

普通高中教科书

化学

HUA XUE

练习部分

选择性
必修2

物质结构与性质

学 校 _____

班 级 _____

姓 名 _____

学 号 _____

上海科学技术出版社

普通高中教科书

化 学

练习部分

选择性必修 2 物质结构与性质

上海科学技术出版社

主 编：麻生明 陈 寅
副 主 编：王韵华 李锋云
编写人员：（以姓氏笔画为序）
朱泓琨 陆晨刚

责任编辑：胡恺岩

封面设计：诸梦婷

普通高中教科书 化学练习部分 选择性必修2 物质结构与性质
上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会组织编写

出 版 上海世纪出版(集团)有限公司 上海科学技术出版社
(上海市闵行区号景路159弄A座9F-10F 邮政编码201101)

发 行 上海新华书店

印 刷 上海中华印刷有限公司

版 次 2023年1月第1版

印 次 2024年7月第4次

开 本 890毫米×1240毫米 1/16

印 张 3.25

字 数 64千字

书 号 ISBN 978-7-5478-5978-0/G·1142

定 价 3.60元

价格依据文号 沪价费〔2017〕15号

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分·违者必究

如发现印装质量问题或对内容有意见建议,请与本社联系。电话:021-64848025

全国物价举报电话:12315

目 录

第 1 章	原子结构与性质	1
1.1	氢原子结构模型	1
1.2	多电子原子核外电子的排布	4
1.3	元素周期律	7
	本章测试	11
第 2 章	分子结构与性质	15
2.1	共价分子的空间结构	15
2.2	分子结构与物质的性质	21
2.3	配位化合物和超分子	26
	本章测试	30
第 3 章	晶体结构与性质	33
3.1	金属晶体	33
3.2	离子晶体	37
3.3	共价晶体和分子晶体	40
	本章测试	43

第 1 章 原子结构与性质

1.1 氢原子结构模型

氢原子光谱和玻尔原子结构模型

1. 光谱在化学分析中有着重要的作用和意义,是科学家们研究物质结构的重要工具。当复色光经过棱镜折射后,形成的一条连续的亮带是_____光谱,形成的不连续的亮线则是_____光谱。科学家们可以通过原子光谱来研究原子的_____。
2. 丹麦物理学家玻尔在普朗克量子论、爱因斯坦光子学说和卢瑟福原子结构有核模型的基础上,提出了玻尔原子结构模型,成功地解释了()。
(A) 电子的存在 (B) 氢原子光谱
(C) 元素周期律 (D) 原子核的内部结构
3. 根据玻尔原子结构模型,下列说法中正确的是()。
(A) 玻尔原子结构模型可以解释多电子原子的光谱
(B) 原子中的电子在定态轨道上运动时,可能会辐射能量
(C) 电子在不同能量的两个轨道之间发生跃迁时,会辐射或吸收能量
(D) 电子在定态轨道上的运动状态被称为基态
4. 请运用玻尔原子结构模型解释为何氢原子光谱是线光谱。

氢原子的结构模型

1. 科学家用原子轨道、电子云模型等来描述电子在原子核外的运动状态,具体可从_____、_____、_____、_____四个方面来描述。
2. 下列能级符号中,不存在的是()。
(A) 3s (B) 5p (C) 2d (D) 4f
3. 基态钠原子核外能量不同的电子有()。
(A) 3 种 (B) 4 种 (C) 5 种 (D) 11 种
4. 下列关于原子轨道和电子云的说法中,正确的是()。
(A) 原子轨道是一种描述核外电子运动状态的复杂函数
(B) 原子轨道是核外电子绕核高速运动的真实轨道
(C) 电子云可以表示核外电子的运动轨迹
(D) 电子云中小黑点密集的地方表示该处电子数目多
5. 下列关于核外电子运动状态的说法中,正确的是()。
(A) $n=1$ 的电子层一共有三个原子轨道
(B) 2p 原子轨道一共有五个不同的空间伸展方向
(C) $2p_x$ 和 $3p_x$ 两个原子轨道具有相同的空间伸展方向,但具有不同的能量
(D) 确定了电子的原子轨道及其空间伸展方向后,就能确定一个电子的运动状态

原子光谱分析

1. 原子光谱分析法主要包括原子_____光谱分析法和原子_____光谱分析法,这些是科学研究中的重要方法和手段。
2. 下列关于原子光谱分析的说法中,错误的是()。
(A) 通过原子光谱可以鉴定某些元素
(B) 通过原子光谱可以发现某些新元素
(C) 原子发射光谱可以是连续的,也可以是不连续的
(D) 霓虹灯发出各种颜色光的机理与氢原子光谱的形成机理类似
3. 简述为什么不同元素的原子发射光谱会具有不同的特征谱线。



实践与制作

为了加深对原子轨道的形状以及空间伸展方向的认识,请参考教科书第 8 页,自己寻找合适的材料动手制作 s 、 p_x 、 p_y 和 p_z 的原子轨道模型。制作完成后请从不同方向观察四种原子轨道的立体结构,尤其注意 p_x 、 p_y 和 p_z 的空间伸展方向要正确。



生活与社会

生活中五彩斑斓的烟花给重要节日增添了一抹亮丽的景色,人们会在烟花中加入一些含有金属元素的化合物,利用这些金属元素的焰色试验使烟花更加绚烂多彩。请查阅相关资料,自选一个角度,例如焰色试验、原子光谱、烟花技术、环境保护等,撰写一份以烟花为主题的研究综述。

1.2 多电子原子核外电子的排布

基态原子核外电子的排布规则

1. 科学研究表明,原子核外的电子排布具有一定的规律,科学家们通过总结光谱实验的事实提出了三条经验规则。

能量最低原理:核外电子在各原子轨道上的排布方式应使_____。

泡利不相容原理:每个原子轨道中最多只能容纳_____个自旋状态_____的电子。

洪特规则:当电子在能量相同的原子轨道上排布时,电子总是优先按自旋状态_____的方式单独地占据各个原子轨道,并且当 np 、 nd 、 nf 能级上电子处于_____或_____状态时,体系能量最低。

原子中的电子按照上述规则排布时,能量处于最低状态,被称为原子的_____,其他的状态则是原子的_____。

2. 根据构造原理,下列基态原子核外电子排布的能级中,电子填入顺序位于最后的是()。

(A) $3s$ (B) $3p$ (C) $3d$ (D) $4s$

3. M 层最多容纳的电子个数是()。

(A) 8 (B) 10 (C) 18 (D) 32

4. 如图 1.1 所示的电子排布方式,违背了下列规则或原理中的()。

(A) 洪特规则 (B) 核外电子分层排布
(C) 构造原理 (D) 泡利不相容原理

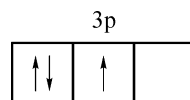


图 1.1

5. 基态原子的核外电子排布在 5 个原子轨道中的元素有_____种。已知某元素基态原子的第二电子层上只有 2 个未成对电子,该元素可能是_____。已知某元素基态原子的第三电子层上只有 1 个未成对电子,该元素可能是_____。

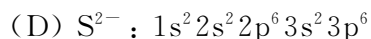
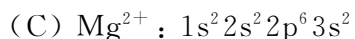
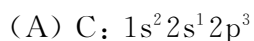
核外电子排布的表达方法

1. 磷的元素符号为 P,原子序数为 15,基态磷原子的电子排布式为_____,轨道表示式为_____,最外层有_____种能量不同的电子, $3p$ 能级上排布的电子具有相同的_____。

2. 下列基态原子的电子排布式表示的元素中,最高正化合价的数值最大的是()。

(A) $1s^2 2s^2 2p^1$ (B) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$
(C) $1s^2 2s^2 2p^5$ (D) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$

3. 下列基态原子或离子的电子排布式中,正确的是()。



4. A、B、C、D、E 均为原子序数不超过 30 的元素,根据信息填空。

(1) A 元素的基态原子最外层电子排布式为 $ns^n np^{n+1}$,则 $n =$ _____,该基态原子中能量最高的能级是 _____。

(2) B 元素的基态 -1 价离子和 C 元素的基态 $+2$ 价离子的电子层结构都与氩相同,B 的元素符号为 _____,C 的元素名称为 _____。

(3) D 元素的基态 $+2$ 价离子的 3d 轨道为全满,D 原子的最外层电子的轨道表示式为 _____。

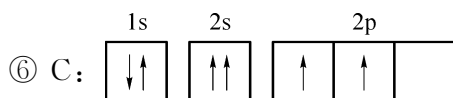
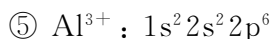
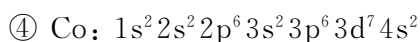
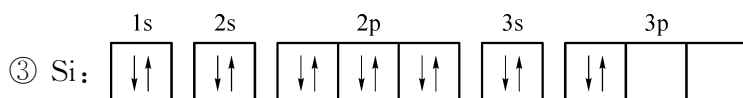
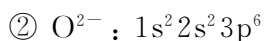
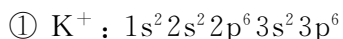
(4) E 元素基态原子的 M 层全满,N 层只排布 1 个电子,E 的元素符号为 _____,其基态原子的价电子排布式为 _____。

5. 请画出基态铁原子的轨道表示式。当铁原子失电子形成离子时,先失去 4s 电子再失去 3d 电子,请分别画出亚铁离子和铁离子的轨道表示式。简述为何亚铁离子容易被氧化为铁离子。



证据与推理

在学习了基态原子核外电子排布规则以及表示方法后,某同学书写了下列 6 种微粒的电子排布式或轨道表示式。



- (1) 上述①~⑥的表示方法正确的有_____。
- (2) 其中违背了构造原理的是_____。
- (3) 其中违背了洪特规则的是_____。
- (4) 其中违背了泡利不相容原理的是_____。



课题与研究

基态原子核外电子排布遵循着一些规则,如图 1.2 所示的构造原理。

某同学认为当不能查阅图 1.2 时,难以直接判断电子填入两个能级的先后顺序,所以希望能从中总结出一些规律便于判断。请根据构造原理示意图中电子填入能级的顺序,总结经验规律。

该同学继续探究电子填入能级顺序的规律。通过查阅资料,得知科学家们用符号 n ($n=1,2,3,4,5,6,7\cdots$) 表示某一能级所处的电子层;用符号 l 表示不同形状的原子轨道,其中 s 轨道的 $l=0$,p 轨道的 $l=1$,d 轨道的 $l=2$,f 轨道的 $l=3$ 。因为电子填入能级的顺序与 n 、 l 有关,所以假设用 $(n+xl)$ (x 为有理数)表示电子填入能级的顺序。若 $(n+xl)$ 越小,电子填入能级的顺序就越靠前;若 $(n+xl)$ 越大,电子填入能级的顺序就越靠后。你认为 x 取何值可以使 $(n+xl)$ 满足图 1.2 所示的构造原理。

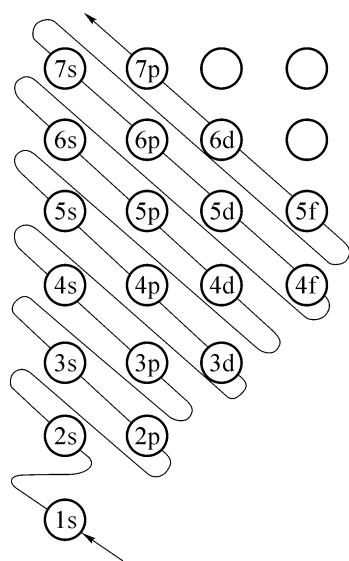


图 1.2

1.3 元素周期律

核外电子排布与区、周期、族的划分

1. 元素周期表的排布和划分具有一定的规则。

(1) 美国化学家鲍林通过光谱实验数据和理论化学计算数据总结出近似能级图,图中能量相同的原子轨道并列为一个能级,能量相近的能级都纳入一个方框内,同一方框内的能级称为一个_____。鲍林近似能级图中的 7 个能级组分别对应了元素周期表中的_____。

(2) 根据元素原子的价电子排布的特征,还可将元素周期表分为 s 区、p 区、d 区和 f 区,区的名称一般来自最后填入电子的能级的符号(除 He 以外)。其中 s 区包含了_____,价电子排布通式为_____;
p 区包含了_____,价电子排布通式为_____; d 区包含了_____。

2. 下列关于不同周期所包含的元素种类数的说法中,错误的是()。

- (A) 第 1 周期有 2 种元素 (B) 第 2 周期有 8 种元素
(C) 第 3 周期有 18 种元素 (D) 第 4 周期有 18 种元素

3. 下列关于元素周期表的说法中,正确的是()。

- (A) 元素周期表中第 3~12 族均为 d 区元素
(B) 所有非金属元素都集中在 p 区
(C) 价电子就是原子的最外层电子
(D) 主族元素原子的价电子只排布在 s 和 p 能级上

4. 根据短周期元素原子的核外电子排布,你认为氢元素除了第 1 族外,还可以排列在哪一族? 请说明其理由。

元素性质的周期性变化规律

1. 随着原子序数的递增,原子核外电子排布呈现周期性变化,使原子半径、第一电离能和电负性等元素性质也呈现周期性变化。

(1) 在主族元素中,同一周期从左至右,元素的原子半径逐渐_____;同一主族从上至下,元素的原子半径逐渐_____。

(2) 一般在主族元素中,同一周期从左至右,第一电离能具有_____的趋势;同一主族从上至下,第一电离能具有_____的趋势。

(3) 一般而言,金属元素的电负性_____,非金属元素的电负性_____。同一周期从左至右,主族元素电负性逐渐_____;同主族从上至下,元素电负性逐渐_____。

2. 下列原子半径的排序中,正确的是()。

(A) $P > S > O$ (B) $Si > Al > B$ (C) $F > Cl > S$ (D) $P > C > Be$

3. 下列关于元素第一电离能的说法中,正确的是()。

(A) $I_1(\text{Li}) < I_1(\text{Na}) < I_1(\text{K})$

(B) 同周期元素中,稀有气体元素的第一电离能最大

(C) 同周期元素中,原子序数越大的元素,其第一电离能一定越大

(D) 在所有元素中,氢的第一电离能最小

4. 下列关于元素电负性的说法中,正确的是()。

(A) 钠的电负性小于钾

(B) 硫的电负性小于磷

(C) 根据电负性可以判断元素金属性和非金属性的相对强弱

(D) 两种元素电负性的差值不能用于判断所形成化学键的类型

5. 查阅教科书第 23 页的电负性数据,回答下列问题。

(1) 判断 AlCl_3 和 Al_2O_3 中的化学键类型。

(2) 解释为什么工业上不采用电解熔点更低的 AlCl_3 来制取金属铝。

(3) 试举出一例由金属元素原子和非金属元素原子通过共价键结合而成的物质(类似 AlCl_3)。



证据与推理

1869 年,门捷列夫在科学家研究的基础上制出了第一张现代元素周期表的草图,如图 1.3 所示。

				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.
				Zn=65,2	Cd=112	
				?=68	Ur=116	Au=197?
				?=70	Sn=118	
				As=75	Sb=122	Bi=210
				Se=79,4	Te=128?	
				Br=80	I=127	
				Rb=85,4	Cs=133	Tl=204.
				Sr=87,6	Ba=137	Pb=207.
				?=45	Ce=92	
				?Er=56	La=94	
				?Yt=60	Di=95	
				?In=75,6	Th=118?	
H=1	Be=9,4	Mg=24				
	B=11	Al=27,4				
	C=12	Si=28				
	N=14	P=31				
	O=16	S=32				
	F=19	Cl=35,5				
Li=7	Na=23	K=39				
		Ca=40				
		?=45				
		?Er=56				
		?Yt=60				
		?In=75,6				

图 1.3

请仔细观察图 1.3,并根据图中的证据信息回答下列问题。

(1) 门捷列夫将已知元素按照原子量排序,上图中同一_____ (填“横行”或“纵列”) 元素的化学性质相似。

(2) 结合图中信息,猜想第 4 列方框中“?=70”中的问号表达的含义是什么。

(3) 第 5 列方框中“Te=128?”中的问号表达的含义是什么?

(4) 到 20 世纪初,门捷列夫元素周期表中为未知元素留下的空位逐渐被填满。科学家们还发现了元素性质不是随着原子量的递增呈现周期性变化,而是随着原子序数的递增呈现周期性变化,请简述其本质原因。



生活与社会

每当夜幕降临时,五彩斑斓的霓虹灯就将城市的夜晚装扮得绚丽多彩。其实,霓虹灯是充有稀薄氖气或其他稀有气体的通电玻璃管,而“霓虹灯”就是氖灯(neon light)的音译。不同的稀有气体通电后的颜色是不同的。这些稀有气体元素位于元素周期表中第18族,含量稀少并且化学性质不活泼。请查阅资料,梳理出科学家们发现稀有气体的历史过程。

本章测试

一、选择题(每小题只有 1 个正确选项)

- 能级 2p 的三个轨道之间具有不同的()。
(A) 能量 (B) 形状
(C) 空间伸展方向 (D) 可容纳电子数
- 氢原子的电子云如图 1.4 所示,其中小黑点密度越大的地方表示()。
(A) 电子数目越多
(B) 电子运动速度大
(C) 单位体积内电子出现的概率大
(D) 电子在这个地方停留的时间长

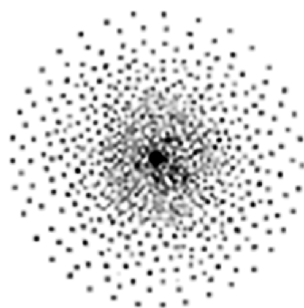


图 1.4

- 下列关于原子光谱的说法中,错误的是()。
(A) 核外电子跃迁是化学变化
(B) 有些元素是通过原子光谱发现的
(C) 焰色试验与原子核外电子跃迁有关
(D) 原子光谱产生的原因是核外电子跃迁时能量表现形式是光
- 下列电子排布式和价电子轨道表示式中,正确且对应微粒处于基态的是()。
(A) $1s^1 2s^2$ (B) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1 3p^1$
(C)

3s	3p			
↑↓	<table style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="border: 1px solid black; text-align: center; width: 30px; height: 30px;">↑</td><td style="border: 1px solid black; text-align: center; width: 30px; height: 30px;">↑</td><td style="border: 1px solid black; text-align: center; width: 30px; height: 30px;">↓</td></tr></table>	↑	↑	↓
↑	↑	↓		

 (D)

2s	2p			
↑↓	<table style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="border: 1px solid black; text-align: center; width: 30px; height: 30px;">↑</td><td style="border: 1px solid black; text-align: center; width: 30px; height: 30px;"></td><td style="border: 1px solid black; text-align: center; width: 30px; height: 30px;">↑</td></tr></table>	↑		↑
↑		↑		
- 下列关于基态原子的电子排布式或轨道表示式书写的判断中,正确的是()。
(A) K 的电子排布式: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^1$ 。错误,违背了构造原理
(B) Cr 的电子排布式: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^4 4s^2$ 。正确
(C) B 的轨道表示式:

1s	2s
↑↓	↑↓

。错误,违背了洪特规则
(D) N 的轨道表示式:

1s	2s	2p			
↑↓	↑↓	<table style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"><tr><td style="border: 1px solid black; text-align: center; width: 30px; height: 30px;">↑</td><td style="border: 1px solid black; text-align: center; width: 30px; height: 30px;">↑</td><td style="border: 1px solid black; text-align: center; width: 30px; height: 30px;">↓</td></tr></table>	↑	↑	↓
↑	↑	↓			

。错误,违背了泡利不相容原理
- 下列关于元素周期表的说法中,正确的是()。
(A) 元素周期表中金属元素的数量少于非金属元素
(B) 元素周期表中所有主族都有金属元素
(C) 元素周期表中含元素最多的族是第 1 族和第 18 族
(D) 除稀有气体元素外,所有非金属元素都在主族

7. 下列各组元素中,原子半径依次减小,且元素第一电离能依次升高的是()。
- (A) Na、Mg、Al (B) S、Cl、F
(C) B、Be、H (D) C、N、O
8. 下列各组基态原子中,一定属于同一族元素的是()。
- (A) L 层上有 8 个电子的 X 原子与 M 层上有 8 个电子的 Y 原子
(B) 电子排布式为 $1s^2$ 的 X 原子与电子排布式为 $1s^2 2s^2$ 的 Y 原子
(C) 3s 轨道上有 1 个未成对电子的 X 原子与 4s 轨道上有 1 个未成对电子的 Y 原子
(D) 有 14 种运动状态不同的电子的 X 原子与有 3 种能量不同但数量相等的电子的 Y 原子
9. 短周期元素的四种离子 X^{2+} 、 Y^+ 、 Z^{2-} 、 W^- 都具有相同的电子层结构,下列排序错误的是()。
- (A) 四种离子的质子数: $X^{2+} > Y^+ > W^- > Z^{2-}$
(B) 四种元素的电负性: $W > Z > X > Y$
(C) 四种原子的半径: $X > Y > W > Z$
(D) 四种元素基态原子的最外层电子数目: $W > Z > X > Y$
10. 短周期主族元素 X、Y、Z、W 的原子序数依次增大,元素 X 的单质在空气中体积分数最大,基态 Y 原子价电子排布式为 $3s^2$,Z 与 X 属于同一主族,基态 W 原子的核外有 2 个未成对电子。下列说法中,正确的是()。
- (A) 原子半径: $X < Y < Z < W$
(B) 最高正化合价: $Y < X = Z < W$
(C) X 和 W 是非金属元素,Y 和 Z 是金属元素
(D) 元素 Y、Z 和 W 的简单离子具有相同电子层结构

二、综合题

11. 已知 A、B、C、D、E 五种元素原子的基态电子排布式分别表示如下:

A. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$; B. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^1$; C. $1s^2 2s^2 2p^6$; D. $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$;
E. $[\text{Ar}]4s^1$ 。

- (1) _____ 是稀有气体元素。_____ 是金属元素。含未成对电子数最多的元素是 _____。(均填字母编号)
- (2) B 的元素符号是 _____, B^{3+} 核外有 _____ 种运动状态不同的电子。
- (3) D 原子最外层电子的轨道表示式是 _____,
D 原子核外总共有 _____ 种能量不同的电子。

12. 图 1.5 是部分元素的第一电离能随原子序数变化的曲线(其中 12~17 号元素的有关数据缺失)。

比较两元素的 I_2 、 I_3 可知, 气态 o^{2+} 再失去一个电子比气态 p^{2+} 再失去一个电子难。
请解释这一现象: _____。

14. 元素的电负性与化合价都是重要的元素性质。下表给出了部分主族元素电负性数值, 请回答下列问题。

H: 2.1						
Li: 1.0	Be: 1.5	B: 2.0	C: 2.5		O: 3.5	F: 4.0
Na: 0.9		Al: 1.5	Si: 1.8	P: 2.1	S: 2.5	Cl: 3.0

(1) 请指出下列化合物中显正价的元素。

NaH: _____; BF_3 : _____; CH_4 : _____; ClF_3 : _____。

(2) 元素周期表中某些主族元素与其右下方的主族元素有些性质相似, 这种相似性被称为“对角线规则”, 如 Be 和 Al、B 和 Si 等, 试通过元素的电负性解释原因: _____。

(3) 通过分析电负性的变化规律, 确定 Mg、N 的电负性数值的最小范围:

_____ < 电负性(Mg) < _____; _____ < 电负性(N) < _____。

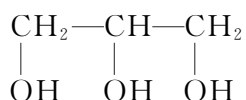
(4) SiC 中的化学键类型是 _____, MgO 中的化学键类型是 _____, AlP 中的化学键类型是 _____。

第2章 分子结构与性质

2.1 共价分子的空间结构

共价键的形成与性质

- (1) 氮原子的价层中有_____个未成对电子,能与其他原子以各提供1个电子进行配对的方式最多形成_____个_____键。
(2) 氮元素的非金属性很强,而氮分子很稳定,这是因为两个氮原子若沿 z 轴方向相互接近时,它们各自的_____轨道以_____方式重叠,形成一个_____键,而_____和_____轨道只能分别以_____方式发生重叠,形成两个_____键,因此,氮氮三键的_____很大。
- 下列关于共价键的说法中,错误的是()。
(A) 键长越长,键越稳定
(B) 成键原子间原子轨道有效重叠的程度越大,键越稳定
(C) $\text{H}-\text{Cl}$ 键的键能大于 $\text{H}-\text{I}$ 键的,说明 HCl 比 HI 稳定
(D) 两个原子间最多能形成一个 σ 键
- 下列卤素原子都能和氢原子形成共价键,其中所形成的共价键极性最强的是()。
(A) F (B) Cl (C) Br (D) I
- 下列事实中,不能用键能的大小来解释的是()。
(A) 氮元素的电负性较大,但氮气的化学性质很稳定
(B) 稀有气体一般很难发生化学反应
(C) HCl 、 HBr 、 HI 的酸性依次增强
(D) F_2 比 O_2 更容易与 H_2 反应
- 护肤品中常含有保湿成分——甘油,其结构简式如下:



- 写出该分子中含有哪几种极性共价键。

(2) 该分子中是否存在 π 键?

(3) 该分子中哪些原子的最外层电子排布满足 8 电子稳定结构?

分子空间结构的分析

1. 乙炔分子是一种直线形分子, 杂化轨道理论认为, 在形成乙炔分子的过程中:

(1) 每个碳原子 _____ 轨道上的一个电子受激发进入 _____ 空轨道上, 然后 _____ 相近的 _____ 个 s 轨道和 _____ 个 p 轨道进行 _____ 杂化, 得到两个 _____ 杂化轨道。

(2) 每个碳原子的两个杂化轨道在空间上呈 _____ 分布, 它们分别和另一个碳原子及一个氢原子形成 _____ 键, 每个碳原子未参与杂化的 _____ 轨道分别在垂直于 _____ 键轴的方向上形成两个 _____ 键。

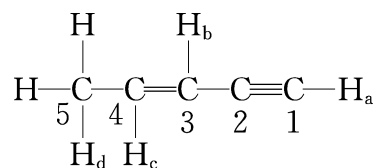
2. 运用杂化轨道理论解释甲烷分子的正四面体形结构时, 下列说法中错误的是()。

- (A) 碳原子的 4 个杂化轨道的能量一样
- (B) 碳原子的任意两个 sp^3 杂化轨道之间夹角不一样
- (C) 碳原子的 4 个价电子各占据 1 个 sp^3 杂化轨道
- (D) 碳原子的 4 个 sp^3 杂化轨道的空间分布呈正四面体形

3. 苯分子是一种平面正六边形分子, 下列关于苯分子的说法中错误的是()。

- (A) 苯分子中的碳原子均采取 sp^2 杂化
- (B) 苯分子中的碳碳单键与碳碳双键交替排布
- (C) 苯分子中碳碳键之间的键角均为 120°
- (D) 苯分子中存在 6 个碳碳 σ 键和 6 个碳氢 σ 键

4. 烃 A 分子的结构式如下:



下列关于 A 分子中键角的叙述中, 错误的是()。

- (A) $\text{C}_3 - \text{C}_2 - \text{C}_1$ 的键角约为 180°
- (B) $\text{H}_d - \text{C}_5 - \text{C}_4$ 的键角约为 109°
- (C) $\text{H}_b - \text{C}_3 - \text{C}_2$ 的键角约为 120°
- (D) $\text{H}_c - \text{C}_4 - \text{C}_5$ 的键角约为 109°

5. CO_2 和 H_2O 均为常见三原子分子, 但两者空间结构并不相同。

(1) CO_2 中键角为 180° , 其中心碳原子采取何种杂化方式?

- (2) H_2O 是一种角形分子, 其中心氧原子最不可能采取的杂化方式是什么? 杂化轨道理论认为其中心氧原子采取 sp^3 杂化, 请说明分布在这四个杂化轨道上的电子数是否完全一样。

共价分子空间结构的预测

1. 水分子中, 中心氧原子的价电子数为 _____ 个, 而每个氢原子各提供 _____ 个成键电子, 因此水分子中氧原子的价层电子对数为 _____ 对。根据价层电子对互斥理论, 这些价层电子对的空间结构是 _____, 但其中有 _____ 对孤电子对, 而分子形状只与 1 个氧原子和 2 个氢原子有关, 因此水分子的空间结构为 _____。
2. 下列分子中, 空间结构与水分子相似的是()。
(A) CO_2 (B) H_2S (C) PCl_3 (D) SiCl_4
3. 根据价层电子对互斥理论, 下列分子的中心原子的价层电子对空间结构与分子空间结构一致的是()。
(A) NH_3 (B) HF (C) H_2S (D) CH_4
4. 根据理论判断 NF_3 的分子空间结构和中心原子的杂化方式分别是()。
(A) 正四面体形 sp^3 杂化 (B) 平面三角形 sp^2 杂化
(C) 三角锥形 sp^3 杂化 (D) 三角锥形 sp^2 杂化
5. 短周期元素 X、Y 和 Z 的原子的电子式分别表示为 $\cdot\ddot{\text{X}}\cdot$ 、 $\cdot\ddot{\text{Y}}\cdot$ 和 $:\ddot{\text{Z}}:$ 。
 - (1) 画出 X 的简单气态氢化物的空间结构。
 - (2) Y 和氢元素形成的分子可能是直线形分子吗? 试举例说明。
 - (3) Y 和 Z 形成的分子中, 中心原子的价层电子对中孤电子对的数目是多少?
6. 价层电子对互斥理论认为, 分子的空间结构与其中中心原子的价层电子对的数目密切相关。有观点认为 AB_n 型分子的空间结构与分子中原子个数之间存在对应关系, 你认同这一观点吗? 试以 AB_3 型分子为例, 进行说明。



证据与推理

1. 第2周期不同非金属元素的原子形成了具有不同空间结构的分子(图2.1),图中大小不同的球代表不同元素的原子。阅读后回答下列问题。

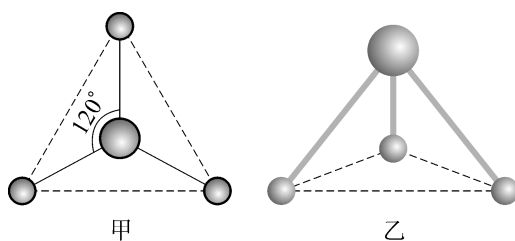


图 2.1

(1) 甲图所示分子呈现何种空间结构? 试写出符合题意的分子式。

(2) 乙图所示分子呈现何种空间结构? 试写出分子的中心原子采用的杂化方式。

2. 下表列出了部分共价键的键长和键能数据,阅读后回答下列问题。

共价键	键长/pm	键能/(kJ·mol ⁻¹)
H—H	74	436
Cl—Cl	198	243
Br—Br	228	193
O=O	121	498
N≡N	110	946
C—C	154	347
C=C	133	615
C≡C	120	839

(1) 将1 mol 氯分子分解成气态原子时,需要吸收还是放出能量? 能量的数值又是多少千焦?

(2) 由表中所列共价键形成的单质双原子分子中,最稳定的是什么分子? 最不稳定的又是什么分子?

(3) 碳原子之间可以形成单键、双键和三键,根据表中数据,你能说出不同碳碳键的键长和键能的变化规律吗?



生活与社会

氮气是一种可以从空气中分离出来的气体,它无色、无气味,很不活泼,也不能导电。常压下,氮气的沸点是 -196°C ,在经过降温、加压后,便能使气态氮变为液态氮,液态氮常用于冷藏食品、保存生物活体组织等。

(1) 简要说明如何从空气中分离得到氮气。

(2) 从原子轨道重叠方式不同的角度,说出氮分子中含有哪些共价键,并说明为什么氮气很不活泼。

(3) 氮分子价层中分别含有多少对成键电子对和孤电子对?

(4) 列举液态氮作为深度冷冻剂的两个优点。



实践与制作

请你参考教科书第 38 页图 2.9, 尝试用不同的方式制作模型来表示分子中轨道重叠情况。

(1) 利用塑料球、橡皮泥、泡沫、竹签等生活中常见的材料搭建模型, 表示 HCl 、气态 BeCl_2 、 H_2O 、 NH_3 等分子中轨道重叠情况。

(2) 利用计算机软件来制作模型, 表示 HCl 、气态 BeCl_2 、 H_2O 、 NH_3 等分子中轨道重叠情况。

查阅资料, 判断你所搭建(或制作)的模型是否正确。

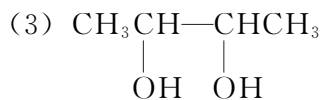
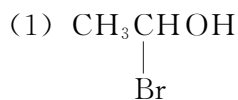
2.2 分子结构与物质的性质

分子的极性

1. 判断 SiCl_4 是否有极性,可按如下步骤进行:根据价层电子对互斥理论可知, SiCl_4 中硅原子的价层电子对数为_____对,这些价层电子对的空间结构是_____形,由于价层电子对都是成键电子对,因此 SiCl_4 的空间结构为_____形。虽然 SiCl_4 中的四个 $\text{Si}-\text{Cl}$ 键都是有_____的,但由于 SiCl_4 中四个 $\text{Si}-\text{Cl}$ 键的_____的向量和为_____,所以 SiCl_4 是_____分子。
2. 根据分子的正、负电荷重心是否重合,可将分子分为极性分子和非极性分子。下列关于极性分子和非极性分子的说法中,正确的是()。
(A) 只含非极性键的分子一定是非极性分子
(B) 含有极性键的分子一定是极性分子
(C) 非极性分子一定含有非极性键
(D) 非极性分子只能是双原子单质分子
3. 根据“相似相溶”经验规则,下列物质在水中的溶解度比在环己烷中大的是()。
(A) CCl_4 (B) Br_2 (C) C_2H_2 (D) HCl
4. 可燃冰是一种高效、清洁、储量巨大的新能源,其主要成分是甲烷水合物。下列关于其组成的 CH_4 、 H_2O 两种分子的说法中,错误的是()。
(A) 两种分子的中心原子均采取 sp^3 杂化
(B) 水分子是由极性键构成的极性分子
(C) 甲烷分子是由极性键构成的极性分子
(D) 可燃冰是甲烷与水在低温、高压条件下形成的
5. 氯仿(CHCl_3)分子的空间结构与四氯化碳分子类似,因此有人认为氯仿分子也是非极性分子。你认同这个观点吗?请说明理由。
6. 分子的极性与分子的空间结构密切相关。有观点认为,直线形三原子分子一定是非极性分子,你认同这一观点吗?请说明理由。(提示:不限定原子所属元素的种类)

分子的手性、分子结构对化学性质的影响

1. 两个分子如同人的左、右手互为_____关系,又不能_____,则互称为_____。一种分子不能与其_____重合的特征称为_____,具有_____的分子称为_____。
2. 连有四个不同原子或基团的碳原子称为不对称碳原子。下列分子中,含有不对称碳原子的是()。
- (A) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ (B) $\text{CH}_3\text{COOCH}_2\text{CH}_3$
(C) $\text{CH}_3\text{CHOHCOOH}$ (D) $\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{CH}_2 \\ | \quad | \quad | \\ \text{OH} \quad \text{OH} \quad \text{OH} \end{array}$
3. 下列分子中,存在对映体的是()。
- (A) CH_3COOH (B) CHFClBr
(C) C_3H_8 (D) CF_2Cl_2
4. 相同条件下,下列羧酸中酸性最强的是()。
- (A) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ (B) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CHClCOOH}$
(C) $\text{CH}_3\text{CHClCH}_2\text{COOH}$ (D) $\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$
5. 判断下列分子是否含有不对称碳原子? 若有,用“*”将不对称碳原子标记出来。



6. 相同条件下,下列四种羧酸的酸性由强到弱的顺序是什么? 请判断,并说明理由。
- ① FCH_2COOH ② ClCH_2COOH ③ BrCH_2COOH ④ CH_3COOH

分子间作用力

1. 分子之间普遍存在着相互作用力,人们把这种作用力称为_____,其本质上是一种_____相互作用,但强度比化学键弱得多。这种作用力的两种最常见类型分别是范德华力和氢键。范德华力随分子间距离增加而_____,对于组成和结构相似的分子,随着_____的增大,范德华力逐渐_____。氢键是一种比范德华力_____的作用力,它常用 $X-H\cdots Y$ 表示,其中X、Y原子一般指_____很强而_____较小的非金属元素原子,如_____等。

2. 下列关于物质性质的叙述中,与分子间作用力无关的是()。

- (A) 气体分子在加压或降温时能凝聚 (B) 干冰易升华
(C) F_2 、 Cl_2 、 Br_2 、 I_2 的熔、沸点依次升高 (D) NaCl的熔点较高

3. 汽化时,分子间只需克服范德华力的液态物质是()。

- (A) 水 (B) 乙醇
(C) 液溴 (D) 液氨

4. 图 2.2 中每条折线表示元素周期表ⅣA~ⅦA族中的某一族元素气态氢化物的沸点变化,每个小黑点代表一种氢化物,其中a点代表的是()。

- (A) H_2S (B) HCl
(C) PH_3 (D) SiH_4

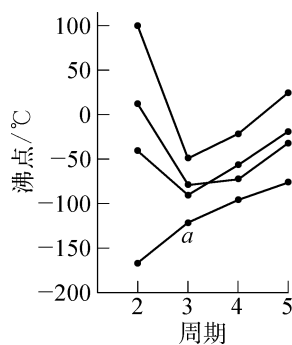


图 2.2

5. 下列事实均与氢键的形成有关,如:① 氨极易溶于水;② 冰的密度比液态水的密度小;③ 邻羟基苯甲酸的熔、沸点均是邻、间、对羟基苯甲酸中最低的;④ 乙醇的沸点比甲醚(CH_3OCH_3)的沸点高。

请判断,上述事实中,主要与分子间氢键的形成有关的是_____,主要与分子内氢键的形成有关的是_____。(均填编号)



证据与推理

1. 下表所列为短周期部分元素的性质,阅读后回答下列问题。

元素性质	元素编号			
	A	B	D	E
原子的价电子排布	as^a	$bs^b bp^b$	$cs^c cp^{2c}$	
最高正化合价	+1			+7

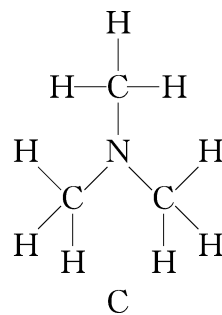
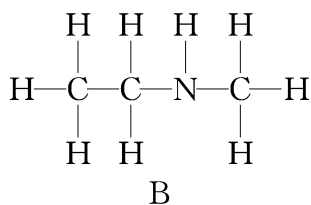
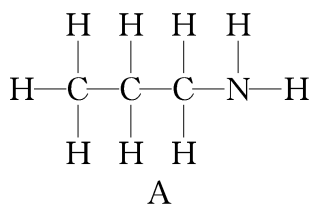
(1) 推测上述四种元素的符号。

(2) 由 A、B、D、E 四种元素中的两种元素可形成下列分子：① BD_2 ；② BA_4 ；③ A_2D_2 ；④ BE_4 。写出其中属于极性分子的分子式。

(3) D 的氢化物的沸点比下一周期同族元素的氢化物高，请说明原因。

(4) 比较 BA_4 和 BE_4 的沸点高低，并说明理由。

2. $\text{C}_3\text{H}_9\text{N}$ 的三种同分异构体的结构如下：



阅读后回答下列问题。

(1) 哪两种物质的沸点相近？试加以解释。

(2) 在(1)中没有提及的化合物的沸点相比其他两种化合物的沸点是高还是低？试加以解释。

3. 图 2.3 显示部分卤化氢的沸点，阅读后回答下列问题。

(1) 在图中以“·”标示 HF 和 HBr 的沸点，然后把所有点用直线连接起来。

(2) 解释这四种卤化氢的沸点变化规律。

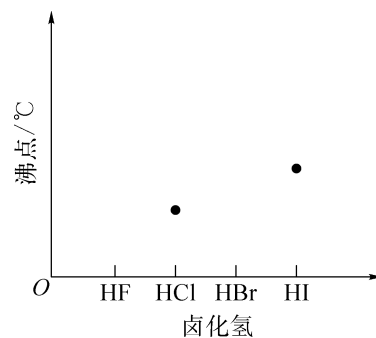


图 2.3



生活与社会

1. 嗅盐是一种可让意外昏迷的人员快速恢复意识的化学品,它的有效成分是碳酸铵。嗅盐的作用原理在于它能释放氨。

(1) 判断氨是共价化合物还是离子化合物,并说明理由。

(2) 画出氨分子的空间结构。判断氨分子是否有极性,并说明理由。

(3) 氨分子之间存在哪些相互作用?

(4) 如果请你制作嗅盐的使用说明,你认为需要提醒使用者注意什么?

2. 碘能杀灭多种细菌,人们在 1839 年首次发现它能够杀灭伤口处的细菌。其后在 19 世纪后期,碘酊开始广泛用作消毒剂。制备碘酊的方法之一是直接把碘单质溶于乙醇中。

(1) 固体碘单质中微粒间主要存在哪些相互作用?

(2) 解释为什么碘单质在乙醇中的溶解度比在水中的高。



实践与制作

某试剂瓶内盛有一种未知液体。已知这种液体是己烷($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$)或乙酸乙酯($\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$)。若实验室未提供其他任何试剂,但可选用常见器材,请设计实验确定这种液体。

2.3 配位化合物和超分子

配位键和配位化合物

1. (1) 两个原子成键时,若其中一个原子提供空轨道,而另一个原子提供一对电子,以这种方式形成的共价键被称为_____。
- (2) 配位化合物是由_____和_____通过_____键结合而形成的。 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ 是一种配合物,其中的 SO_4^{2-} 称为配合物的_____, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 称为配合物的_____; $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 中的 Cu^{2+} 称为_____, NH_3 称为_____, NH_3 中的氮原子称为_____。
2. 下列微粒中,含有配位键的是()。
- (A) NH_3 (B) H_2O (C) CH_3COO^- (D) H_3O^+
3. 下列分子或离子中,不适合在配合物中作为配体的是()。
- (A) NH_3 (B) NH_4^+ (C) CN^- (D) CO
4. 下列化合物中,不属于配合物的是()。
- (A) $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$ (B) $\text{Ag}(\text{NH}_3)_2\text{OH}$
(C) $\text{Fe}(\text{CO})_5$ (D) Na_3AlF_6
5. 向下列配合物的水溶液中加入 AgNO_3 溶液,可能不生成 AgCl 沉淀的是()。
- (A) $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4\text{Cl}_2]\text{Cl}$ (B) $[\text{Co}(\text{NH}_3)_3\text{Cl}_3]$
(C) $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ (D) $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5\text{Cl}]\text{Cl}_2$
6. 人们把与中心原子(或离子)以配位键相结合的原子数目称为配位数。完成下表。

配合物	中心原子 (或离子)	配体	配位原子	配位数
$[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$				
$[\text{PtCl}_2(\text{NH}_3)_2]$				

生产、生活中的配位化合物

1. 下列过程中,与配合物的形成无关的是()。
- (A) 用强碱溶液除去铁粉中的 SiO_2
(B) 向一定量的 AgNO_3 溶液中加入氨水至沉淀消失
(C) 在通入空气时,使用含 CN^- 的溶液处理粉碎的金矿石

(D) 向一定浓度的 CuSO_4 溶液中加入氨水至沉淀消失

2. 配合物在许多方面有着广泛的应用。下列叙述中,错误的是()。

(A) 以 Mg^{2+} 为中心的大环配合物叶绿素能催化光合作用

(B) 血红蛋白中 Fe^{2+} 的卟啉配合物可输送 O_2

(C) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$ 是化学镀银溶液的有效成分

(D) 向 ZnSO_4 溶液中逐滴加入氨水,可除去溶液中的杂质 Cu^{2+}

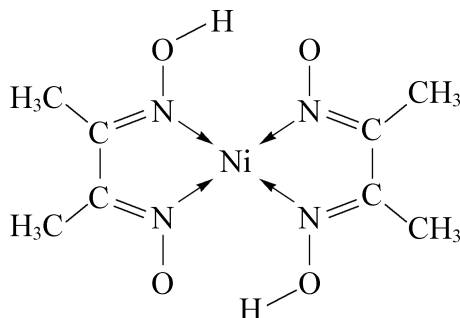
3. 经研究表明, $[\text{Fe}(\text{SCN})_3]$ 是配合物, Fe^{3+} 与 SCN^- 不仅能以 1 : 3 的个数比配合,还可以其他个数比配合。

(1) Fe^{3+} 与 SCN^- 反应时, Fe^{3+} 提供_____, SCN^- 提供_____,两者通过配位键结合。

(2) 所得 Fe^{3+} 与 SCN^- 形成的配合物或配离子中,主要是 Fe^{3+} 与 SCN^- 以个数比 1 : 1 配合所得离子显血红色,该离子的符号是_____。

(3) 若 Fe^{3+} 与 SCN^- 以个数比 1 : 5 配合,且该反应为可逆反应,则 FeCl_3 与 KSCN 在水溶液中发生反应的离子方程式为_____。

4. 丁二酮肟常用于检验 Ni^{2+} : 在稀氨水介质中,丁二酮肟与 Ni^{2+} 反应可生成鲜红色沉淀,其结构如下:



(1) 该结构中, Ni^{2+} 与氮原子以什么键相结合? 提供孤电子对的成键原子是什么?

(2) 从组成来看, Ni^{2+} 被称作什么? 配体数量是多少? 每个配体提供的配位原子的数量又是多少?

超分子和超分子化学、分子光谱分析

1. 超分子是由两种或两种以上的化学物质,通过分子间_____相互作用所形成的复杂有序且具有特定功能的_____。超分子化学主要研究_____,_____,超分子催化和超分子器件等。

2. 构成物质的分子内,除了原子的电子运动外,还存在分子的_____和分子内原子的_____。当分子在受到光能激发时,可以选择性地_____相应波长的光而形成分子光谱。_____、_____和核磁共振波谱等都属于分子光谱。
3. 构筑超分子体系的基本作用力是()。
- (A) 配位键 (B) 氢键 (C) σ 键 (D) π 键
4. 红外光谱属于()。
- (A) 分子发射光谱 (B) 原子吸收光谱
(C) 原子发射光谱 (D) 分子吸收光谱
5. 下列关于分子光谱分析的说法中,错误的是()。
- (A) 分子光谱是连续的带光谱
(B) 利用紫外-可见光谱可对某些配合物进行定量分析
(C) 利用红外光谱可以判断有机分子中存在的官能团
(D) 红外光谱分析是发现新元素的重要方法



证据与推理

下表所列为某种 Co^{3+} 的配合物的部分信息,阅读后推断该配合物的化学式和配体。

配合物的性质	具体事实
配合物的化学组成	$\text{CoCl}_m \cdot n\text{NH}_3$
配离子的空间结构	八面体
配合物的化学反应	1 mol 该配合物与足量 AgNO_3 溶液反应生成 1 mol AgCl 沉淀



生活与社会

$[\text{PtCl}_2(\text{NH}_3)_2]$ 有两种顺反异构体,其中顺式异构体——顺铂是一种有效的广谱抗癌药物,可以抑制癌细胞的 DNA 复制过程。

- (1) 判断 $[\text{PtCl}_2(\text{NH}_3)_2]$ 的空间结构是平面四边形还是四面体形,并说明理由。

(2) 画出这两种异构体的空间结构。

(3) 判断哪种异构体在水中溶解度相对更大一些,并说明理由。



实践与制作

工业盐酸呈黄色,研究证实这是配离子 $[\text{FeCl}_4]^-$ 的颜色,但这种配离子只有在高浓度 Cl^- 的环境中才能稳定存在,试设计实验进行定性验证。



课题与研究

近年来,配合物的研究进展非常迅速,它在材料化学、医药科学、催化反应和生命科学等领域有着非常广泛的应用。请以小组为单位,查阅相关资料,进行小组讨论,撰写一份有关配合物应用的研究综述。

本章测试

一、选择题(每小题只有 1 个正确选项)

1. 下列关于 σ 键和 π 键的说法中,错误的是()。
(A) 两个 s 轨道只能形成 σ 键
(B) 分子中若含有共价键,则至少含有一个 σ 键
(C) 两个 p 轨道不能形成 σ 键,只能形成 π 键
(D) 氢原子只能形成 σ 键,氧原子可以形成 σ 键和 π 键
2. 下列对 sp^3 、 sp^2 、 sp 杂化轨道之间夹角的比较中,正确的是()。
(A) sp 杂化轨道的夹角最大 (B) sp^2 杂化轨道的夹角最大
(C) sp^3 杂化轨道的夹角最大 (D) 三种杂化轨道的夹角相等
3. 下列关于二氧化碳的描述中,正确的是()。
(A) 含有非极性键 (B) 是直线形分子 (C) 属于极性分子 (D) 结构式为 $C=O=O$
4. 下列关于杂化轨道的说法中,错误的是()。
(A) 杂化轨道只用于形成 σ 键或用于容纳孤电子对
(B) 中心原子采取 sp^3 杂化的分子,其空间结构不一定是四面体形
(C) 杂化轨道在空间分布要满足相互间排斥作用最小
(D) 甲烷分子中的 sp^3 杂化轨道是由 4 个氢原子的 1s 轨道和碳原子的 2p 轨道形成的
5. 根据价层电子对互斥理论,下列分子中所有原子都在同一平面的是()。
(A) NF_3 (B) SO_3 (C) PCl_3 (D) CCl_4
6. 在配合物 $[Ag(NH_3)_2]Cl$ 中不存在的微粒间的相互作用是()。
(A) 离子键 (B) 配位键 (C) 极性键 (D) 非极性键
7. 下列分子中,所有原子都满足最外层 8 电子稳定结构的是()。
(A) $COCl_2$ (B) SF_6 (C) BF_3 (D) PCl_5
8. 下列现象不能用“相似相溶”规律解释的是()。
(A) 氯化氢易溶于水 (B) 氯气易溶于氢氧化钠溶液
(C) 碘易溶于四氯化碳 (D) 酒精易溶于水
9. 下列分子的中心原子杂化轨道的类型相同的是()。
(A) CO_2 与 H_2O (B) CH_4 与 NH_3
(C) 气态 $BeCl_2$ 与 BF_3 (D) C_2H_2 与 C_2H_4
10. 下列分子中,由极性键构成但属于非极性分子的是()。
(A) SO_2 (B) CH_2Cl_2 (C) CS_2 (D) N_2

11. 现有氨、氖、苯及硫化氢四种物质,适当条件下这些物质分别呈液态时,下列关于它们分子间作用力的说法正确的是()。
- (A) 氨分子间只有范德华力 (B) 氖原子间不存在范德华力
(C) 硫化氢分子间有氢键 (D) 苯分子间不存在氢键
12. 下列事实中,可用氢键解释的是()。
- (A) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OCH}_2\text{CH}_3$ 在常温下是液体 (B) NH_3 易液化
(C) HBr 的酸性比 HI 弱 (D) H_2O 加热到很高温度都难以分解
13. 下列分子中,含有不对称碳原子的是()。
- (A) $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_2\text{CH}_3$ (B) $(\text{CH}_3)_2\text{CHCH}_2\text{CH}_3$
(C) $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{CH}_3$ (D) CF_2Cl_2
14. 向盛有 CuSO_4 溶液的试管里加入氨水,首先形成难溶物,继续添加氨水,难溶物溶解得到深蓝色的透明溶液。下列对此现象的说法中,正确的是()。
- (A) 反应后溶液中没有沉淀,所以反应前后 Cu^{2+} 的浓度不变
(B) 沉淀溶解后,将生成深蓝色的配离子 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$
(C) 向反应后的溶液加入稀 NaOH 溶液,出现蓝色沉淀
(D) 在 $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$ 中, Cu^{2+} 提供孤电子对, NH_3 提供空轨道
15. 在白磷分子中,四个磷原子分别处于正四面体的四个顶点上,结合有关磷原子的成键特点,下列关于白磷的说法中正确的是()。
- (A) 分子中键角均为 $109^\circ 28'$
(B) 分子中共有 4 对共用电子对
(C) 分子中每个磷原子均满足最外层 8 电子结构
(D) 分子中有 6 对孤电子对

二、综合题

16. 现有下列八种物质:① N_2 ;② CO_2 ;③ NH_3 ;④ $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$;⑤ Na_2O_2 ;⑥ NaOH ;⑦ C_2H_4 ;⑧ NH_4Cl 。请回答下列问题(均填编号)。
- (1) 只含有极性键的极性分子是_____。
- (2) 只含有非极性键的非极性分子是_____。
- (3) 含有极性键的离子化合物是_____。
- (4) 含有非极性键的离子化合物是_____。
- (5) 含有配位键的化合物是_____。
- (6) 分子间含有范德华力和氢键的化合物是_____。
- (7) 含有极性键和非极性键的极性分子是_____。
- (8) 含有极性键和非极性键的非极性分子是_____。

17. 完成下表。

分子	中心原子价层电子对的数目	中心原子价层电子对的空间结构	分子的空间结构	中心原子的杂化轨道类型
SiCl_4				
NCl_3				
SO_3				
H_2S				
CS_2				

18. 已知氢和氧可以形成 H_2O 和 H_2O_2 两种化合物。

(1) 水分子内的 O—H 键、水分子间的范德华力和氢键, 这三种微粒间的相互作用由强到弱的顺序是_____。

(2) H_2O_2 是常用的氧化剂, 其分子结构如图 2.4 所示, 两个氢原子犹如在半展开的书的两面上。 H_2O_2 的结构式是_____。 H_2O_2 是含有_____键和_____键的_____ (填“极性”或“非极性”) 分子。 H_2O_2 难溶于 CCl_4 , 其原因是_____。

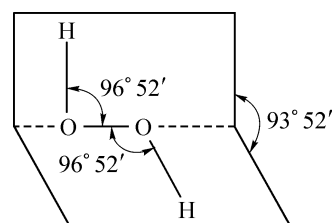


图 2.4

19. 硫酸镍(NiSO_4)主要用于电镀、镍电池、催化剂以及制取其他镍盐等。硫酸镍溶于氨水形成 $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{SO}_4$ 蓝色溶液。

(1) 写出硫酸镍溶于氨水形成 $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{SO}_4$ 的化学方程式。

(2) $[\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]\text{SO}_4$ 中, Ni^{2+} 与 NH_3 以什么键结合? 其中提供孤电子对的成键原子是什么?

(3) 判断氨与磷化氢(PH_3)哪个沸点高, 并说明理由。

第3章 晶体结构与性质

3.1 金属晶体

晶体的特性

1. 下列物质中,属于晶体的是()。
(A) 石蜡 (B) 玛瑙 (C) 橡胶 (D) 胆矾
2. 下列关于晶体和非晶体的说法中,正确的是()。
(A) 具有规则几何外形的固体均为晶体
(B) 晶体具有自范性,非晶体没有自范性
(C) 晶体研碎后即变为非晶体
(D) 将玻璃加工成规则的固体即变成晶体
3. 对于晶体而言,下列性质不存在各向异性的是()。
(A) 导电性 (B) 硬度 (C) 熔点 (D) 导热性
4. 根据晶体内部微粒的种类和微粒间的相互作用,可以对晶体进行分类,一般可以分为 _____、_____、_____和 _____等。
5. 图 3.1 是一张玻璃的结构示意图,请你说明为什么玻璃不是晶体。

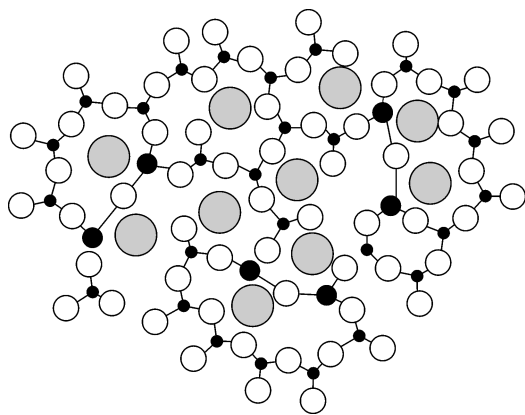


图 3.1

金属晶体的结构

1. 下列关于晶胞的叙述中,正确的是()。
(A) 晶胞是晶体中基本的重复单元
(B) 已知晶胞的组成不能推知晶体的组成
(C) 晶胞一定是立方体
(D) 不同晶体的晶胞大小和形状一定都不同
2. 下列关于金属晶体的描述中,正确的是()。
(A) 金属晶体中的原子都有相同的排列和堆积方式
(B) 金属晶体中的原子可看成直径相等的刚性小球
(C) 金属的化学性质只取决于金属晶体的堆积方式
(D) 金属晶体的晶胞都是立方体型的
3. 4 种不同金属晶体的晶胞如图 3.2 所示,指出每种晶胞中的原子个数。

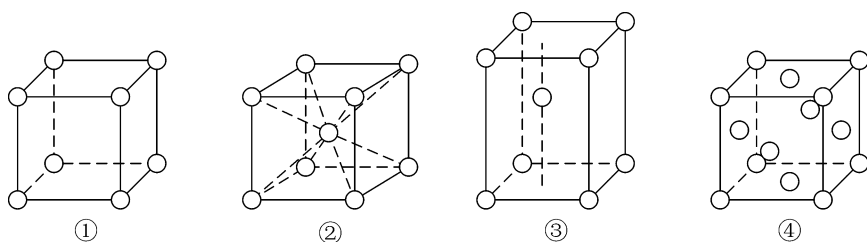


图 3.2

① _____, ② _____, ③ _____, ④ _____。

4. 简述晶胞与晶体的关系。

金属键与金属的性质

1. 下列关于金属键的叙述中,错误的是()。
(A) 金属键没有饱和性和方向性
(B) 金属键是金属正离子和自由电子之间存在的强烈的静电吸引作用
(C) 金属键中的自由电子属于整块金属
(D) 金属的延展性和金属晶体的形成均与金属键有关
2. 下列说法中,错误的是()。
(A) 金属晶体的熔点都较高
(B) 金属表面的金属光泽与自由电子的跃迁有关

(C) 金属受外力作用变形后仍保持金属键的作用

(D) 金属中的自由电子在整个金属的内部空间中自由运动

3. 温度在 1 183 K 以下纯铁晶体的基本结构单元如图 3.3 甲所示, 1 183 K 以上纯铁晶体的基本结构如图 3.3 乙所示。已知: 这两种晶胞均为立方体。

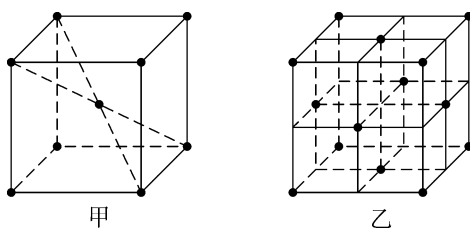


图 3.3

(1) 纯铁晶体中铁原子以_____键相互结合。

(2) 在 1 183 K 以下的纯铁晶体中, 与铁原子等距离且最近的铁原子有_____个; 在 1 183 K 以上的纯铁晶体中, 与铁原子等距离且最近的铁原子有_____个。

4. 请用金属键理论解释金属的导电性。



实践与制作

请利用乒乓球、实心泡沫球、强力胶、短木棍等生活中常见的材料搭建教科书第 75 页上给出的三种金属晶体不同的结构模型。查阅资料, 了解是否还有其他不同的金属晶体结构模型。



生活与社会

我国古代金工传统工艺堪称巧夺天工, 如花丝镶嵌、锤鍾、掐丝、錾花、累丝等各种工艺加工出的黄金艺术品让人震撼! 春秋时代玉耳金9 8唐代鸳鸯莲瓣纹金碗、清代金累丝万年如意等文物都是中国几千年来沉淀的金工工艺和文化。

(1) 金属属于什么晶体? 晶体中的基本结构微粒是什么?

(2) 金的晶体中存在哪种类型的化学键？

(3) 图 3.4 是金的晶胞示意图及其切割示意图,指出金的晶胞中含有的金原子个数是多少。

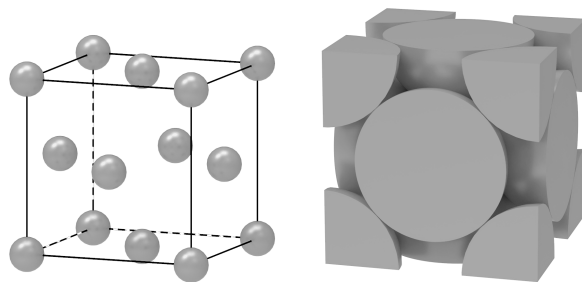


图 3.4

(4) 我国古代的这些金工工艺主要利用了金的什么性质？如何解释金的该性质？



课题与研究

金属材料在人类的生产、生活中有重要的应用。由于合金具有独特的结构,其某些性能比单组分金属更优越。我们的祖先很早就掌握了合金的制造和加工技术。例如,青铜(铜锡合金)工艺在距今 3 000 多年前的商朝就已经非常发达。在科学技术日新月异的今天,各种功能合金更是层出不穷,如储氢材料合金、形状记忆合金、航空材料钛合金等。请你与其他同学分工合作,就合金的应用历史、分类、结构、功能、应用前景等方面,分别查阅、搜集有关资料后进行组内的交流汇报,谈谈你从中得到的收获和体会。

3.2 离子晶体

离子键和离子晶体

1. 下列关于离子键的说法中,错误的是()。
(A) 离子键没有方向性和饱和性
(B) 仅由非金属元素组成的化合物中也可能含有离子键
(C) 离子键的实质是静电作用
(D) 离子键中只有静电吸引作用
2. 下列叙述中,正确的是()。
(A) 氯化钠晶体中的正、负离子可以看做是直径相同,均匀带电的刚性小球
(B) 在氯化钠晶体中,除氯离子和钠离子的静电吸引作用外,还存在电子与电子、原子核与原子核之间的排斥作用
(C) 含有金属正离子的物质都是离子化合物
(D) 钠与氯气反应生成氯化钠晶体后,体系能量升高
3. 图 3.5 是从 NaCl 或 CsCl 晶体结构中分割出来的部分结构图,其中为从 NaCl 晶体中分割出来的是()。

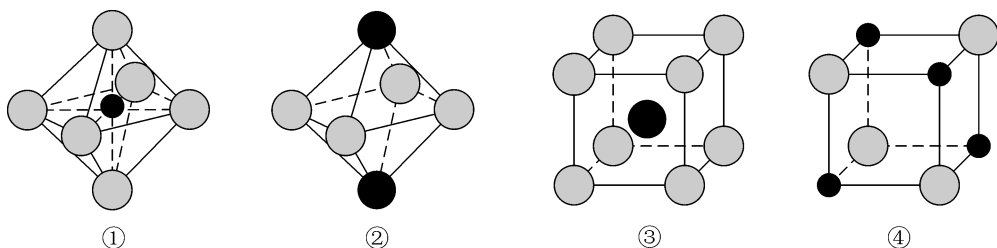


图 3.5

- (A) ①和③ (B) ②和③
(C) ①和④ (D) 只有④
4. 图 3.6 表示的是 NaCl 晶体的一个晶胞,请回答以下问题。
(1) 该晶胞中的较小的球表示 _____,较大的球表示 _____。
(均填离子符号)
 - (2) 该晶胞中 Na^+ 的个数为 _____, Cl^- 的个数为 _____。
 - (3) 在 NaCl 晶体中,每个 Na^+ 周围与它最接近且距离相等的 Na^+ 共有 _____ 个。

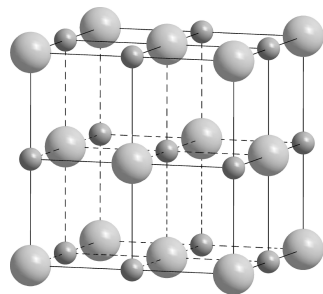


图 3.6

5. 表示离子晶体的化学式就是组成离子晶体的分子式吗?

离子晶体的性质

- 下列性质中,能说明某晶体属于离子晶体的是()。
(A) 易溶于水 (B) 固态不导电,水溶液能导电
(C) 有较高的熔点 (D) 固态不导电,熔融时能导电
- 离子晶体不可能具有的性质是()。
(A) 较高的熔点 (B) 良好的导电性
(C) 常温下呈液态 (D) 坚硬而易粉碎
- 下列关于离子化合物的说法中,错误的是()。
(A) 离子化合物中可能含有电中性的小分子
(B) 某些离子化合物常温下可以呈液态
(C) 非金属元素可以形成正离子或负离子,金属元素只能形成正离子
(D) 离子化合物中还可能存在氢键、配位键、范德华力等相互作用
- NaF、NaI、MgO 晶体均为离子晶体,根据下表中数据判断这三种晶体的熔点由高到低的顺序是()。

物质	NaF	NaI	MgO
离子电荷数	1	1	2
离子核间距/pm	231	311	205

- (A) NaF、NaI、MgO (B) MgO、NaF、NaI
(C) MgO、NaI、NaF (D) NaI、NaF、MgO



证据与推理

下表列举了一些ⅡA族元素的氧化物的数据。结合它们在元素周期表的位置和影响离子晶体中离子键强弱的因素,解释这些数据的变化规律以及它们之间的联系。

晶体	核间距/pm	熔点/°C	莫氏硬度
CaO	240	2 613	4.5
SrO	257	2 430	3.5
BaO	277	1 973	3.3



生活与社会

氯化钠用途广泛：可用于食品调味和腌制鱼肉、蔬菜；还可用于工业上生产氯气、氢气、盐酸、氢氧化钠、氯酸盐、次氯酸盐、漂白粉、金属钠等；经高度精制的氯化钠可用来配制生理盐水等。请回答以下问题。

(1) 图 3.7 展示了氯化钠晶体的结构，但其中正、负离子的排布并不完整。请在图上补充(完整)缺少的离子。

(2) 指出钠离子和氯离子之间存在的化学键类型。

(3) 固态氯化钠能否导电？请说明理由。

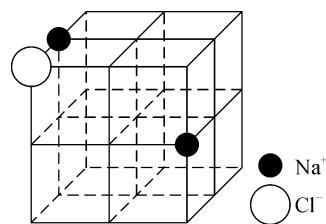


图 3.7

(4) 解释为什么氯化钠具有较高的熔点。



实践与制作

请你尝试用不同的方式展示 NaCl 和 CsCl 晶体的晶胞模型：

(1) 利用乒乓球、实心泡沫球、强力胶、短木棍等生活中常见的材料，搭建 NaCl 和 CsCl 晶体的晶胞实物模型，并在班级展示。

(2) 晶体学信息文件(crystallographic information file)是以“.cif”结尾的计算机文件，它包含了晶体的详细信息，是进行晶体结构描述、解析和表达最常使用的文件格式，广泛应用于晶体结构绘图。请利用晶体学开放数据库(Crystallography Open Database)检索 NaCl 和 CsCl 的晶体学信息文件，并借助相关计算机软件在电脑上进行展示。

观察这些离子晶体的晶胞模型，描述它们的构成特点。

3.3 共价晶体和分子晶体

共价晶体

1. 共价晶体是相邻原子间以_____键相结合形成的具有_____结构的晶体。
共价晶体的熔点高低与其内部结构密切相关,对结构相似的共价晶体来说,原子半径越_____,键长越_____,键能越_____,共价晶体的熔点就越高。
2. 金刚石是典型的共价晶体,下列关于金刚石的说法中错误的是()。
(A) 晶体中不存在独立的“分子”
(B) 碳原子间以共价键相结合
(C) 是目前已知自然界中硬度最大的物质
(D) 化学性质稳定,即使在高温下也不会与氧气发生反应
3. 美国《科学》杂志曾报道:在 40 GPa 的高压下,用激光加热到 1 800 K,人们成功制得了共价晶体 CO_2 ,下列对该物质的推断一定错误的是()。
(A) 该共价晶体中含有极性键 (B) 该共价晶体易汽化,可用作制冷材料
(C) 该共价晶体的熔点较高 (D) 该共价晶体的硬度大,可用作耐磨材料
4. 金刚砂(SiC)具有与金刚石相似的晶体结构(图 3.8),在金刚砂的空间网状结构中,碳原子、硅原子交替以共价单键相结合。

试回答:

- (1) 金刚砂属于_____晶体。
- (2) 在金刚砂的结构中,一个硅原子周围结合_____个碳原子,其中键角是_____。
- (3) 金刚砂的结构中含有共价键形成的原子环,其中最小的环上有_____个硅原子。

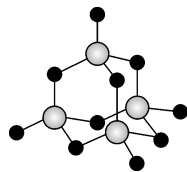


图 3.8

分子晶体

1. 下列关于分子晶体的说法中,正确的是()。
(A) 分子内均存在共价键 (B) 分子间一定存在范德华力
(C) 分子间一定存在氢键 (D) 熔点不高,所以常温下一定呈液态
2. 下列晶体中,由原子直接构成且属于分子晶体的是()。
(A) 白磷 (B) 固态氢 (C) 固态氖 (D) 三氧化硫
3. 下列物质,按沸点降低顺序排列的一组是()。
(A) HF 、 HCl 、 HBr 、 HI (B) F_2 、 Cl_2 、 Br_2 、 I_2
(C) H_2O 、 H_2S 、 H_2Se 、 H_2Te (D) Cl_4 、 CBr_4 、 CCl_4 、 CF_4

4. “含有共价键的晶体叫做共价晶体”这种说法对吗？为什么？

混合型晶体和过渡型晶体、晶体 X 射线衍射分析

1. 下列关于石墨晶体的说法中,正确的是()。
 - (A) 石墨晶体兼有共价晶体、分子晶体和金属晶体的一些特征
 - (B) 石墨是层状结构,层与层之间存在着共价键
 - (C) 石墨的层状结构中每个碳原子均采取的是 sp^3 杂化
 - (D) 石墨晶体中存在的微粒间的相互作用有: 共价键、离子键、分子间作用力
2. 下列关于晶体的说法中,正确的是()。
 - (A) 晶体只有离子晶体、金属晶体、共价晶体和分子晶体四种类型
 - (B) CCl_4 晶体中存在共价键和范德华力,所以它是混合晶体
 - (C) 过渡型晶体的结构微粒间的相互作用和其性质,往往介于不同种类的晶型之间
 - (D) 离子晶体中不可能含有共价键
3. 科学家研究发现,当激光脉冲照射 NaI 时, Na^+ 和 I^- 两核间距为 $1.0 \sim 1.5 \text{ nm}$, 呈离子键; 当两核靠近约距 0.28 nm 时, 呈共价键。根据上述研究成果能得出的结论是()。
 - (A) NaI 晶体是离子晶体和分子晶体的混合物
 - (B) 离子晶体可能含有共价键
 - (C) NaI 晶体中既有离子键, 又有共价键
 - (D) 共价键和离子键没有绝对的界线
4. 下列关于晶体 X 射线衍射分析的说法中,正确的是()。
 - (A) X 射线就是高能电子流
 - (B) 在一定波长的 X 射线照射下, 每种晶体物质都会显示出特有的衍射图像
 - (C) 通过晶体 X 射线衍射分析, 可以确定晶胞的大小和形状, 但无法确定晶胞中原子的种类及其在晶胞中的位置排列
 - (D) X 射线衍射分析, 具有测量精度高、信息量大等优点, 但缺点是会损伤样品
5. 下列关于晶体的说法中,正确的是()。
 - (A) 某晶体固态不导电, 水溶液能导电说明该晶体是离子晶体
 - (B) 共价晶体的原子间只存在共价键, 而分子晶体的分子间只存在范德华力
 - (C) 通过对固体进行 X 射线衍射实验, 可以区分晶体和非晶体
 - (D) 任何晶体中, 若含有正离子也一定含有负离子



证据与推理

已知, CH_4 、 SiH_4 、 NH_3 、 PH_3 四种物质的沸点及分解温度分别为:

物质	CH_4	SiH_4	NH_3	PH_3
沸点/K	101.7	161.2	239.7	185.4
分解温度/K	873	773	1 073	713.2

分析上表中四种物质的相关数据, 请回答:

(1) 解释 CH_4 沸点低于 SiH_4 的原因: _____;

解释 NH_3 沸点高于 PH_3 的原因: _____。

(2) 解释 NH_3 分解温度高于 PH_3 的原因: _____。

(3) 结合上述数据和规律判断, 一定压强下 HF 和 HCl 的混合气体在降温时, _____先液化。

本章测试

一、选择题(每题只有 1 个正确选项)

1. 下列关于晶体的叙述中,正确的是()。
(A) 晶体和非晶体均有自范性
(B) 晶体内部微粒的排列呈现周期性,在不同方向上的微粒排列完全相同
(C) 晶体的某些物理性质常会表现出各向异性
(D) 粉末状固体一定不是晶体
2. 下列各项中,与金属的导电性和导热性有关的是()。
(A) 原子半径大小 (B) 最外层电子数 (C) 金属的活泼性 (D) 自由电子
3. 下列关于金属晶体的叙述中,正确的是()。
(A) 常温下,金属单质都以金属晶体形式存在
(B) 金属离子与自由电子间的强烈相互作用,在一定外力作用下,不因形变而消失
(C) 能导电的晶体一定是金属晶体
(D) 温度越高,金属的导电性越好
4. 下列物质中,属于离子晶体并且含有共价键的是()。
(A) CaCl_2 (B) MgO (C) N_2 (D) NH_4Cl
5. 下列说法中,正确的是()。
(A) 仅由非金属元素组成的化合物中不可能含有离子键
(B) 由金属元素和非金属元素组成的化合物一定是离子化合物
(C) 含离子键的化合物一定是离子化合物
(D) 只含共价键的物质一定是共价化合物
6. 下列物质中,只需克服范德华力就能汽化的是()。
(A) 氯化钾 (B) 干冰 (C) 金刚石 (D) 石墨
7. 下列叙述中,正确的是()。
(A) F_2 、 Cl_2 、 Br_2 、 I_2 的熔点依次升高,与分子间作用力大小有关
(B) H_2S 的相对分子质量比 H_2O 大,其沸点比 H_2O 高
(C) 稀有气体的化学性质比较稳定,是因为其键能很大
(D) 分子晶体中一定含有共价键
8. 下列关于晶体的叙述中,错误的是()。
(A) 金刚石为网状结构,由共价键形成的碳原子环中,最小的环上有 6 个碳原子
(B) 氯化钠晶体中,每个 Na^+ 周围紧邻且距离相等的 Na^+ 共有 6 个

(C) 氯化铯晶体中,每个 Cs^+ 周围紧邻且距离相等的 Cl^- 共有 8 个

(D) 干冰晶体中,每个二氧化碳分子周围紧邻且距离相等的二氧化碳分子共有 12 个

9. 已知某些晶体的熔点如下表所示:

晶体	NaCl	AlF_3	AlCl_3	BCl_3	Al_2O_3	CO_2	SiO_2	MgO
熔点/ $^{\circ}\text{C}$	801	1 291	190	107	2 045	-56.6	1 723	2 852

据此判断下列说法中,错误的是()。

(A) 由铝元素组成的晶体中有的是离子晶体

(B) 表中所列物质只有 BCl_3 和 CO_2 是分子晶体

(C) 同族元素的氧化物可以形成不同类型的晶体

(D) 不同族元素的氧化物可以形成相同类型的晶体

二、综合题

10. 有下列几种晶体:

A. 水晶 B. 冰醋酸 C. 白磷 D. 金刚石 E. 晶体氩 F. 干冰 G. 铜

(1) 属于由分子构成的分子晶体的是_____ (填字母,下同),直接由原子构成的分子晶体是_____。

(2) 属于共价晶体的是_____。

(3) 受热熔化时,化学键不发生变化的晶体是_____,需克服共价键的晶体是_____。

(4) A、F 的熔点由高到低的顺序是_____,其原因是_____。

11. 晶体中结构微粒之间的相互作用决定了晶体的性质,请回答下列问题。

(1) 氯酸钾熔化,微粒间克服的相互作用是_____;二氧化硅熔化,微粒间克服的相互作用是_____;碘升华,微粒间克服的相互作用是_____。

(2) 下列晶体① 单晶硅、② 金刚石、③ 碳化硅,均属于_____晶体,它们的熔点从低到高的顺序为_____ (填序号)。

(3) 在 H_2 、 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 、 SiC 、 CO_2 、 HF 中,能形成分子晶体的物质是_____,含有氢键的分子晶体是_____,属于离子晶体的是_____,属于共价晶体的是_____,五种物质的熔点由高到低的顺序是_____。

12. 现有几组物质的熔点($^{\circ}\text{C}$)数据:

A 组	B 组	C 组	D 组
金刚石: $>3\,500^{\circ}\text{C}$	Li: 181°C	HF: -84°C	NaCl: 801°C
晶体硅: $1\,412^{\circ}\text{C}$	Na: 98°C	HCl: -114°C	KCl: 776°C
晶体硼: $2\,300^{\circ}\text{C}$	K: 64°C	HBr: -87°C	RbCl: 718°C
二氧化硅: $1\,723^{\circ}\text{C}$	Rb: 39°C	HI: -51°C	CsCl: 645°C

据此回答下列问题。

- (1) A 组属于_____晶体,其熔化时克服的微粒间的相互作用是_____。
- (2) B 组晶体共同的物理性质是_____ (填序号)。
① 有金属光泽 ② 导电性 ③ 导热性 ④ 延展性
- (3) C 组中 HF 熔点高于 HCl 和 HBr 的原因是_____。
- (4) D 组晶体可能具有的性质是_____ (填序号)。
① 硬度小 ② 水溶液能导电 ③ 固体能导电 ④ 熔融状态能导电
- (5) D 组晶体的熔点由高到低的顺序为 NaCl、KCl、RbCl、CsCl,其原因为_____。

13. 铜单质及其化合物在很多领域有重要用途,如金属铜用来制造电线电缆,五水合硫酸铜可用作杀菌剂。

(1) 铜元素位于元素周期表 IB 族。 Cu^{2+} 的核外电子排布式为_____。

(2) 图 3.9 是铜的某种氧化物的晶胞结构示意图,可确定该晶胞中负离子的个数为_____。

(3) 氧化亚铜与硫化亚铜的晶胞结构相同,氧化亚铜的熔点比硫化亚铜_____ (填“高”或“低”),请解释原因:_____。

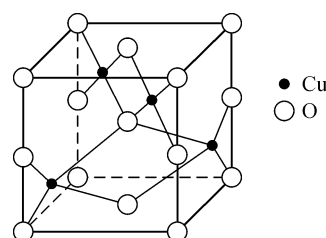


图 3.9

14. 图 3.10 为几种晶体或晶胞的结构示意图。

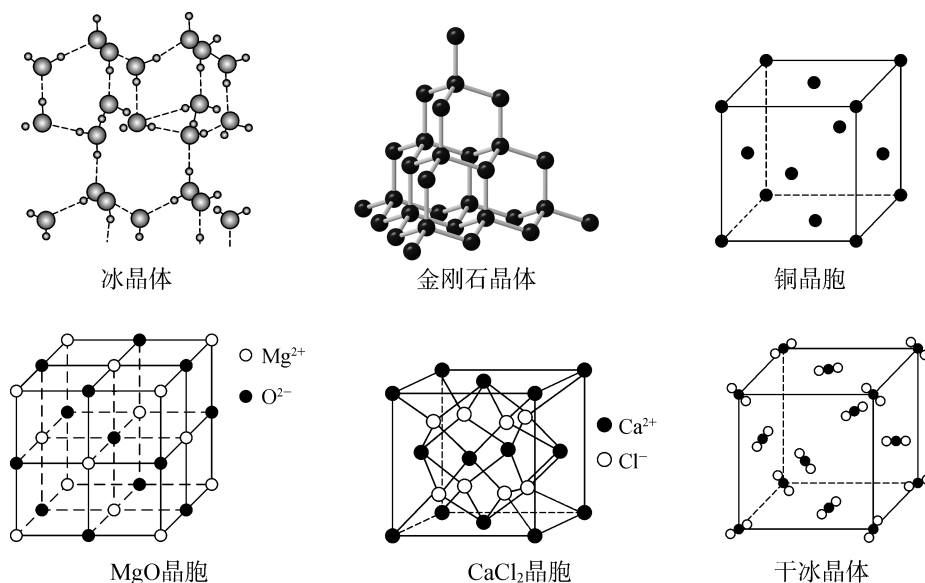


图 3.10

请回答下列问题。

(1) 这些晶体中,结构微粒之间以共价键结合而形成的是_____。

(2) 冰、金刚石、MgO、干冰四种晶体的熔点由高到低的顺序为_____。

(3) NaCl 晶胞与 MgO 晶胞结构相同,NaCl 晶体的熔点_____ (填“高于”或“低于”) MgO 晶体,请解释原因: _____。

(4) 每个铜晶胞中实际占有_____个铜原子,CaCl₂ 晶体中与 Ca²⁺ 周围紧邻且距离相等的 Cl⁻ 共有_____个。

15. 我们已经知道,构成物质的微粒的有序排列可形成不同类型晶体。由于这些微粒之间存在着不同的相互作用,因此它们的性质也各不相同。请完成下列表格。

晶体类型	金属晶体	离子晶体	共价晶体	分子晶体
代表物				
构成晶体的微粒				
微粒间的相互作用				
导热性				
导电性				
决定熔点高低的主要因素				

说 明

本书根据教育部颁布的《普通高中化学课程标准(2017 年版 2020 年修订)》和高中化学教科书编写,经上海市中小学教材审查委员会审查准予使用。

编写过程中,上海市中小学(幼儿园)课程改革委员会专家工作委员会、上海市教育委员会教学研究室、上海市课程方案教育教学研究基地、上海市心理教育教学研究基地、上海市基础教育教材建设研究基地、上海市化学教育教学研究基地(上海高校“立德树人”人文社会科学重点研究基地)及基地所在单位复旦大学给予了大力支持。在此表示感谢!

欢迎广大师生来电来函指出书中的差错和不足,提出宝贵意见。出版社电话:021-64848025。

声明 按照《中华人民共和国著作权法》第二十五条有关规定,我们已尽量寻找著作权人支付报酬。著作权人如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。

经上海市中小学教材审查委员会审查
准予使用 准用号 II-GB-2022004



绿色印刷产品

ISBN 978-7-5478-5978-0



9 787547 859780 >

定价：3.60元