元素基态原子的核外电子排布及其周期性变化规律，进而讨论元素性质的周期性，为研究分子结构和化学反应打下基础。

二、习题分析与解答

1. 区别下列概念。

(1) 质量数和相对原子质量；

答：质量数：对某种原子（核素）而言，其原子核中的质子数与中子数之和（为整数）。

相对原子质量（符号为 A_r ）：对某元素而言，其平均原子质量（与同位素的丰度有关）与 ^{12}C 的原子质量的 $1/12$ 的比值。

(2) 线状光谱和连续光谱；

答：线状光谱：不同元素的原子其特征波长的一系列光谱线。与原子轨道能级的差值有关。

连续光谱：由固体发光所产生的，波长连续变化的光谱图。

(3) 原子轨道与玻尔的固定轨道；

答：原子轨道：薛定谔方程的一个数学解，核外电子的一种可能的空间运动状态。

玻尔固定轨道：玻尔理论中假想的、核外电子可以在其上运动的、符合一定能量条件的圆形轨道。

(4) 定态、基态和激发态；

答：定态：原子核外电子可能处于的受量子化条件制约的能态。

基态：能量最低的定态。

激发态：比基态能量高的其余的定态。

(5) 顺磁性和抗磁性；

答：顺磁性：物质受磁场吸引的性质（与未成对电子数的多少有关）。

抗磁性：物质受磁场排斥的性质（不含未成对电子）。

(6) 波长、波数和频率；

答：波长：波的一个周期性变化的距离（用 λ 表示）。

波数：单位长度（通常为 cm）内，波的周期性变化的次数。为 $1/\lambda$ 。

频率：单位时间（通常为 s）内，波的周期性变化的次数。 $\gamma = c/\lambda$ 。

(7) 电子的粒性和波性；

答：电子的粒性：电子的质量、运动速度、运动轨迹等，在经典物理中表现出来的性质。

电子的波性：电子在原子核外运动时表现出需用波动方程（薛定谔方程）描述的性质。如电子的衍射等。

(8) 轨道能级的简并、分裂和交错；

答：轨道能级的简并：能级相同的轨道称为简并轨道。

轨道能级的分裂：在外磁场等因素的影响下，简并轨道的能级变得不相等的现象。

轨道能级的交错：多电子原子中，主量子数小的某些能级的能量高于主量子数大的某些能级的能量的现象。

(9) 核电荷与有效核电荷；

答：核电荷：原子核由于所含质子数不同，而带有的不同数目的正电荷（为整数，与原子序数相等）。

有效核电荷：在中心势场模型中，原子核外其他电子对指定电子的作用，可以看做是部分地抵消了原子核的正电荷，相当于核电荷降低，这种降低后的核电荷称为有效核电荷。

(10) 共价半径、金属半径和范德华半径；

答：共价半径：在以共价键结合的两原子间，由成键原子核间距所计算出来的半径。

金属半径：在金属晶体中，由相邻原子的核间距所计算出来的半径。

范德华半径：由两个相邻分子的相邻不成键原子的核间距所计算出来的半径。

(11) 电子云径向分布曲线和电子云径向密度分布曲线；

答：电子云的径向分布曲线：以 $r^2 R^2(r)$ 对 r 作图，所得的曲线。它表示电子在半径 r 至 $r + dr$ 之间的球面薄壳层内出现的几率。通常在玻尔半径处有极大值。

电子云的径向密度分布曲线：以 $R^2(r)$ 对 r 作图，所得的曲线。它表示几率密度随半径的变化。如，对 s 电子云，在靠近原子核处有最大值，然后随 r 的增加而逐渐减小。

(12) 波函数角度分布图和电子云角度分布图。

答：波函数的角度分布图：以不同的 θ 和 φ 值代入 $Y_{l,m}(\theta, \varphi)$ 的函数式后，由这些 Y 值所连成的曲面（ Y 的值有正、负之分）。

电子云的角度分布图：以不同的 θ 和 φ 值代入 $Y_{l,m}^2(\theta, \varphi)$ ，由 Y^2 值所连成的曲面（ Y^2 均为正值）。由于 $Y^2 \leq Y$ ，所以电子云角度分布图比波函数的角度分布图要瘦些。

2. 求下列运动物质的德布罗意波长，将计算结果填入表中的空格。

物 体	质量 m/kg	运动速度 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	波长 λ/m
枪 弹	1.2×10^{-3}	1.5×10^2	
汽 车	2.6×10^4	24.6	
电 子	9.11×10^{-31}	3.0×10^7	

答：德布罗意波的波长 $\lambda = \frac{h}{mv}$ 。计算结果见下表：

物 体	质量 m/kg	运动速度 $v/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	波长 λ/m
枪 弹	1.2×10^{-3}	1.5×10^2	3.7×10^{-33}
汽 车	2.6×10^4	24.6	1.03×10^{-39}
电 子	9.11×10^{-31}	3.0×10^7	2.4×10^{-11}

3. 区别教材中介绍的两种周期表族编号系统，试根据现有知识讨论 IUPAC 为什么提出新的编号系统。（提示：稀有气体化合物的合成表明它们并非总是显零价；第 8、第 9、第 10 号三列与其他过渡元素相比没有什么特殊，原系统却既不使用副族、也不使用主族编号，将三列编为一组在周期表中也是唯一的；现存这两种容易造成混乱的主、副族符号习惯等）

答：对周期表的 18 个纵列，习惯的族编号系统为（有的还将 VIII 族称为 VIII B 族、0 族称为 VIII A 族）：

I A	II A	III B	IV B	V B	VI B	VII B	←	VIII	→	I B	II B	III A	IV A	V A	VI A	VII A	0
-----	------	-------	------	-----	------	-------	---	------	---	-----	------	-------	------	-----	------	-------	---

另一习惯编号系统为：

I B	II B	III B	IV B	V B	VI B	VII B	←	VIII B	→	I A	II A	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII A
-----	------	-------	------	-----	------	-------	---	--------	---	-----	------	-------	------	-----	------	-------	--------

可见两系统在 I A、II A 与 I B、II B 间易造成混乱。加之 0 族并不总是显零价，VIII B 的三列编为一族也不尽合理，所以提出 IUPAC 系统：

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----

4. 描述电子运动状态的下列各组量子数中哪几组不可能存在？说明理由。（说明：给出的各组数字是按主量子数、角量子数、磁量子数排序的）。

(1) 2, 2, 0; (2) 2, 1, 1; (3) 3, 0, 3; (4) 2, 3, 0; (5) 3, 2, 2。

答：由于 n 、 l 、 m 的取值范围有一定的条件制约： $l=0, 1, 2, \dots, (n-1)$ ， l 的值只能小于 n ； $m=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm l$ ， m 的值只能是 $|m| \leq l$ 。所以有如下的结果：

- (1) 2, 2, 0 不存在。 $n=l$ 不行。
 (2) 3, 0, 3 不存在。 $l=0$ 时, m 只能是 0。
 (3) 2, 3, 0 不存在。理由同 (1)。

5. 为什么鲍林近似能级图又称为电子填入的顺序图? 试分别用鲍林图和科顿图判断过渡元素原子失去电子形成的正二价离子的电子构型 (中性原子形成正离子时总是优先失去最高能级轨道上的电子)。两种方法是否得出相同的结果, 哪一种结果是正确的?

答: 鲍林近似能级图并不反映在不同元素的原子中各能级能量的实际高低, 而只是形象地描述了价电子层的组成规律。它主要用于指导某元素原子的电子排布式 (电子构型) 的写出, 所以又称电子填入顺序图。它较好地解决了 K、Ca 中 4s 与 3d 能级交错 (即 $E_{4s} < E_{3d}$) 及类似的一些情况。

科顿原子轨道能级图则完全是按照每一元素原子中各能级能量的实测值画出来的, 真实反映了原子中各能级能量高低的情况。如 K、Ca 中, 有 $E_{4s} < E_{3d}$ 。而无论是在其前的 Cl、Ar, 还是在其后的 Sc、Ti 等, 都是 $E_{4s} > E_{3d}$ 。这种情况, 在鲍林能级图中是无法反映出来的。

对 Ti 的失电子, 从科顿能级图看最先失去的是 4s 电子, 与实际情况相符。按鲍林能级图, 则是先失去 3d 电子, 易造成混乱。

6. 写出下列原子 (离子) 的电子构型, 其中的哪些具有顺磁性?

- (1) Zn; (2) Mn; (3) As; (4) Rb; (5) F; (6) Cr; (7) Cu; (8) Fe^{2+} ; (9) V^{2+} ; (10) La^{3+} 。

答: 各原子 (离子) 的电子构型如下: (1) Zn: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2$ 或 $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2$; (2) Mn: $[\text{Ar}] 3d^5 4s^2$; (3) As: $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2 4p^3$; (4) Rb: $[\text{Kr}] 5s^1$; (5) F: $[\text{He}] 2s^2 2p^5$; (6) Cr: $[\text{Ar}] 3d^5 4s^1$; (7) Cu: $[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^1$; (8) Fe^{2+} : $[\text{Ar}] 3d^6$; (9) V^{2+} : $[\text{Ar}] 3d^3$; (10) La^{3+} : $[\text{Xe}]$ 。

其中的 (1)、(10) 无成单的电子, 无顺磁性, 其他均有顺磁性。

7. 完成下列表格, 并从教材中核对你的答案。

价层电子构型	元素所在周期号	元素所在族号
$2s^2 2p^4$		
$3d^{10} 4s^2 4p^4$		
$4f^{14} 5d^1 6s^2$		
$3d^7 4s^2$		
$4f^9 6s^2$		

提示: (1) 周期号等于构型式中最大的主量子数。

(2) 确定族号可按下述方法: 价层只涉及 ns 和 np 电子时, 罗马数字表示的族号等于这些价电子的总和; 价层只涉及 ns 、 np 和 $(n-1)d$ 电子时, 阿拉伯数字表示的族号 (下同) 等于这些价电子的总和; 价层只涉及 ns 、 np 、 $(n-1)d$ 和 $(n-2)f$ 电子时, 族号等于除 $(n-2)f$ 电子外其余电子的总和, 但 $(n-1)d$ 电子为零时, 其他价层电子总和加 1 才等于族号。镧系和锕系元素往往出现最后一种情况。

答：

价层电子构型	元素所在周期号	元素所在族号
$2s^2 4p^4$	2	VIA/16 (IUPAC 系统)
$3d^{10} 4s^2 4p^4$	4	VIA/16 (IUPAC 系统)
$4f^{14} 5d^1 6s^2$	6	III B/3 (IUPAC 系统)
$3d^7 4s^2$	4	VIII/9 (IUPAC 系统)
$4f^9 6s^2$	6	III B/3 (IUPAC 系统)

8. 完成下列表格，并从教材中核对你的答案。

价层电子构型	元素所在周期号	元素所在族号
	3	15/V
	6	11
	4	8
	4	17/VII
	5	2

提示：先确定元素位于哪一区，然后根据该区特有的价层电子构型直接写出，不要使用顺序图。

答：

价层电子构型	元素所在周期号	元素所在族号
$[\text{Ne}] 3s^2 3p^3$	3	15/V
$[\text{Xe}] 4f^{14} 5d^{10} 6s^1$	6	11
$[\text{Ar}] 3d^6 4s^2$	4	8
$[\text{Ar}] 3d^{10} 4s^2 4p^5$	4	17/VII
$[\text{Kr}] 5s^2$	5	2

9. 以鲍林近似能级图为基础，完成下列表格。

说明：下表中编号(1)~(5)分别指一特定电子在某原子中的5种运动状态；如果该原子为氢原子，得出的顺序填入(A)栏；如果为多电子原子，得出的顺序填入(B)栏；能级顺序由高到低用数字1, 2, 3...编号，能级相同时用相同的编号。

编号	n	l	m	m_s	轨道符号	能级高低顺序(A)	能级高低顺序(B)
(1)	4	0	0	+1/2			
(2)	3	1	-1	-1/2			
(3)	3	2	0	+1/2			
(4)	3	2	-2	-1/2			
(5)	3	0	0	-1/2			

答：

编号	n	l	m	m_s	轨道符号	氢原子能级顺序	K、Ca 原子能级顺序	其余原子能级顺序
(1)	4	0	0	+1/2	4s	1	2	1
(2)	3	1	-1	-1/2	3p	2	3	3
(3)	3	2	0	+1/2	3d	2	1	2
(4)	3	2	-2	-1/2	3d	2	1	2
(5)	3	0	0	-1/2	3s	2	4	4

10. 什么是屏蔽效应和钻穿效应？用屏蔽和（或）钻穿效应解释下列问题。

(1) 氢原子中： $E_{ns} = E_{np} = E_{nd} = E_{nf}$ ；

(2) 多电子原子中： $E_{ns} < E_{np} < E_{nd} < E_{nf}$ ；

(3) 周期表横行中自左向右两元素间原子半径的平均减小幅度：

主族元素原子 > 过渡元素原子 > 内过渡元素原子；

(4) 第 2 族元素的第一电子亲和能小于同周期的第 1 和第 3 族元素；稀有气体元素的电子亲和能则是同周期元素中最小的。

答：屏蔽效应：在多电子原子中，其他电子对某指定电子的排斥作用，相当于减弱了原子核对该电子的吸引力，部分抵消了原子的核电荷。这种抵消作用称为屏蔽效应。

钻穿效应：由于电子云径向分布在靠近原子核处有小峰，从而使某电子较少受到其他电子的屏蔽，这种作用称为钻穿效应。

(1) 氢原子中 $E_{ns} = E_{np} = E_{nd} = E_{nf}$ 。这是由于原子核外的单电子没有受到其他电子的屏蔽作用，电子的能级只取决于主量子数 n 。

(2) 钻穿效应的强弱可由电子云径向分布图中的小峰数来判断。离核近处的小峰数越多，钻穿效应越强。在 ns 、 np 、 nd 、 nf 序列中，小峰数依次减少，电子的钻穿效应逐渐减弱，能量升高。

(3) 主族元素为 ns 或 np 电子填充，每增加一个核电荷，在最外层增加一个电子。外层电子的屏蔽作用不好，核电荷增大导致对电子的吸引力明显增大，原子半径显著减小。

过渡元素原子的核电荷增加时，增加的电子填充在次外层，其屏蔽效应要强些，使有效核电荷增加得不多，原子半径减小得不多。

内过渡元素原子的电子增加在更内的 $(n-2)f$ 能级，其屏蔽作用更强，使有效核电荷几乎不增。

(4) 电子亲和能的大小，即结合一个电子时放出能量的多少，取决于原子核对所结合电子吸引力的强弱，而内层电子屏蔽作用的大小决定了该吸引力的强弱。屏蔽作用越强，该元素的电子亲和能就越小。

对第 1 族原子的 ns^1 和第 3 族原子的 $ns^2 np^1$ ，增加的电子都填充在原来已有电子的亚层，屏蔽作用没有显著的变化。而第 2 族原子的 ns^2 ，增加的电子填充在 np 亚层，内层电子对其屏蔽有明显增加，所以电子亲和能较小。

对稀有气体元素, 增加的电子要填充在一个新的电子层, 内层电子对其屏蔽作用有极大的增强, 所以其电子亲和能最小。

11. 什么是镧系收缩? 试说明产生镧系收缩的原因以及这一现象对镧系元素本身和第六周期过渡元素性质的影响。

答: 镧系收缩是指随原子序数的增加, 镧系元素原子半径很缓慢减小的现象。原因是镧系元素为 $(n-2)f$ 电子填充, 填在较内层的 $4f$ 电子有较强的屏蔽作用, 几乎完全抵消掉了核电荷的增加, 使原子核的有效核电荷只有些许增大, 对外层电子的吸引力稍稍增加, 原子半径极缓慢地减小。

镧系收缩使镧系元素的性质极为相近, 常共生、难分离; 使第六周期过渡元素的原子半径与第五周期相应元素的原子半径相近, 性质相近, 造成分离困难。

12. 按半径大小将下列等电子离子排序: Na^+ , F^- , Al^{3+} , Mg^{2+} , O^{2-} , 并说明理由。

答: 半径由大到小为: $\text{O}^{2-} > \text{F}^- > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Al}^{3+}$ 。

因为电子构型相同, 核电荷依次增大, 原子核对外层电子的吸引力增大, 离子半径减小。

13. 解释电离能变化趋势。

(1) 中性原子的第一电离能 I_1 :

$\text{Li} < \text{Be} > \text{B} < \text{C} < \text{N} > \text{O} < \text{F} < \text{Ne}$

$\text{He} > \text{Ne} > \text{Ar} > \text{Kr} > \text{Xe} > \text{Rn}$

$\text{Mn} > \text{Tc} > \text{Re}$

(2) Ne 与 Na^+ 都有 10 个电子 (等电子体), 电子构型也相同 ($1s^2 2s^2 2p^6$), 但 $\text{Ne} < \text{Na}^+$ (47.3eV)。

(3) Al 的各级电离能之间的关系: I_1 (5.99eV) $< I_2$ (18.83eV) $< I_3$ (28.45eV) $\ll I_4$ (120.0eV)。

答: (1) 在同一周期中, 随原子核电荷的增加, 应该有第一电离能逐渐增大的趋势。又由于 Be 为 $[\text{He}]2s^2$ 电子构型, 为全满; N 为 $[\text{He}]2s^2 2p^3$, 为半充满, 都有特殊的稳定性, 其电离能分别大于其后一元素。从而有 $\text{Li} < \text{Be} > \text{B} < \text{C} < \text{N} > \text{O} < \text{F} < \text{Ne}$ 的顺序。

(2) 在同一族中, 随电子层数的增加, 原子核对外层电子的吸引力减弱, 电离能变小。从而对 0 族有 $\text{He} > \text{Ne} > \text{Ar} > \text{Kr} > \text{Xe} > \text{Rn}$, 对 VII B 族也有 $\text{Mn} > \text{Tc} > \text{Re}$ 。 Ne 与 Na^+ 的电子构型虽然相同, 但核电荷数不同, 所以分别再电离出一个电子所需的能量不同。

(3) 由于离子带有正电荷后电子间的斥力变小, 电离能肯定要增大, 对任何元素都有 $I_1 < I_2$ 。对 Al 来说, 电子构型为 $[\text{Ne}]3s^2 3p^1$, 失去 3 个电子还是比较容易的。失去属于原子实的内层的第四个电子, 会很难。所以有 $I_1 < I_2 < I_3 \ll I_4$ 。

三、自测习题

(一) 选择题

1. 原子半径最接近下列哪个数据 ()。

A. $1\mu\text{m}$

B. 1nm

C. 1pm

D. 1fm

2. 最成功解释氢光谱的学者是 ()。
- A. 汤姆逊 B. 德布罗意 C. 玻尔 D. 海森堡
3. 下列关于氢原子结构叙述不正确的是 ()。
- A. 电子在 $r < 53\text{pm}$ 的区域出现的几率密度大
- B. 电子在 $r = 53\text{pm}$ 处出现的几率最大
- C. 电子在 $r = 53\text{pm}$ 处出现的几率密度最大
- D. 电子在 $r > 53\text{pm}$ 的空间出现的几率随 r 的增大而减小
4. 玻尔理论不能解释 ()。
- A. 氢原子光谱为线状光谱
- B. 在一给定的稳定轨道上, 运动的核外电子不发射能量——电磁波
- C. 氢原子的可见光区谱线
- D. 氢原子光谱的精细结构
5. 氢原子第一激发态上的电子能量为 ()。
- A. -13.6eV B. -3.4eV C. -6.8eV D. 13.6eV
6. 基态氢原子的半径为 ()。
- A. 0.53pm B. 0.53nm C. 53pm D. 53nm
7. 量子力学的一个轨道 ()。
- A. 与玻尔理论中的原子轨道相同
- B. 是 n 有一定值时的一个波函数
- C. 是 n, l 有一定值时的一个波函数
- D. 是 n, l, m 有一定值时的一个波函数
8. 下列各量子数 (n, l, m, m_s 依次排列), 可能存在的是 ()。
- A. $3, 2, 2, +1/2$ B. $3, 0, 1, +1/2$
- C. $2, -1, 0, -1/2$ D. $2, 0, -2, +1/2$
9. 一个原子的 M 壳层能容纳的电子数是 ()。
- A. 8 B. 18 C. 32 D. 50
10. 下列各组中, 量子数不合理的一组是 ()。
- A. $n=2, l=2, m=2, m_s=+1/2$ B. $n=3, l=2, m=2, m_s=+1/2$
- C. $n=1, l=0, m=0, m_s=-1/2$ D. $n=2, l=1, m=0, m_s=+1/2$
11. 在波动力学模型中, 所谓原子轨道是指 ()。
- A. 一定的电子云 B. 核外电子的几率
- C. 一定的波函数 D. 某个径向分布函数
12. 下列关于电子云的说法, 不正确的是 ()。
- A. 电子云是描述核外某空间电子出现的几率密度的概念
- B. 电子云是 $|\psi|^2$ 的形象化描述
- C. 电子云有多种图形, 黑点图只是其中一种
- D. 电子就像云雾一样在原子核周围运动, 故称为电子云
13. 下列说法错误的是 ()。
- A. $|\psi|^2$ 表示电子出现的几率密度 B. $|\psi|^2$ 表示电子出现的几率

- C. $|\psi|^2$ 在空间分布的图形称为电子云 D. $|\psi|^2$ 值一定大于 ψ 值
14. 下列说法不正确的是 ()。
- A. 氢原子中, 电子的能量只取决于主量子数 n
 B. 多电子原子中, 电子的能量不仅与 n 有关, 还与 l 有关
 C. 波函数由四个量子数确定
 D. $m_s = \pm 1/2$ 表示电子的自旋有两种方式
15. 下列波函数符号错误的是 ()。
- A. $\psi(1,0,0)$ B. $\psi(2,1,0)$ C. $\psi(1,1,0)$ D. $\psi(3,0,0)$
16. $n=4$ 时 m 的最大取值为 ()。
- A. 4 B. ± 4 C. 3 D. 0
17. 2p 轨道的磁量子数可能有 ()。
- A. 1, 2 B. 0, 1, 2
 C. 1, 2, 3 D. 0, +1, -1
18. n, l, m 确定后, 仍不能确定该量子数组合所描述的原子轨道的 ()。
- A. 数目 B. 形状
 C. 能量 D. 所填充的电子数目
19. 描述一确定的原子轨道 (即一个空间运动状态), 需用以下参数 ()。
- A. n, l B. n, l, m C. n, l, m, m_s D. 只需 n
20. 原子中电子的描述不可能的量子数组合是 ()。
- A. 1, 0, 0, $+1/2$ B. 3, 1, 1, $-1/2$
 C. 2, 2, 0, $-1/2$ D. 4, 3, -3, $-1/2$
21. 下列对四个量子数的说法正确的是 ()。
- A. 电子的自旋量子数是 $1/2$, 在某一个轨道中有两个电子, 故总自旋量子数是 1 或是 0
 B. 磁量子数 $m=0$ 的轨道都是球形的轨道
 C. 角量子数 l 的可能取值是从 0 到 n 的正整数
 D. 多电子原子中, 电子的能量取决于主量子数 n 和角量子数 l
22. 在主量子数为 4 的电子层中, 能容纳的最多电子数是 ()。
- A. 18 B. 24 C. 32 D. 36
23. 多电子原子中, 在主量子数为 n , 角量子数为 l 的分层上, 原子轨道数为 ()。
- A. $2l+1$ B. $n-1$ C. $n-l+1$ D. $2l-1$
24. 在多电子原子中, 各电子具有下列量子数, 其中能量最高的电子是 ()。
- A. 2, 1, -1, $+1/2$ B. 2, 0, 0, $-1/2$
 C. 3, 1, 1, $-1/2$ D. 3, 2, -1, $+1/2$
25. 当基态原子的第六电子层只有两个电子, 则原子的第五电子层的电子数是 ()。
- A. 肯定为 8 电子 B. 肯定为 18 电子
 C. 肯定为 8~18 电子 D. 肯定为 8~32 电子
26. 在多电子原子中, 决定轨道能量的是 ()。
- A. n B. n 和 l C. n, l 和 m D. n 和 m
27. 钻穿效应使屏蔽效应 ()。

- A. 增强
C. 无影响
- B. 减弱
D. 增强了外层电子的屏蔽效应
28. 下列电子构型中, 属于原子激发态的是 ()。
- A. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
C. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^1$
- B. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2$
D. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1$
29. 第 39 号元素钇的电子排布应是下列各组中的 ()。
- A. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^1 5s^2$
C. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4f^1 5s^2$
- B. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 5s^2 5p^1$
D. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 5s^2 5d^1$
30. 下列元素中, 哪一个元素外围电子构型中 3d 全满、4s 半充满 ()。
- A. 汞
B. 银
C. 铜
D. 镍
31. 下述几种元素: C、Cr、Ag、Pb 基态原子中, 未成对电子数应分别是 ()。
- A. 2、1、1、2
B. 2、1、4、1
C. 2、6、1、2
D. 2、4、1、2
32. 氢原子的 3d 和 4s 能级的能量高低是 ()。
- A. $3d > 4s$
C. $3d = 4s$
- B. $3d < 4s$
D. 无 3d、4s 轨道, 无所谓能量高低
33. 第六周期元素最高能级组为 ()。
- A. 6s6p
B. 6s6p6d
C. 6s5d6p
D. 4f5d6s6p
34. 一个原子在第三电子层上有 10 个电子可以写成 ()。
- A. 3^{10}
B. $3d^{10}$
C. $3s^2 3p^6 3d^2$
D. $3s^2 3p^6 4s^2$
35. 某金属离子 M^{2+} 的第三电子层中有 15 个电子, 该金属的符号是 ()。
- A. Fe
B. Mn
C. Co
D. Ni
36. 某元素位于周期表中 36 号元素之前, 失去 3 个电子后, 在角量子数为 2 的轨道上刚好半充满, 该元素是 ()。
- A. 铬
B. 钪
C. 砷
D. 铁
37. 外围电子构型为 $4f^7 5d^1 6s^2$ 的元素在周期表中的位置应为 ()。
- A. 第四周期 VII B 族
B. 第五周期 III B 族
C. 第六周期 VII B 族
D. 第六周期 III B 族
38. 如果发现 114 号元素, 该元素应属于哪一周、哪一族 ()。
- A. 第八周期 III A 族
B. 第六周期 VA 族
C. 第七周期 IV B 族
D. 第七周期 IV A 族
39. 下列基态原子中, 第一电离能最大的是 ()。
- A. B
B. C
C. N
D. O
40. 按周期表排列, 元素 Be、B、Mg、Al 的电负性大小顺序为 ()。
- A. $B > Be > Al > Mg$
C. $B > Be \approx Al > Mg$
- B. $B > Al > Be > Mg$
D. $B < Al < Be < Mg$
41. 以下元素原子半径递变规律是 ()。
- A. $Be < B < Na < Mg$
B. $B < Be < Mg < Na$
C. $Be < B < Mg < Na$
D. $B < Be < Na < Mg$
42. 在周期表中, 第一电子亲和能具有最大值的元素是 ()。

A. F B. Cl C. Br D. O

43. 氧原子的第一电子亲和能 E_1 和第二电子亲和能 E_2 的值应该 ()。

A. 都是负值 B. 都是正值
C. E_1 是正值、 E_2 为负值 D. E_1 是负值、 E_2 为正值

44. 鲍林电负性可以预言元素的下列哪个性质 ()。

A. 配位数 B. 偶极矩 C. 分子的极性 D. 键的极性

45. 下面各系列哪一个是按电离能增加的顺序排列的 ()。

A. C, P, Se B. O, F, Ne C. B, Be, Li D. Li, Na, K

46. 下列原子或离子中, 半径最大的是 ()。

A. P B. S^{2-} C. Mg^{2+} D. Cl^-

47. 在下面的电子结构中, 第一电离能最小的原子可能是 ()。

A. ns^2np^3 B. ns^2np^5 C. ns^2np^4 D. ns^2np^6

48. 下列原子中电离能最大的是 ()。

A. Be B. C C. Al D. Si

49. 第一电子亲和势最大的元素是 ()。

A. F B. Cl C. Na D. H

50. 有 A、B 和 C 三种主族元素, 若 A 元素阴离子与 B、C 元素的阳离子具有相同的电子层结构, 且 B 的阳离子半径大于 C, 则这三种元素的原子序数大小次序是 ()。

A. $B < C < A$ B. $A < B < C$ C. $C < B < A$ D. $B > C > A$

(二) 填空题

1. 微观粒子运动的共性是_____和_____。
2. 基态氢原子的 $1s$ 电子在距核 $53pm$ 附近的_____中出现的_____最大。这是因为距核较近时, _____虽大, _____却较小, 因而_____较小; 距核较远时, _____虽较大, _____却很小, 因而_____也较小之故。
3. 符号 $4d$ 表示主量子数 n 等于_____, 角量子数等于_____. 该电子亚层最多可能有_____种空间取向不同的轨道, 可容纳最多_____个电子。
4. 波函数角度分布图与_____量子数无关, 只由_____量子数决定。
5. 含有半满 p 亚层的最轻原子是_____。
6. 写出具有下列指定量子数的原子轨道符号。
(1) $n=4, l=1$ _____; (2) $n=5, l=2$ _____。
7. 对于原子的外层电子来说, _____值越大则能级越高, 对于原子较深内层电子来说, 能级的高低基本上仍决定于_____。
8. 氢原子 $1s$ 电子的_____是在原子核附近最大, 而_____的径向分布却是在 $52.9pm$ 处最大。
9. 电子云的角度分布图表示了电子在空间不同角度出现的_____的大小, 而几率的径向分布图则表示电子在整个空间出现的几率随_____变化的情况, 从而反映了核外电子几率分布的层次及穿透性。
10. 氢原子的电子能级由_____决定, 而锂原子的电子能级由_____共同决定。