

2020 年普通高等学校招生全国统一考试

理科综合能力测试 化学

可能用到的相对原子质量：H 1 C 12 N 14 O 16 Mg 24 S 32 Fe 56 Cu 64

一、选择题：在每小题给出的四个选项中，只有一项是符合题目要求的。

1.宋代《千里江山图》描绘了山清水秀的美丽景色，历经千年色彩依然，其中绿色来自孔雀石颜料(主要成分为

$\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$)，青色来自蓝铜矿颜料(主要成分为 $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{CuCO}_3$)。下列说法错误的是

A. 保存《千里江山图》需控制温度和湿度

B. 孔雀石、蓝铜矿颜料不易被空气氧化

C. 孔雀石、蓝铜矿颜料耐酸耐碱

D. $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$ 中铜的质量分数高于 $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{CuCO}_3$

【答案】C

【解析】

【详解】A. 字画主要由纸张和绢、绫、锦等织物构成，为防止受潮和氧化，保存古代字画时要特别注意控制适宜的温度和湿度，A 说法正确；

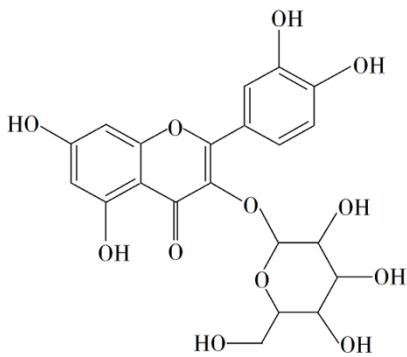
B. 由孔雀石和蓝铜矿的化学成分可知，其中的铜元素、碳元素和氢元素均处于最高价，其均为自然界较稳定的化学物质，因此，用其所制作的颜料不易被空气氧化，B 说法正确；

C. 孔雀石和蓝铜矿的主要成分均可与酸反应生成相应的铜盐，因此，用其制作的颜料不耐酸腐蚀，C 说法错误；

D. 因为氢氧化铜中铜元素的质量分数高于碳酸铜，所以 $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$ 中铜的质量分数高于 $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{CuCO}_3$ ，D 说法正确。

综上所述，相关说法错误的是 C，故本题答案为 C。

2.金丝桃苷是从中药材中提取的一种具有抗病毒作用的黄酮类化合物，结构式如下：



下列关于金丝桃苷的叙述，错误的是

A. 可与氢气发生加成反应

B. 分子含 21 个碳原子

C. 能与乙酸发生酯化反应

D. 不能与金属钠反应

【答案】D

【解析】

【详解】A. 该物质含有苯环和碳碳双键，一定条件下可以与氢气发生加成反应，故 A 正确；

B. 根据该物质的结构简式可知该分子含有 21 个碳原子，故 B 正确；

C. 该物质含有羟基，可以与乙酸发生酯化反应，故 C 正确；

D. 该物质含有普通羟基和酚羟基，可以与金属钠反应放出氢气，故 D 错误；

故答案为 D。

3. N_A 是阿伏加德罗常数的值。下列说法正确的是

A. 22.4 L(标准状况)氮气中含有 $7N_A$ 个中子

B. 1 mol 重水比 1 mol 水多 N_A 个质子

C. 12 g 石墨烯和 12 g 金刚石均含有 N_A 个碳原子

D. 1 L 1 mol·L⁻¹ NaCl 溶液含有 $28N_A$ 个电子

【答案】C

【解析】

【详解】A. 标准状况下 22.4L 氮气的物质的量为 1mol，若该氮气分子中的氮原子全部为 ¹⁴N，则每个 N₂ 分子含有(14-7)×2=14 个中子，1mol 该氮气含有 14 N_A 个中子，不是 7 N_A ，且构成该氮气的氮原子种类并不确定，故 A 错误；

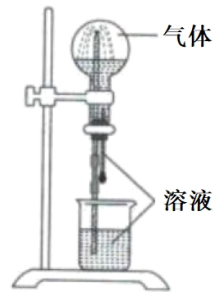
B. 重水分子和水分子都是两个氢原子和一个氧原子构成的，所含质子数相同，故 B 错误；

C. 石墨烯和金刚石均为碳单质，12g 石墨烯和 12g 金刚石均相当于 12g 碳原子，即 $\frac{12\text{g}}{12\text{g/mol}}=1\text{molC}$ 原子，所含碳原子数目为 N_{A} 个，故 C 正确；

D. 1molNaCl 中含有 $28N_{\text{A}}$ 个电子，但该溶液中除 NaCl 外，水分子中也含有电子，故 D 错误；

故答案为 C。

4.喷泉实验装置如图所示。应用下列各组气体—溶液，能出现喷泉现象的是



	气体	溶液
A.	H ₂ S	稀盐酸
B.	HCl	稀氨水
C.	NO	稀 H ₂ SO ₄
D.	CO ₂	饱和 NaHCO ₃ 溶液

A. A B. B C. C D. D

【答案】B

【解析】

【分析】

能够发生喷泉实验，需要烧瓶内外产生明显的压强差；产生压强差可以通过气体溶于水的方法，也可以通过发生反应消耗气体产生压强差，据此分析。

【详解】A. 由于硫化氢气体和盐酸不发生反应且硫化氢在水中的溶解度较小，烧瓶内外压强差变化不大，不会出现喷泉现象，A 错误；

B. 氯化氢可以和稀氨水中的一水合氨发生反应，使烧瓶内外产生较大压强差，能够出现喷泉实验，B 正确；

C. 一氧化氮不与硫酸发生反应且不溶于水，烧瓶内外不会产生压强差，不能发生喷泉现象，C 错误；

D. 二氧化碳不会溶于饱和碳酸氢钠溶液中，烧瓶内外不会产生压强差，不能发生喷泉实验，D 错误；

故选 B。

5.对于下列实验，能正确描述其反应的离子方程式是

- A. 用 Na_2SO_3 溶液吸收少量 Cl_2 : $3\text{SO}_3^{2-}+\text{Cl}_2+\text{H}_2\text{O}=2\text{HSO}_3^{-}+2\text{Cl}^{-}+\text{SO}_4^{2-}$
- B. 向 CaCl_2 溶液中通入 CO_2 : $\text{Ca}^{2+}+\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2=\text{CaCO}_3\downarrow+2\text{H}^{+}$
- C. 向 H_2O_2 溶液中滴加少量 FeCl_3 : $2\text{Fe}^{3+}+\text{H}_2\text{O}_2=\text{O}_2\uparrow+2\text{H}^{+}+2\text{Fe}^{2+}$
- D. 同浓度同体积 NH_4HSO_4 溶液与 NaOH 溶液混合: $\text{NH}_4^{+}+\text{OH}^{-}=\text{NH}_3\cdot\text{H}_2\text{O}$

【答案】A

【解析】

【详解】A. 用 Na_2SO_3 溶液吸收少量的 Cl_2 ， Cl_2 具有强氧化性，可将部分 SO_3^{2-} 氧化为 SO_4^{2-} ，同时产生的氢离子与剩余部分 SO_3^{2-} 结合生成 HSO_3^{-} ， Cl_2 被还原为 Cl^{-} ，反应的离子反应方程式为： $3\text{SO}_3^{2-}+\text{Cl}_2+\text{H}_2\text{O}=2\text{HSO}_3^{-}+2\text{Cl}^{-}+\text{SO}_4^{2-}$ ，A 选项正确；

B. 向 CaCl_2 溶液中通入 CO_2 ， H_2CO_3 是弱酸， HCl 是强酸，弱酸不能制强酸，故不发生反应，B 选项错误；

C. 向 H_2O_2 中滴加少量的 FeCl_3 ， Fe^{3+} 的氧化性弱于 H_2O_2 ，不能氧化 H_2O_2 ，但 Fe^{3+} 能催化 H_2O_2 的分解，正确的离子方程式应为 $2\text{H}_2\text{O}_2\overset{\text{Fe}^{3+}}{=}2\text{H}_2\text{O}+\text{O}_2\uparrow$ ，C 选项错误；

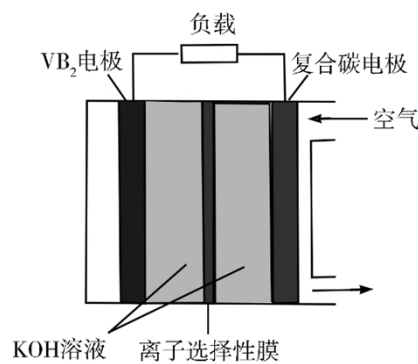
D. NH_4HSO_4 电离出的 H^{+} 优先和 NaOH 溶液反应，同浓度同体积的 NH_4HSO_4 溶液与 NaOH 溶液混合，氢离子和氢氧根恰好完全反应，正确的离子反应方程式应为： $\text{H}^{+}+\text{OH}^{-}=\text{H}_2\text{O}$ ，D 选项错误；

答案选 A。

【点睛】B 选项为易错点，在解答时容易忽略 H_2CO_3 是弱酸， HCl 是强酸，弱酸不能制强酸这一知识点。

6.一种高性能的碱性硼化钒(VB_2)—空气电池如下图所示，其中在 VB_2 电极发生反应：

$\text{VB}_2+16\text{OH}^{-}-11\text{e}^{-}=\text{VO}_4^{3-}+2\text{B}(\text{OH})_4^{-}+4\text{H}_2\text{O}$ 该电池工作时，下列说法错误的是



- A. 负载通过 0.04 mol 电子时，有 0.224 L(标准状况) O_2 参与反应
- B. 正极区溶液的 pH 降低、负极区溶液的 pH 升高
- C. 电池总反应为 $4\text{VB}_2 + 11\text{O}_2 + 20\text{OH}^- + 6\text{H}_2\text{O} = 8\text{B}(\text{OH})_4^- + 4\text{VO}_4^{3-}$
- D. 电流由复合碳电极经负载、 VB_2 电极、KOH 溶液回到复合碳电极

【答案】B

【解析】

【分析】

根据图示的电池结构，左侧 VB_2 发生失电子的反应生成 VO_4^{3-} 和 $\text{B}(\text{OH})_4^-$ ，反应的电极方程式如题干所示，右侧空气中的氧气发生得电子的反应生成 OH^- ，反应的电极方程式为 $\text{O}_2 + 4\text{e}^- + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{OH}^-$ ，电池的总反应方程式为 $4\text{VB}_2 + 11\text{O}_2 + 20\text{OH}^- + 6\text{H}_2\text{O} = 8\text{B}(\text{OH})_4^- + 4\text{VO}_4^{3-}$ ，据此分析。

- 【详解】A. 当负极通过 0.04mol 电子时，正极也通过 0.04mol 电子，根据正极的电极方程式，通过 0.04mol 电子消耗 0.01mol 氧气，在标况下为 0.224L，A 正确；
- B. 反应过程中正极生成大量的 OH^- 使正极区 pH 升高，负极消耗 OH^- 使负极区 OH^- 浓度减小 pH 降低，B 错误；
- C. 根据分析，电池的总反应为 $4\text{VB}_2 + 11\text{O}_2 + 20\text{OH}^- + 6\text{H}_2\text{O} = 8\text{B}(\text{OH})_4^- + 4\text{VO}_4^{3-}$ ，C 正确；
- D. 电池中，电子由 VB_2 电极经负载流向复合碳电极，电流流向与电子流向相反，则电流流向为复合碳电极→负载→ VB_2 电极→KOH 溶液→复合碳电极，D 正确；

故选 B。

【点睛】本题在解答时应注意正极的电极方程式的书写，电解质溶液为碱性，则空气中的氧气得电子生成氢氧根；在判断电池中电流流向时，电流流向与电子流向相反。

7.W、X、Y、Z 为原子序数依次增大的短周期元素，四种元素的核外电子总数满足 $X+Y=W+Z$ ；化合物 XW_3 与

WZ 相遇会产生白烟。下列叙述正确的是

- A. 非金属性： $W>X>Y>Z$
- B. 原子半径： $Z>Y>X>W$
- C. 元素 X 的含氧酸均为强酸
- D. Y 的氧化物水化物为强碱

【答案】D

【解析】

【分析】

根据题干信息可知，W、X、Y、Z 为原子序数依次增大的短周期元素，化合物 XW_3 与 WZ 相遇会产生白烟，则 WX_3 为 NH_3 ，WZ 为 HCl ，所以 W 为 H 元素，X 为 N 元素，Z 为 Cl 元素，又四种元素的核外电子总数满足 $X+Y=W+Z$ ，则 Y 的核外电子总数为 11，Y 为 Na 元素，据此分析解答。

【详解】根据上述分析可知，W 为 H 元素，X 为 N 元素，Y 为 Na 元素，Z 为 Cl 元素，则

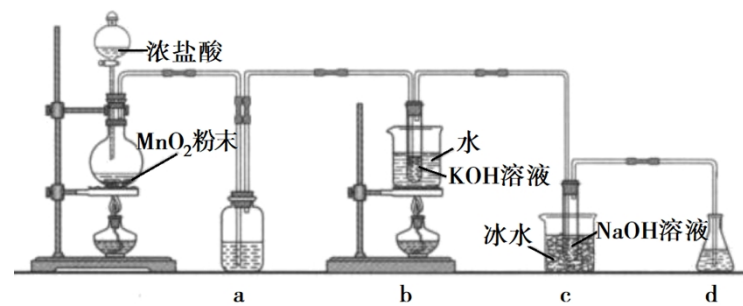
- A. Na 为金属元素，非金属性最弱，非金属性 $Y<Z$ ，A 选项错误；
- B. 同周期元素从左至右原子半径依次减小，同主族元素至上而下原子半径依次增大，则原子半径： $\text{Na}>\text{Cl}>\text{N}>\text{H}$ ，B 选项错误；
- C. N 元素的含氧酸不一定全是强酸，如 HNO_2 为弱酸，C 选项错误；
- D. Y 的氧化物水化物为 NaOH ，属于强碱，D 选项正确；

答案选 D。

二、非选择题

(一)必考题

8.氯可形成多种含氧酸盐，广泛应用于杀菌、消毒及化工领域。实验室中利用下图装置(部分装置省略)制备 KClO_3 和 NaClO ，探究其氧化还原性质。



回答下列问题：

- (1)盛放 MnO_2 粉末的仪器名称是_____，a 中的试剂为_____。
- (2)b 中采用的加热方式是_____，c 中化学反应的离子方程式是_____，采用冰水浴冷却的目的

是_____。

(3)d 的作用是_____，可选用试剂_____ (填标号)。

A. Na₂S B. NaCl C. Ca(OH)₂ D. H₂SO₄

(4)反应结束后，取出 b 中试管，经冷却结晶，_____，_____，干燥，得到 KClO₃ 晶体。

(5)取少量 KClO₃ 和 NaClO 溶液分别置于 1 号和 2 号试管中，滴加中性 KI 溶液。1 号试管溶液颜色不变。2 号试管溶液变为棕色，加入 CCl₄ 振荡，静置后 CCl₄ 层显_____色。可知该条件下 KClO₃ 的氧化能力____NaClO(填“大于”或“小于”)。

【答案】 (1). 圆底烧瓶 (2). 饱和食盐水 (3). 水浴加热 (4). Cl₂+2OH⁻=ClO⁻+Cl⁻+H₂O (5). 避免生成 NaClO₃ (6). 吸收尾气(Cl₂) (7). AC (8). 过滤 (9). 少量(冷)水洗涤 (10). 紫 (11). 小于

【解析】

【分析】

本实验目的是制备 KClO₃ 和 NaClO，并探究其氧化还原性质；首先利用浓盐酸和 MnO₂ 粉末共热制取氯气，生成的氯气中混有 HCl 气体，可在装置 a 中盛放饱和食盐水中将 HCl 气体除去；之后氯气与 KOH 溶液在水浴加热的条件发生反应制备 KClO₃，再与 NaOH 溶液在冰水浴中反应制备 NaClO；氯气有毒会污染空气，所以需要 d 装置吸收未反应的氯气。

【详解】(1)根据盛放 MnO₂ 粉末的仪器结构可知该仪器为圆底烧瓶；a 中盛放饱和食盐水除去氯气中混有的 HCl 气体；

(2)根据装置图可知盛有 KOH 溶液的试管放在盛有水的大烧杯中加热，该加热方式水浴加热；c 中氯气在

NaOH 溶液中发生歧化反应生成氯化钠和次氯酸钠，结合元素守恒可得离子方程式为

Cl₂+2OH⁻=ClO⁻+Cl⁻+H₂O；根据氯气与 KOH 溶液的反应可知，加热条件下氯气可以和强碱溶液反应生成氯酸盐，所以冰水浴的目的是避免生成 NaClO₃；

(3)氯气有毒，所以 d 装置的作用是吸收尾气(Cl₂)；

A. Na₂S 可以将氯气还原成氯离子，可以吸收氯气，故 A 可选；

B. 氯气在 NaCl 溶液中溶解度很小，无法吸收氯气，故 B 不可选；

C. 氯气可以 Ca(OH)₂ 或浊液反应生成氯化钙和次氯酸钙，故 C 可选；

D. 氯气与硫酸不反应，且硫酸溶液中存在大量氢离子会降低氯气的溶解度，故 D 不可选；

综上所述可选用试剂 AC；

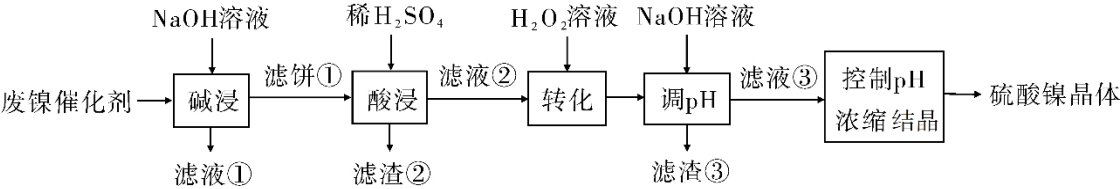
(4)b 中试管为 KClO₃ 和 KCl 的混合溶液，KClO₃ 的溶解度受温度影响更大，所以将试管 b 中混合溶液冷却结

晶、过滤、少量(冷)水洗涤、干燥，得到 KClO₃ 晶体；

(5)1 号试管溶液颜色不变，2 号试管溶液变为棕色，说明 1 号试管中氯酸钾没有将碘离子氧化，2 号试管中次氯酸钠将碘离子氧化成碘单质，即该条件下 KClO₃ 的氧化能力小于 NaClO；碘单质更易溶于 CCl₄，所以加入 CCl₄ 振荡，静置后 CCl₄ 层显紫色。

【点睛】第 3 小题为本题易错点，要注意氯气除了可以用碱液吸收之外，氯气还具有氧化性，可以用还原性的物质吸收。

9.某油脂厂废弃的油脂加氢镍催化剂主要含金属 Ni、Al、Fe 及其氧化物，还有少量其他不溶性物质。采用如下工艺流程回收其中的镍制备硫酸镍晶体(NiSO₄·7H₂O)：



溶液中金属离子开始沉淀和完全沉淀的 pH 如下表所示：

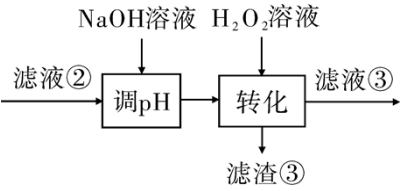
金属离子	Ni ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	Fe ²⁺
开始沉淀时(<i>c</i> =0.01 mol·L ⁻¹)的 pH	7.2	3.7	2.2	7.5
沉淀完全时(<i>c</i> =1.0×10 ⁻⁵ mol·L ⁻¹)的 pH	8.7	4.7	3.2	9.0

回答下列问题：

(1)“碱浸”中 NaOH 的两个作用分别是_____。为回收金属，用稀硫酸将“滤液①”调为中性，生成沉淀。写出该反应的离子方程式_____。

(2)“滤液②”中含有的金属离子是_____。

(3)“转化”中可替代 H₂O₂ 的物质是_____。若工艺流程改为先“调 pH”后“转化”，即



“滤液③”中可能含有的杂质离子为_____。

(4)利用上述表格数据，计算 Ni(OH)₂ 的 K_{sp}=_____(列出计算式)。如果“转化”后的溶液中 Ni²⁺浓度为

1.0 mol·L⁻¹，则“调 pH”应控制的 pH 范围是_____。

(5)硫酸镍在强碱溶液中用 NaClO 氧化，可沉淀出能用作镍镉电池正极材料的 NiOOH。写出该反应的离子方程

式_____。

(6)将分离出硫酸镍晶体后的母液收集、循环使用，其意义是_____。

【答案】 (1). 除去油脂、溶解铝及其氧化物 (2). $\text{AlO}_2^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow$ 或 $\text{Al}(\text{OH})_4^- + \text{H}^+ = \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + \text{H}_2\text{O}$ (3). Ni²⁺、Fe²⁺、Fe³⁺ (4). O₂ 或 空气 (5). Fe³⁺ (6). $0.01 \times (10^{7.2-14})^2$ 或 $10^{-5} \times (10^{8.7-14})^2$ (7). 3.2~6.2 (8). $2\text{Ni}^{2+} + \text{ClO}^- + 4\text{OH}^- = 2\text{NiOOH}\downarrow + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ (9). 提高镍回收率

【解析】

【分析】

由工艺流程分析可得，向废镍催化剂中加入 NaOH 溶液进行碱浸，可除去油脂，并发生反应 $2\text{Al} + 2\text{NaOH} + 2\text{H}_2\text{O} = 2\text{NaAlO}_2 + 3\text{H}_2\uparrow$ 、 $2\text{Al}_2\text{O}_3 + 4\text{NaOH} = 4\text{NaAlO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 将 Al 及其氧化物溶解，得到的滤液①含有 NaAlO₂，滤饼①为 Ni、Fe 及其氧化物和少量其他不溶性杂质，加稀 H₂SO₄ 酸浸后得到含有 Ni²⁺、Fe²⁺、Fe³⁺ 的滤液②，Fe²⁺经 H₂O₂ 氧化为 Fe³⁺后，加入 NaOH 调节 pH 使 Fe³⁺转化为 Fe(OH)₃ 沉淀除去，再控制 pH 浓缩结晶得到硫酸镍的晶体，据此分析解答问题。

【详解】 (1)根据分析可知，向废镍催化剂中加入 NaOH 溶液进行碱浸，可除去油脂，并将 Al 及其氧化物溶解，滤液①中含有 NaAlO₂(或 Na[Al(OH)₄])，加入稀硫酸可发生反应 $\text{AlO}_2^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow$ 或 $\text{Al}(\text{OH})_4^- + \text{H}^+ = \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + \text{H}_2\text{O}$ ，故答案为：除去油脂、溶解铝及其氧化物； $\text{AlO}_2^- + \text{H}^+ + \text{H}_2\text{O} = \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow$ 或 $\text{Al}(\text{OH})_4^- + \text{H}^+ = \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + \text{H}_2\text{O}$ ；

(2)加入稀硫酸酸浸，Ni、Fe 及其氧化物溶解，所以“滤液②”中含有的金属离子是 Ni²⁺、Fe²⁺、Fe³⁺，故答案为：Ni²⁺、Fe²⁺、Fe³⁺；

(3)“转化”在 H₂O₂ 的作用是将 Fe²⁺氧化为 Fe³⁺，可用 O₂ 或空气替代；若将工艺流程改为先“调 pH”后“转化”，会使调 pH 过滤后的溶液中含有 Fe²⁺，则滤液③中可能含有转化生成的 Fe³⁺，故答案为：O₂ 或空气；Fe³⁺；

(4)由上述表格可知，Ni²⁺完全沉淀时的 pH=8.7，此时 $c(\text{Ni}^{2+}) = 1.0 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $c(\text{H}^+) = 1.0 \times 10^{-8.7} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则

$c(\text{OH}^-) = \frac{K_w}{c(\text{H}^+)} = \frac{10^{-14}}{1.0 \times 10^{-8.7}} = 10^{8.7-14}$ ，则 Ni(OH)₂ 的 $K_{\text{sp}} = c(\text{Ni}^{2+}) \cdot c^2(\text{OH}^-) = 10^{-5} \times (10^{8.7-14})^2$ ；或者当 Ni²⁺开始沉

淀时 pH=7.2，此时 $c(\text{Ni}^{2+}) = 0.01 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ， $c(\text{H}^+) = 1.0 \times 10^{-7.2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则 $c(\text{OH}^-) = \frac{K_w}{c(\text{H}^+)} = \frac{10^{-14}}{1.0 \times 10^{-7.2}} = 10^{7.2-14}$ ，则

Ni(OH)₂ 的 $K_{\text{sp}} = c(\text{Ni}^{2+}) \cdot c^2(\text{OH}^-) = 0.01 \times (10^{7.2-14})^2$ ；如果“转化”后的溶液中 Ni²⁺浓度为 1.0 mol·L⁻¹，为避免镍离

子沉淀，此时 $c(\text{OH}^-) = \sqrt{\frac{K_{\text{sp}}}{c(\text{Ni}^{2+})}} = \sqrt{\frac{0.01 \times (10^{7.2-14})^2}{1.0}} = 10^{-7.8} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则 $c(\text{H}^+) = \frac{K_w}{c(\text{OH}^-)} = \frac{10^{-14}}{10^{-7.8}} = 10^{-6.2}$ ，即

pH=6.2；Fe³⁺完全沉淀的 pH 为 3.2，因此“调节 pH”应控制的 pH 范围是 3.2~6.2，故答案为：

$0.01 \times (10^{7.2-14})^2$ 或 $10^{-5} \times (10^{8.7-14})^2$ ；3.2~6.2；

(5)由题干信息，硫酸镍在强碱中被 NaClO 氧化得到 NiOOH 沉淀，即反应中 Ni²⁺被氧化为 NiOOH 沉淀，ClO⁻被还原为 Cl⁻，则根据氧化还原得失电子守恒可得离子方程式为 $2\text{Ni}^{2+} + \text{ClO}^- + 4\text{OH}^- = 2\text{NiOOH}\downarrow + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ ，故答案为： $2\text{Ni}^{2+} + \text{ClO}^- + 4\text{OH}^- = 2\text{NiOOH}\downarrow + \text{Cl}^- + \text{H}_2\text{O}$ ；

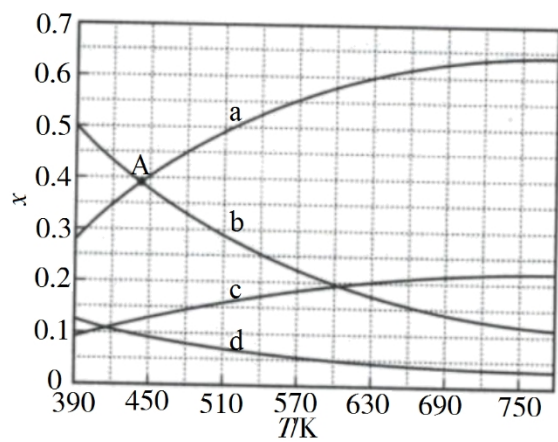
(6)分离出硫酸镍晶体后的母液中还含有 Ni²⁺，可将其收集、循环使用，从而提高镍的回收率，故答案为：提高镍的回收率。

【点睛】 本题主要考查金属及其化合物的性质、沉淀溶解平衡常数 K_{sp} 的计算、氧化还原离子反应方程式的书写等知识点，需要学生具有很好的综合迁移能力，解答关键在于正确分析出工艺流程原理，难点在于 K_{sp} 的计算及“调 pH”时 pH 的范围确定。

10.二氧化碳催化加氢合成乙烯是综合利用 CO₂ 的热点研究领域。回答下列问题：

(1)CO₂ 催化加氢生成乙烯和水的反应中，产物的物质的量之比 $n(\text{C}_2\text{H}_4) : n(\text{H}_2\text{O}) = \underline{\hspace{2cm}}$ 。当反应达到平衡时，若增大压强，则 $n(\text{C}_2\text{H}_4)$ _____ (填“变大”“变小”或“不变”)。

(2)理论计算表明，原料初始组成 $n(\text{CO}_2) : n(\text{H}_2) = 1 : 3$ ，在体系压强为 0.1MPa，反应达到平衡时，四种组分的物质的量分数 x 随温度 T 的变化如图所示。



图中，表示 C₂H₄、CO₂ 变化的曲线分别是_____、_____。CO₂ 催化加氢合成 C₂H₄ 反应的 ΔH _____0(填“大于”或“小于”)。

(3)根据图中点 A(440K, 0.39)，计算该温度时反应的平衡常数 K_p =_____ (MPa)⁻³(列出计算式。以分压表示，分压=总压×物质的量分数)。

(4)二氧化碳催化加氢合成乙烯反应往往伴随副反应，生成 C₃H₆、C₃H₈、C₄H₈ 等低碳烃。一定温度和压强条件下，为了提高反应速率和乙烯选择性，应当_____。

【答案】 (1). 1：4 (2). 变大 (3). d (4). c (5). 小于 (6). $\frac{9}{4} \times \frac{1}{0.039^3}$ 或

$\frac{0.39^4 \times \frac{0.39}{4}}{0.39^6 \times (\frac{0.39}{3})^2} \times \frac{1}{0.1^3}$ 等 (7). 选择合适催化剂等

【解析】

【分析】

根据质量守恒定律配平化学方程式，可以确定产物的物质的量之比。根据可逆反应的特点分析增大压强对化学平衡的影响。根据物质的量之比等于化学计量数之比，从图中找到关键数据确定代表各组分的曲线，并计算出平衡常数。根据催化剂对化反应速率的影响和对主反应的选择性，工业上通常要选择合适的催化剂以提高化学反应速率、减少副反应的发生。

【详解】(1)CO₂ 催化加氢生成乙烯和水，该反应的化学方程式可表示为 $2\text{CO}_2+6\text{H}_2\rightleftharpoons\text{CH}_2=\text{CH}_2+4\text{H}_2\text{O}$ ，因此，该反应中产物的物质的量之比 $n(\text{C}_2\text{H}_4):n(\text{H}_2\text{O})=1:4$ 。由于该反应是气体分子数减少的反应，当反应达到平衡状态时，若增大压强，则化学平衡向正反应方向移动， $n(\text{C}_2\text{H}_4)$ 变大。

(2) 由题中信息可知，两反应物的初始投料之比等于化学计量数之比；由图中曲线的起点坐标可知，c 和 a 所表示的物质的物质的量分数之比为 1:3、d 和 b 表示的物质的物质的量分数之比为 1:4，则结合化学计量数之比可

以判断，表示乙烯变化的曲线是 d，表示二氧化碳变化曲线的是 c。由图中曲线的变化趋势可知，升高温度，乙烯的物质的量分数减小，则化学平衡向逆反应方向移动，则该反应为放热反应， ΔH 小于 0。

(3) 原料初始组成 $n(\text{CO}_2):n(\text{H}_2)=1:3$ ，在体系压强为 0.1MPa 建立平衡。由 A 点坐标可知，该温度下，氢气和水的物质的量分数均为 0.39，则乙烯的物质的量分数为水的四分之一，即 $\frac{0.39}{4}$ ，二氧化碳的物质的量分数为氢

气的三分之一，即 $\frac{0.39}{3}$ ，因此，该温度下反应的平衡常数 $K_p=\frac{0.39^4 \times \frac{0.39}{4}}{0.39^6 \times \left(\frac{0.39}{3}\right)^2} \times \frac{1}{0.1^3}(\text{MPa})^{-3}=\frac{9}{4} \times \frac{1}{0.039^3}$

(MPa)⁻³。

(4)工业上通常通过选择合适的催化剂，以加快化学反应速率，同时还可以提高目标产品的选择性，减少副反应的发生。因此，一定温度和压强下，为了提高反应速率和乙烯的选择性，应当选择合适的催化剂。

【点睛】本题确定图中曲线所代表的化学物质是难点，其关键在于明确物质的量的分数之比等于各组分的物质的量之比，也等于化学计量数之比（在初始投料之比等于化学计量数之比的前提下，否则不成立）。

(二)选考题

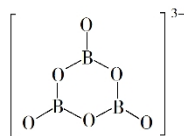
【化学——选修 3：物质结构与性质】

11.氮硼烷(NH₃BH₃)含氢量高、热稳定性好，是一种具有潜力的固体储氢材料。回答下列问题：

(1)H、B、N 中，原子半径最大的是_____。根据对角线规则，B 的一些化学性质与元素_____的相似。

(2)NH₃BH₃ 分子中，N—B 化学键称为____键，其电子对由____提供。氮硼烷在催化剂作用下水解释放氢气：

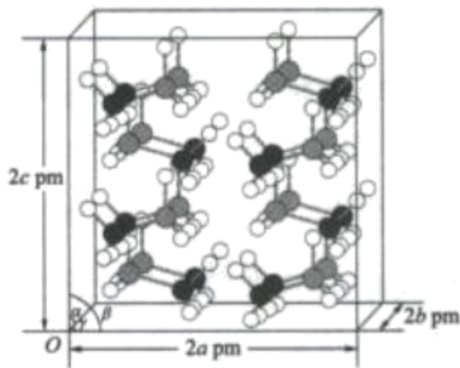
$3\text{NH}_3\text{BH}_3+6\text{H}_2\text{O}=3\text{NH}_3+\text{B}_3\text{O}_6^{3-}+9\text{H}_2$ ， $\text{B}_3\text{O}_6^{3-}$ 的结构如图所示：



在该反应中，B 原子的杂化轨道类型由_____变为_____。

(3)NH₃BH₃ 分子中，与 N 原子相连的 H 呈正电性(H^{δ+})，与 B 原子相连的 H 呈负电性(H^{δ-})，电负性大小顺序是_____。与 NH₃BH₃ 原子总数相等的等电子体是_____ (写分子式)，其熔点比 NH₃BH₃_____ (填“高”或“低”)，原因是在 NH₃BH₃ 分子之间，存在_____，也称“双氢键”。

(4)研究发现，氮硼烷在低温高压条件下为正交晶系结构，晶胞参数分别为 a pm、b pm、c pm， $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ 。氮硼烷的 2×2×2 超晶胞结构如图所示。



氨硼烷晶体的密度 $\rho =$ _____ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ (列出计算式，设 N_A 为阿伏加德罗常数的值)。

【答案】 (1). B (2). Si(硅) (3). 配位 (4). N (5). sp^3 (6). sp^2 (7). $\text{N} > \text{H} > \text{B}$ (8). CH_3CH_3 (9). 低 (10). $\text{H}^{\delta+}$ 与 $\text{H}^{\delta-}$ 的静电引力 (11). $\frac{62}{N_A abc \times 10^{-30}}$

【解析】

【分析】

根据元素在周期表中的位置比较和判断元素的相关性质；根据中心原子的价层电子对数确定其杂化轨道的类型；运用等量代换的方法寻找等电子体；根据电负性对化合价的影响比较不同元素的电负性；根据晶胞的质量和体积求晶体的密度。

【详解】(1) 在所有元素中，H 原子的半径是最小的，同一周期从左到右，原子半径依次减小，所以，H、B、N 中原子半径最大是 B。B 与 Si 在元素周期表中处于对角张的位置，根据对角线规则，B 的一些化学性质与 Si 元素相似。

(2) B 原子最外层有 3 个电子，其与 3 个 H 原子形成共价键后，其价层电子对只有 3 对，还有一个空轨道；在 NH_3 中，N 原子有一对孤对电子，故在 NH_3BH_3 分子中，N—B 键为配位键，其电子对由 N 原子提供。 NH_3BH_3 分子中，B 原子的价层电子对数为 4，故其杂化方式为 sp^3 。 NH_3BH_3 在催化剂的作用下水解生成氢气和 $\text{B}_3\text{O}_6^{3-}$ ，由图中信息可知， $\text{B}_3\text{O}_6^{3-}$ 中每个 B 原子只形成 3 个 σ 键，其中的 B 原子的杂化方式为 sp^2 ，因此，B 原子的杂化轨道类型由 sp^3 变为 sp^2 。

(3) NH_3BH_3 分子中，与 N 原子相连的 H 呈正电性，说明 N 的电负性大于 H；与 B 原子相连的 H 呈负电性，说明 H 的电负性大于 B，因此 3 种元素电负性由大到小的顺序为 $\text{N} > \text{H} > \text{B}$ 。 NH_3BH_3 分子中有 8 个原子，其价电子总数为 14，N 和 B 的价电子数的平均值为 4，依据等量代换的原则，可以找到其等电子体为 CH_3CH_3 。由于 NH_3BH_3 分子属于极性分子，而 CH_3CH_3 属于非极性分子，两者相对分子质量接近，但是极性分子的分子间作用力较大，故 CH_3CH_3 熔点比 NH_3BH_3 低。 NH_3BH_3 分子间存在“双氢键”，类比氢键的形成原理，说明其分子间存在 $\text{H}^{\delta+}$ 与 $\text{H}^{\delta-}$ 的静电引力。

(4) 在氨硼烷的 $2 \times 2 \times 2$ 的超晶胞结构中，共有 16 个氨硼烷分子，晶胞的长、宽、高分别为 $2a\text{pm}$ 、 $2b\text{pm}$ 、

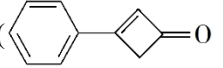
$2c\text{pm}$ ，若将其平均分为 8 份可以得到 8 个小长方体，则平均每个小长方体中占有 2 个氨硼烷分子，小长方体的

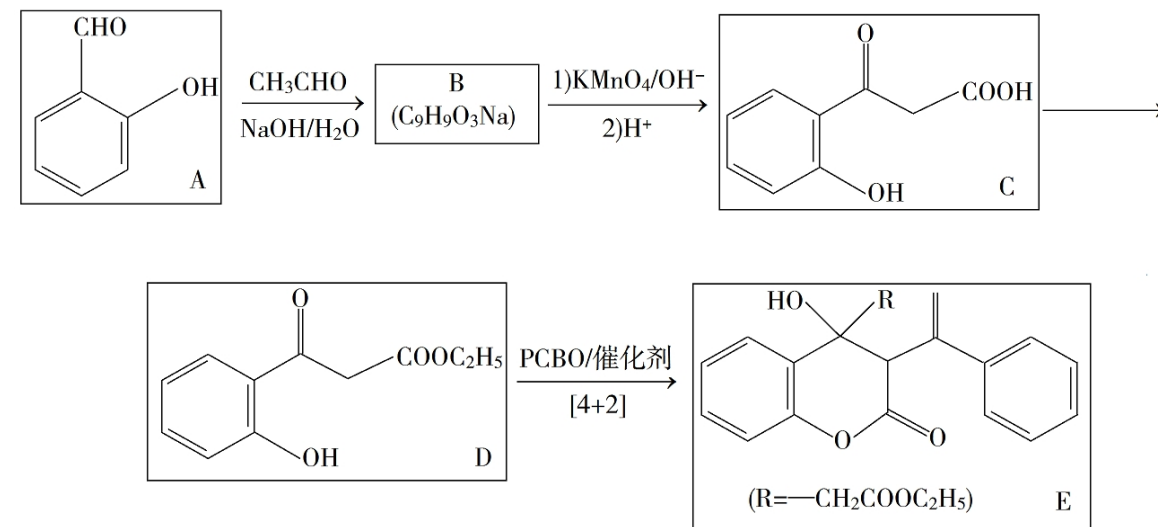
长、宽、高分别为 $a\text{pm}$ 、 $b\text{pm}$ 、 $c\text{pm}$ ，则小长方体的质量为 $\frac{31 \times 2g}{N_A}$ ，小长方体的体积为 $abc \times 10^{-30} \text{cm}^3$ ，因

此，氨硼烷晶体的密度为 $\frac{\frac{31 \times 2g}{N_A}}{abc \times 10^{-30} \text{cm}^3} = \frac{62}{N_A abc \times 10^{-30}} \text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ 。

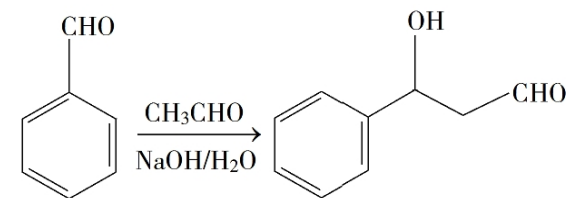
【点睛】本题最后有关晶体密度的计算是难点，要求考生能读懂题意，通过观察晶胞结构，确定超晶胞结构中的分子数，并能合理分成 8 份，从而简化计算。

【化学——选修 5：有机化学基础】

12. 苯基环丁烯酮( PCBO) 是一种十分活泼的反应物，可利用它的开环反应合成一系列多官能团化合物。近期我国科学家报道用 PCBO 与醛或酮发生 [4+2] 环加成反应，合成了具有生物活性的多官能团化合物(E)，部分合成路线如下：



已知如下信息：



回答下列问题：

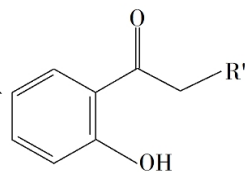
(1) A 的化学名称是_____。

(2)B 的结构简式为_____。

(3)由 C 生成 D 所用的试剂和反应条件为_____；该步反应中，若反应温度过高，C 易发生脱羧反应，生成分子式为 C₈H₈O₂ 的副产物，该副产物的结构简式为_____。

(4)写出化合物 E 中含氧官能团的名称_____；E 中手性碳(注：连有四个不同的原子或基团的碳)的个数为_____。

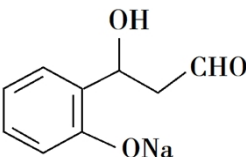
(5)M 为 C 的一种同分异构体。已知：1 mol M 与饱和碳酸氢钠溶液充分反应能放出 2 mol 二氧化碳；M 与酸性高锰酸钾溶液反应生成对苯二甲酸。M 的结构简式为_____。

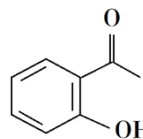
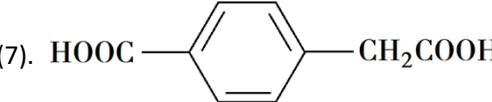
(6)对于 ，选用不同的取代基 R'，在催化剂作用下与 PCBO 发生的[4+2]反应进行深入研究，

R'对产率的影响见下表：

R'	—CH ₃	—C ₂ H ₅	—CH ₂ CH ₂ C ₆ H ₅
产率/%	91	80	63

请找出规律，并解释原因_____。

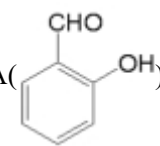
【答案】 (1). 2-羟基苯甲醛(水杨醛) (2).  (3). 乙醇、浓硫酸/加热 (4).

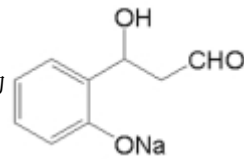
 (5). 羟基、酯基 (6). 2 (7).  (8). 随着 R'体积增

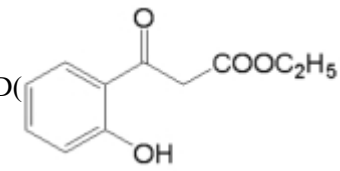
大，产率降低；原因是 R'体积增大，位阻增大

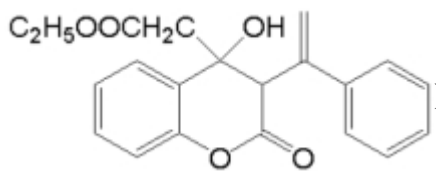
【解析】

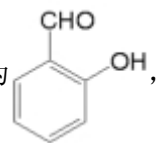
【分析】

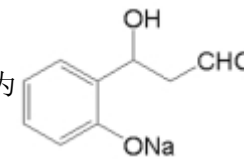
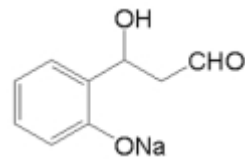
根据合成路线分析可知，A()与 CH₃CHO 在 NaOH 的水溶液中发生已知反应生成 B，则 B 的结构简

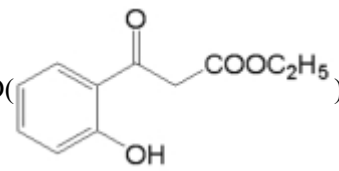
式为 ，B 被 KMnO₄ 氧化后再酸化得到 C()，C 再与 CH₃CH₂OH 在浓硫

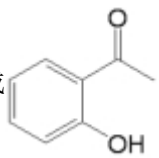
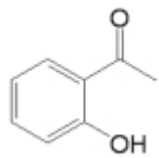
酸加热的条件下发生酯化反应得到 D()，D 再反应得到 E(

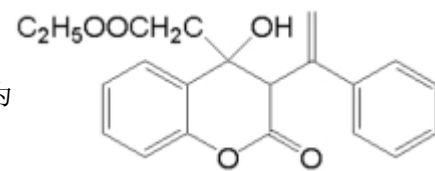
)，据此分析解答问题。

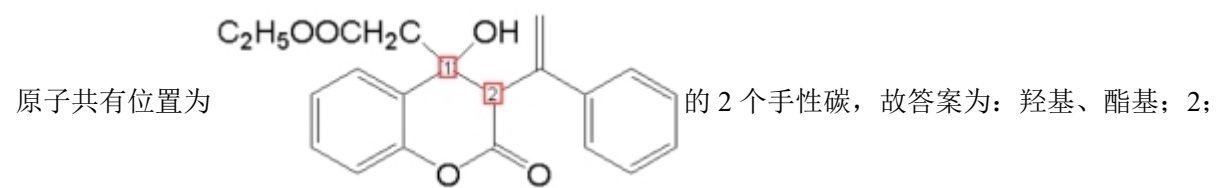
【详解】(1)A 的结构简式为 ，其名称为 2-羟基苯甲醛(或水杨醛)，故答案为：2-羟基苯甲醛(或水杨醛)；

(2)根据上述分析可知，B 的结构简式为 ，故答案为：；

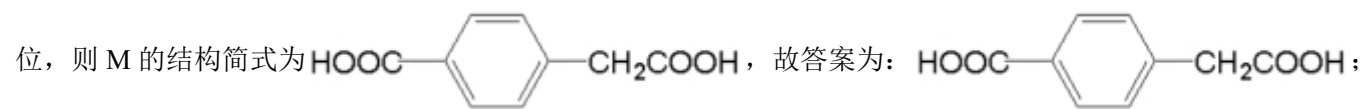
(3)C 与 CH₃CH₂OH 在浓硫酸加热的条件下发生酯化反应得到 D()，即所用试剂为乙

醇、浓硫酸，反应条件为加热；在该步反应中，若反应温度过高，根据副产物的分子式可知，C 发生脱羧反应生成 ，故答案为：乙醇、浓硫酸/加热；；

(4)化合物 E 的结构简式为 ，分子中的含氧官能团为羟基和酯基，E 中手性碳



(5)M 为 C 的一种同分异构体，1molM 与饱和 NaHCO_3 溶液反应能放出 2mol 二氧化碳，则 M 中含有两个羧基 ($-\text{COOH}$)，又 M 与酸性高锰酸钾溶液溶液反应生成对二苯甲酸，则 M 分子苯环上只有两个取代基且处于对



(6)由表格数据分析可得到规律，随着取代基 R' 体积的增大，产物的产率降低，出现此规律的原因可能是因为 R' 体积增大，从而位阻增大，导致产率降低，故答案为：随着 R' 体积增大，产率降低；原因是 R' 体积增大，位阻增大。