

专题 12 化学反应原理综合题

【2022 年】

1. (2022·全国甲卷) 金属钛(Ti)在航空航天、医疗器械等工业领域有着重要用途, 目前生产钛的方法之一是将金红石(TiO_2)转化为 TiCl_4 , 再进一步还原得到钛。回答下列问题:

(1) TiO_2 转化为 TiCl_4 有直接氯化法和碳氯化法。在 1000°C 时反应的热化学方程式及其平衡常数如下:

(i) 直接氯化: $\text{TiO}_2(\text{s}) + 2\text{Cl}_2(\text{g}) = \text{TiCl}_4(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$ $\Delta H_1 = 172\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $K_{p1} = 1.0 \times 10^{-2}$

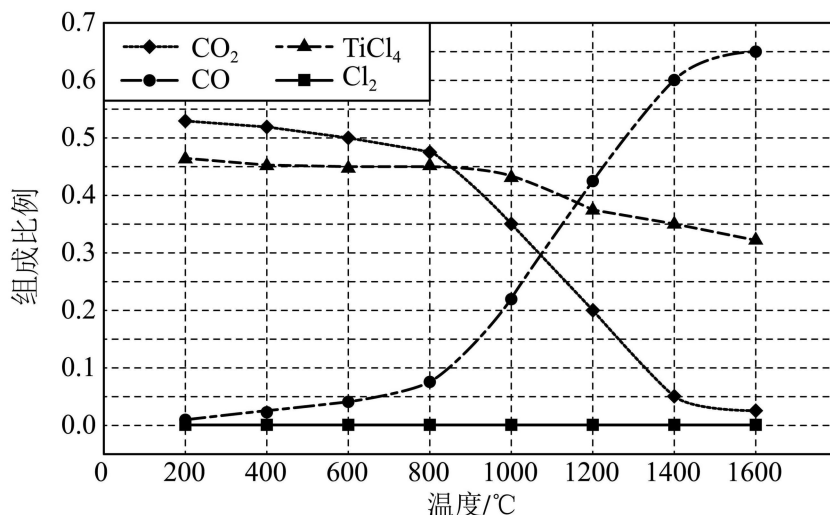
(ii) 碳氯化: $\text{TiO}_2(\text{s}) + 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{C}(\text{s}) = \text{TiCl}_4(\text{g}) + 2\text{CO}(\text{g})$ $\Delta H_2 = -51\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $K_{p2} = 1.2 \times 10^{12}\text{Pa}$

① 反应 $2\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{CO}(\text{g})$ 的 ΔH 为 _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $K_p =$ _____ Pa 。

② 碳氯化的反应趋势远大于直接氯化, 其原因是_____。

③ 对于碳氯化反应: 增大压强, 平衡_____移动(填“向左”“向右”或“不”); 温度升高, 平衡转化率_____ (填“变大”“变小”或“不变”)。

(2) 在 $1.0 \times 10^5 \text{Pa}$, 将 TiO_2 、 C 、 Cl_2 以物质的量比 1 : 2.2 : 2 进行反应。体系中气体平衡组成比例(物质的量分数)随温度变化的理论计算结果如图所示。



① 反应 $\text{C}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g}) = 2\text{CO}(\text{g})$ 的平衡常数 $K_p(1400^\circ\text{C}) =$ _____ Pa 。

② 图中显示, 在 200°C 平衡时 TiO_2 几乎完全转化为 TiCl_4 , 但实际生产中反应温度却远高于此温度, 其原因是_____。

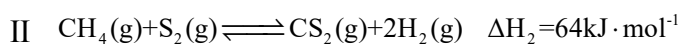
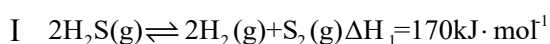
(3) TiO_2 碳氯化是一个“气—固—固”反应, 有利于 $\text{TiO}_2 - \text{C}$ “固—固”接触的措施是_____。

2. (2022·浙江卷) 主要成分为 H_2S 的工业废气的回收利用有重要意义。

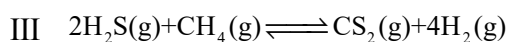
(1)回收单质硫。将三分之一的 H_2S 燃烧,产生的 SO_2 与其余 H_2S 混合后反应:

$2\text{H}_2\text{S}(\text{g})+\text{SO}_2(\text{g})\rightleftharpoons\frac{3}{8}\text{S}_8(\text{s})+2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。在某温度下达到平衡,测得密闭系统中各组分浓度分别为 $c(\text{H}_2\text{S})=2.0\times10^{-5}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $c(\text{SO}_2)=5.0\times10^{-5}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 、 $c(\text{H}_2\text{O})=4.0\times10^{-3}\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$,计算该温度下的平衡常数 $K=$ _____。

(2)热解 H_2S 制 H_2 。根据文献,将 H_2S 和 CH_4 的混合气体导入石英管反应器热解(一边进料,另一边出料),发生如下反应:



总反应:



投料按体积之比 $V(\text{H}_2\text{S}):V(\text{CH}_4)=2:1$,并用 N_2 稀释;常压,不同温度下反应相同时间后,测得 H_2 和 CS_2 体积分数如下表:

温度/ $^{\circ}\text{C}$	950	1000	1050	1100	1150
$\text{H}_2/V(\%)$	0.5	1.5	3.6	5.5	8.5
$\text{CS}_2/V(\%)$	0.0	0.0	0.1	0.4	1.8

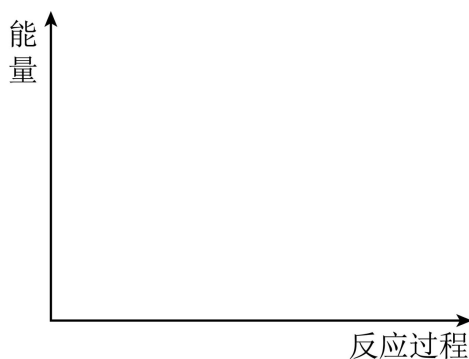
请回答:

①反应III能自发进行的条件是_____。

②下列说法正确的是_____。

- A. 其他条件不变时,用Ar替代 N_2 作稀释气体,对实验结果几乎无影响
- B. 其他条件不变时,温度越高, H_2S 的转化率越高
- C. 由实验数据推出 H_2S 中的S-H键强于 CH_4 中的C-H键
- D. 恒温恒压下,增加 N_2 的体积分数, H_2 的浓度升高

③若将反应III看成由反应I和反应II两步进行,画出由反应原料经两步生成产物的反应过程能量示意图_____。

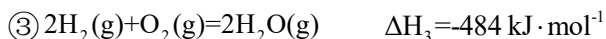
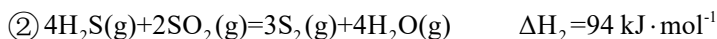
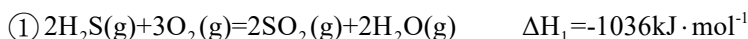


④在1000℃，常压下，保持通入的 H_2S 体积分数不变，提高投料比 $[\text{V}(\text{H}_2\text{S}):\text{V}(\text{CH}_4)]$ ， H_2S 的转化率不变，原因是_____。

⑤在950℃~1150℃范围内(其他条件不变)， $\text{S}_2(\text{g})$ 的体积分数随温度升高发生变化，写出该变化规律并分析原因_____。

3. (2022·全国乙卷) 油气开采、石油化工、煤化工等行业废气普遍含有的硫化氢，需要回收处理并加以利用。回答下列问题：

(1) 已知下列反应的热化学方程式：

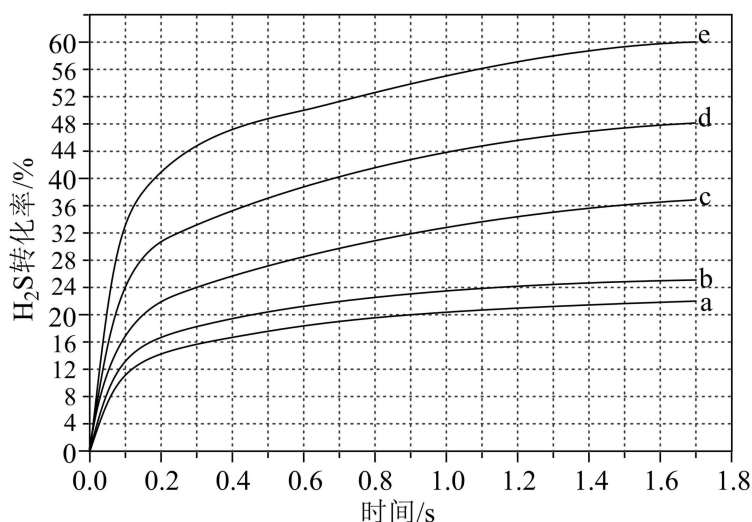


计算 H_2S 热分解反应④ $2\text{H}_2\text{S}(\text{g}) = \text{S}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ 的 $\Delta H_4 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 较普遍采用的 H_2S 处理方法是克劳斯工艺。即利用反应①和②生成单质硫。另一种方法是：利用反应④高温热分解 H_2S 。相比克劳斯工艺，高温热分解方法的优点是_____，缺点是_____。

(3) 在1470 K、100 kPa 反应条件下，将 $n(\text{H}_2\text{S}):n(\text{Ar})=1:4$ 的混合气进行 H_2S 热分解反应。平衡时混合气中 H_2S 与 H_2 的分压相等， H_2S 平衡转化率为_____，平衡常数 $K_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kPa}$ 。

(4) 在1373 K、100 kPa 反应条件下，对于 $n(\text{H}_2\text{S}):n(\text{Ar})$ 分别为4:1、1:1、1:4、1:9、1:19的 H_2S -Ar混合气，热分解反应过程中 H_2S 转化率随时间的变化如下图所示。



① $n(\text{H}_2\text{S}):n(\text{Ar})$ 越小, H_2S 平衡转化率_____, 理由是_____。

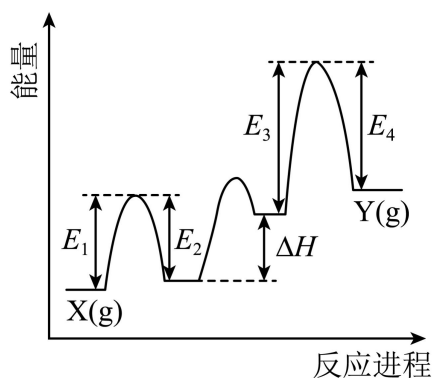
② $n(\text{H}_2\text{S}):n(\text{Ar})=1:9$ 对应图中曲线_____, 计算其在 $0-0.1\text{ s}$ 之间, H_2S 分压的平均变化率为_____ $\text{kPa} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

4. (2022·广东卷) 铬及其化合物在催化、金属防腐等方面具有重要应用。

(1) 催化剂 Cr_2O_3 可由 $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 加热分解制备, 反应同时生成无污染气体。

① 完成化学方程式: $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \xrightarrow{\Delta} \text{Cr}_2\text{O}_3 + \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}}$ 。

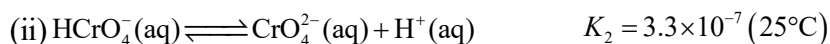
② Cr_2O_3 催化丙烷脱氢过程中, 部分反应历程如图, $\text{X}(\text{g}) \rightarrow \text{Y}(\text{g})$ 过程的焓变为_____ (列式表示)。



③ Cr_2O_3 可用于 NH_3 的催化氧化。设计从 NH_3 出发经过 3 步反应制备 HNO_3 的路线_____ (用“ $\rightarrow$ ”表示含氮物质间的转化); 其中一个有颜色变化的反应的化学方程式为_____。

(2) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液中存在多个平衡。本题条件下仅需考虑如下平衡:

(i) $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons 2\text{HCrO}_4^{-}(\text{aq}) \quad K_1 = 3.0 \times 10^{-2} (25^\circ\text{C})$



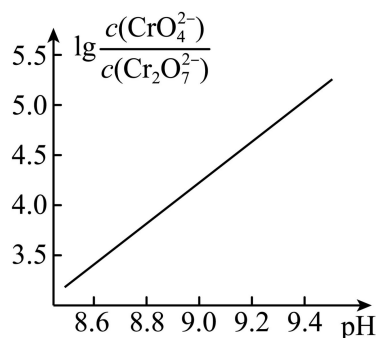
①下列有关 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液的说法正确的有_____。

- A. 加入少量硫酸，溶液的 pH 不变
- B. 加入少量水稀释，溶液中离子总数增加
- C. 加入少量 NaOH 溶液，反应(i)的平衡逆向移动
- D. 加入少量 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 固体，平衡时 $c^2(\text{HCrO}_4^-)$ 与 $c(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})$ 的比值保持不变

②25°C时， $0.10\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 溶液中 $\lg \frac{c(\text{CrO}_4^{2-})}{c(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})}$ 随 pH 的变化关系如图。当 pH = 9.00 时，设 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 、

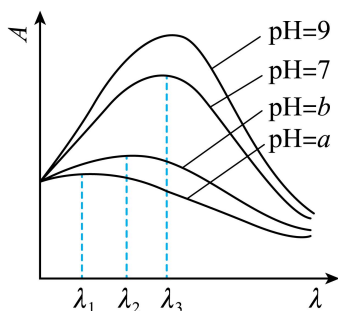
HCrO_4^- 与 CrO_4^{2-} 的平衡浓度分别为 x、y、 $z\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ，则 x、y、z 之间的关系式为_____ = 0.10；

计算溶液中 HCrO_4^- 的平衡浓度_____(写出计算过程，结果保留两位有效数字)。



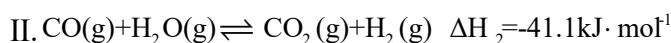
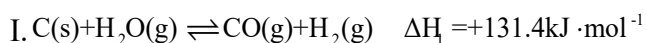
③在稀溶液中，一种物质对光的吸收程度(A)与其所吸收光的波长(λ)有关；在一定波长范围内，最大 A 对应的波长(λ_{max})取决于物质的结构特征；浓度越高，A 越大。混合溶液在某一波长的 A 是各组分吸收程度之和。为研究对反应(i)和(ii)平衡的影响，配制浓度相同、pH 不同的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 稀溶液，测得其 A 随 λ 的变化曲线如图，波长 λ_1 、 λ_2 和 λ_3 中，与 CrO_4^{2-} 的 λ_{max} 最接近的是_____；

溶液 pH 从 a 变到 b 的过程中， $\frac{c(\text{H}^+) \cdot c^2(\text{CrO}_4^{2-})}{c(\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-})}$ 的值_____ (填“增大”“减小”或“不变”)。



5. (2022·湖南卷) 2021 年我国制氢量位居世界第一, 煤的气化是一种重要的制氢途径。回答下列问题:

(1) 在一定温度下, 向体积固定的密闭容器中加入足量的 C(s) 和 $1\text{molH}_2\text{O(g)}$, 起始压强为 0.2MPa 时, 发生下列反应生成水煤气:

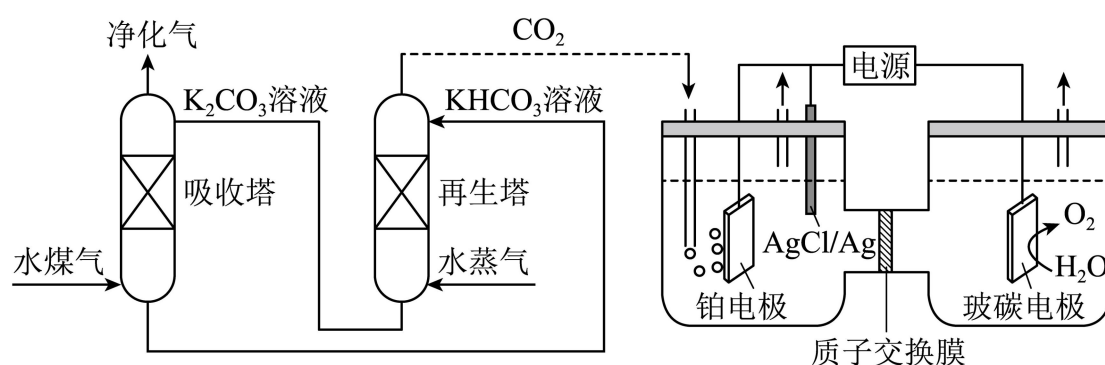


① 下列说法正确的是_____;

- A. 平衡时向容器中充入惰性气体, 反应I的平衡逆向移动
- B. 混合气体的密度保持不变时, 说明反应体系已达到平衡
- C. 平衡时 H_2 的体积分数可能大于 $\frac{2}{3}$
- D. 将炭块粉碎, 可加快反应速率

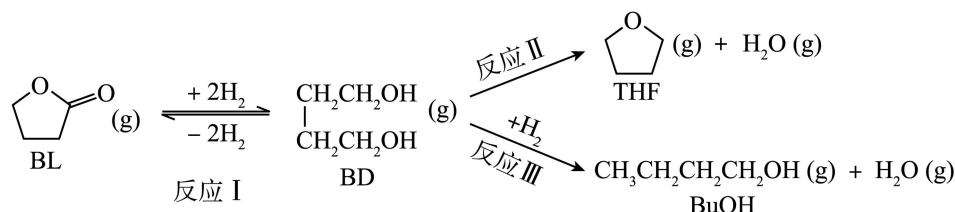
② 反应平衡时, $\text{H}_2\text{O(g)}$ 的转化率为 50% , CO 的物质的量为 0.1mol 。此时, 整个体系_____ (填“吸收”或“放出”) 热量_____ kJ , 反应I的平衡常数 $K_p = \underline{\hspace{2cm}}$ (以分压表示, 分压=总压 $\times$ 物质的量分数)。

(2) 一种脱除和利用水煤气中 CO_2 方法的示意图如下:



- ① 某温度下, 吸收塔中 K_2CO_3 溶液吸收一定量的 CO_2 后, $c(\text{CO}_3^{2-}):c(\text{HCO}_3^-) = 1:2$, 则该溶液的 $\text{pH} = \underline{\hspace{2cm}}$ (该温度下 H_2CO_3 的 $K_{a1} = 4.6 \times 10^{-7}$, $K_{a2} = 5.0 \times 10^{-11}$);
- ② 再生塔中产生 CO_2 的离子方程式为_____;
- ③ 利用电化学原理, 将 CO_2 电催化还原为 C_2H_4 , 阴极反应式为_____。

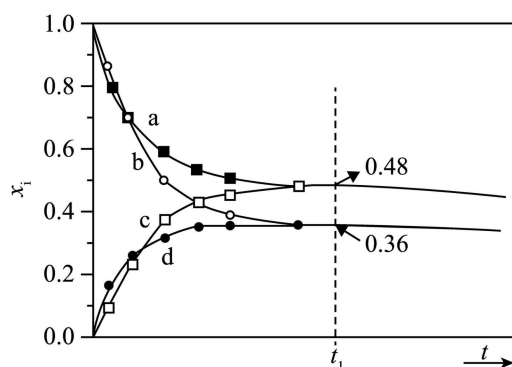
6. (2022·山东卷) 利用 γ -丁内酯(BL)制备1,4-丁二醇(BD), 反应过程中伴有生成四氢呋喃(THF)和1-丁醇(BuOH)的副反应, 涉及反应如下:



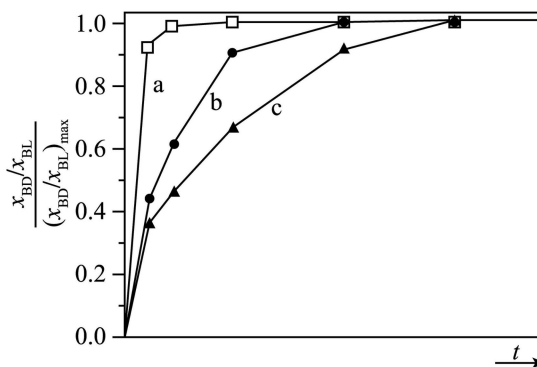
已知: ①反应I为快速平衡, 可认为不受慢反应II、III的影响; ②因反应I在高压 H_2 氛围下进行, 故 H_2 压强近似等于总压。回答下列问题:

(1) 以 $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol BL}$ 或BD为初始原料, 在 493 K 、 $3.0 \times 10^3 \text{ kPa}$ 的高压 H_2 氛围下, 分别在恒压容器中进行反应。达平衡时, 以BL为原料, 体系向环境放热 $X \text{ kJ}$; 以BD为原料, 体系从环境吸热 $Y \text{ kJ}$ 。忽略副反应热效应, 反应I焓变 $\Delta H(493 \text{ K}, 3.0 \times 10^3 \text{ kPa}) = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 初始条件同上。 x_i 表示某物种*i*的物质的量与除 H_2 外其它各物种总物质的量之比, x_{BL} 和 x_{BD} 随时间 t 变化关系如图甲所示。实验测得 $X < Y$, 则图中表示 x_{BL} 变化的曲线是_____。反应I平衡常数 $K_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kPa}^{-2}$ (保留两位有效数字)。以BL为原料时, t_1 时刻 $x_{\text{H}_2\text{O}} = \underline{\hspace{2cm}}$, BD产率=_____ (保留两位有效数字)。



图甲

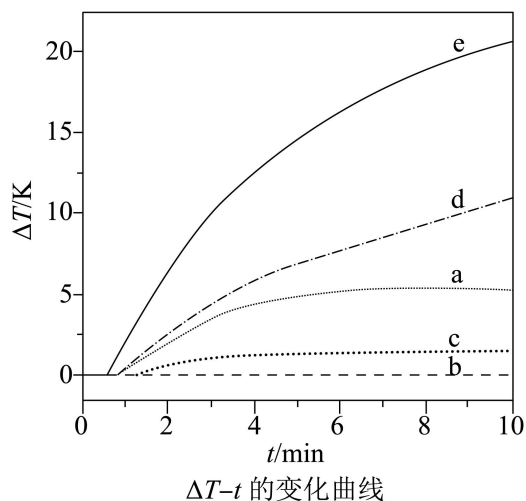


图乙

(3) $(x_{\text{BD}}/x_{\text{BL}})_{\text{max}}$ 为达平衡时 x_{BD} 与 x_{BL} 的比值。 $(493 \text{ K}, 2.5 \times 10^3 \text{ kPa})$ 、 $(493 \text{ K}, 3.5 \times 10^3 \text{ kPa})$ 、 $(513 \text{ K}, 2.5 \times 10^3 \text{ kPa})$ 三种条件下, 以 $5.0 \times 10^{-3} \text{ mol BL}$ 为初始原料, 在相同体积的刚性容器中进行反应, $\frac{x_{\text{BD}}/x_{\text{BL}}}{(x_{\text{BD}}/x_{\text{BL}})_{\text{max}}}$ 随时间 t 变化关系如图乙所示。因反应在高压 H_2 氛围下进行, 可忽略压强对反应速率的影响。曲线a、b、c中, $(x_{\text{BD}}/x_{\text{BL}})_{\text{max}}$ 最大的是_____ (填代号); 与曲线b相比, 曲线c达到 $\frac{x_{\text{BD}}/x_{\text{BL}}}{(x_{\text{BD}}/x_{\text{BL}})_{\text{max}}} = 1.0$ 所需时间更长, 原因是_____。

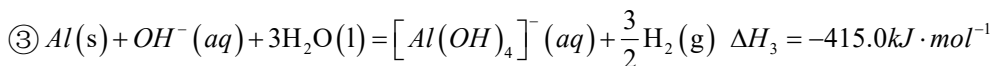
7. (2022·湖北卷) 自发热材料在生活中的应用日益广泛。某实验小组为探究“ $\text{CaO}-\text{Al}-\text{H}_2\text{O}$ ”体系的发热原理，在隔热装置中进行了下表中的五组实验，测得相应实验体系的温度升高值(ΔT)随时间(t)的变化曲线，如图所示。

实验编号	反应物组成
a	0.20g CaO 粉末 5.0mL H_2O
b	0.15g Al 粉 5.0mL H_2O
c	0.15g Al 粉 5.0mL 饱和石灰水
d	0.15g Al 粉 5.0mL 石灰乳
e	0.15g Al 粉 0.20g CaO 粉末 5.0mL H_2O



回答下列问题:

(1)已知:



则 $\text{CaO(s)} + 2\text{Al(s)} + 7\text{H}_2\text{O(l)} = \text{Ca}^{2+}(\text{aq}) + 2[\text{Al(OH)}_4]^{-}(\text{aq}) + 3\text{H}_2(\text{g})$ 的 $\Delta H_4 =$ _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2)温度为 T 时, $K_{sp}[\text{Ca(OH)}_2] = x$, 则 Ca(OH)_2 饱和溶液中 $c(\text{OH}^{-}) =$ _____ (用含 x 的代数式表示)。

(3)实验 a 中, 4 min 后 ΔT 基本不变, 原因是_____。

(4)实验 b 中, ΔT 的变化说明 Al 粉与 H_2O 在该条件下 _____ (填“反应”或“不反应”)。实验 c 中, 前 3 min 的 ΔT 有变化, 其原因是 _____; 3 min 后 ΔT 基本不变, 其原因是 _____ 微粒的量有限。

(5)下列说法不能解释实验 d 在 10 min 内温度持续升高的是 _____ (填标号)。A. 反应②的发生促使反应①平衡右移

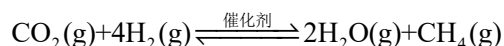
B. 反应③的发生促使反应②平衡右移

C. 气体的逸出促使反应③向右进行

D. 温度升高导致反应速率加快

(6)归纳以上实验结果, 根据实验 e 的特征, 用文字简述其发热原理_____。

8. (2022·海南卷) 某空间站的生命保障系统功能之一是实现氧循环, 其中涉及反应:



回答问题:

(1)已知: 电解液态水制备 $1 \text{mol O}_2(\text{g})$, 电解反应的 $\Delta H = +572 \text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。由此计算 $\text{H}_2(\text{g})$ 的燃烧热 (焓) $\Delta H =$ _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2)已知: $\text{CO}_2(\text{g}) + 4\text{H}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons{\text{催化剂}} 2\text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CH}_4(\text{g})$ 的平衡常数(K)与反应温度(t)之间的关系如图 1 所示。

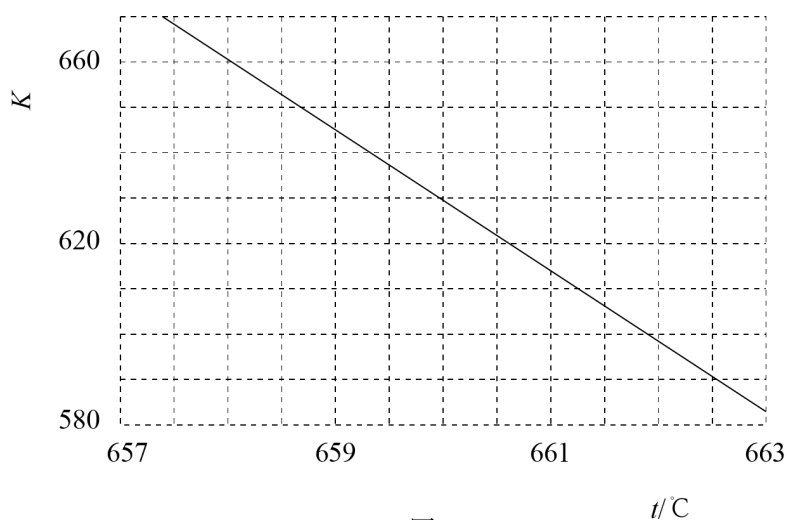


图1

①若反应为基元反应，且反应的 ΔH 与活化能(E_a)的关系为 $|\Delta H| > E_a$ 。补充完成该反应过程的能量变化示意图(图2)_____。

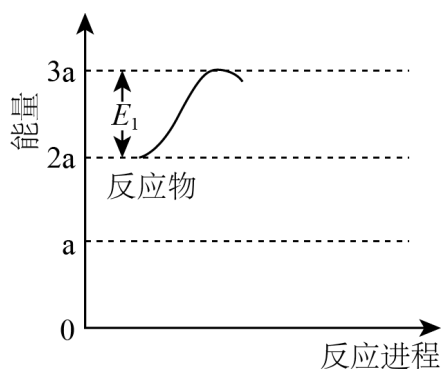


图2

②某研究小组模拟该反应，温度 t 下，向容积为10L的抽空的密闭容器中通入0.1mol CO_2 和0.4mol H_2 ，反应平衡后测得容器中 $n(\text{CH}_4)=0.05\text{mol}$ 。则 CO_2 的转化率为_____，反应温度 t 约为_____°C。

(3)在相同条件下， $\text{CO}_2(\text{g})$ 与 $\text{H}_2(\text{g})$ 还会发生不利于氧循环的副反应：

$\text{CO}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g}) \xrightleftharpoons{\text{催化剂}} \text{H}_2\text{O}(\text{g}) + \text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ ，在反应器中按 $n(\text{CO}_2):n(\text{H}_2)=1:4$ 通入反应物，在不同温度、不同催化剂条件下，反应进行到2min时，测得反应器中 CH_3OH 、 CH_4 浓度($\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)如下表所示。

催化剂	$t=350^\circ\text{C}$	$t=400^\circ\text{C}$

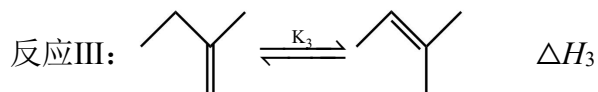
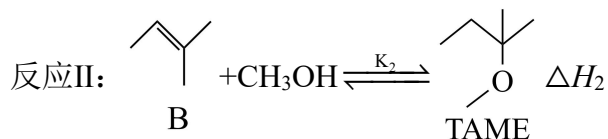
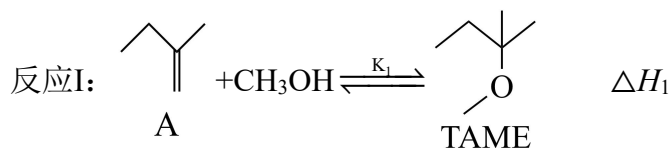
	$c(\text{CH}_3\text{OH})$	$c(\text{CH}_4)$	$c(\text{CH}_3\text{OH})$	$c(\text{CH}_4)$
催化剂I	10.8	12722	345.2	42780
催化剂II	9.2	10775	34	38932

在选择使用催化剂I和 350℃条件下反应，0~2min 生成 CH_3OH 的平均反应速率为

_____ $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ；若某空间站的生命保障系统实际选择使用催化剂II和 400℃的反应条件，原因是_____。

【2021 年】

1. （2021·山东卷）2-甲氧基-2-甲基丁烷(TAME)常用作汽油原添加剂。在催化剂作用下，可通过甲醇与烯烃的液相反应制得，体系中同时存在如图反应：

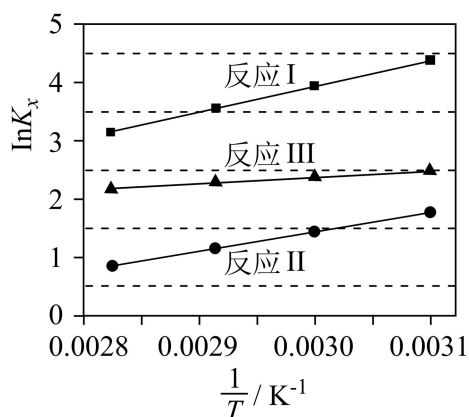


回答下列问题：

(1)反应I、II、III以物质的量分数表示的平衡常数 K_x 与温度 T 变化关系如图所示。据图判断，

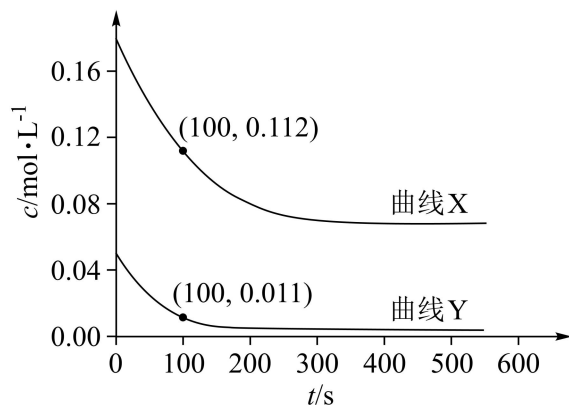
A 和 B 中相对稳定的是__(用系统命名法命名)； $\frac{\Delta H_1}{\Delta H_2}$ 的数值范围是__(填标号)。

A. <-1 B. -1~0 C. 0~1 D. >1



(2)为研究上述反应体系的平衡关系，向某反应容器中加入 1.0molTAME，控制温度为 353K，测得 TAME 的平衡转化率为 α 。已知反应III的平衡常数 $K_{x3}=9.0$ ，则平衡体系中 B 的物质的量为___mol，反应I的平衡常数 K_{x1} =___。同温同压下，再向该容器中注入惰性溶剂四氢呋喃稀释，反应I的化学平衡将__(填“正向移动”“逆向移动”或“不移动”)平衡时，A 与 CH_3OH 物质的量浓度之比 $c(\text{A}): c(\text{CH}_3\text{OH})$ =___。

(3)为研究反应体系的动力学行为，向盛有四氢呋喃的另一容器中加入一定量 A、B 和 CH_3OH 。控制温度为 353K，A、B 物质的量浓度 c 随反应时间 t 的变化如图所示。代表 B 的变化曲线为___(填“X”或“Y”)； $t=100\text{s}$ 时，反应III的正反应速率 $v_{\text{正}}$ ___逆反应速率 $v_{\text{逆}}$ (填“>”“<”或“=)。



2. (2021·浙江卷)含硫化合物是实验室和工业上的常用化学品。请回答：

(1)实验室可用铜与浓硫酸反应制备少量 SO_2 ：

$\text{Cu}(\text{s}) + 2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{l}) = \text{CuSO}_4(\text{s}) + \text{SO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) \quad \Delta H = -11.9\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。判断该反应的自发性并说明理由_____。

(2) 已知 $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -198 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。850K 时，在一恒容密闭反应器中充入一定量的 SO_2 和 O_2 ，当反应达到平衡后测得 SO_2 、 O_2 和 SO_3 的浓度分别为 $6.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $8.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 和 $4.4 \times 10^{-2} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

① 该温度下反应的平衡常数为_____。

② 平衡时 SO_2 的转化率为_____。

(3) 工业上主要采用接触法由含硫矿石制备硫酸。

① 下列说法正确的是_____。

- A. 须采用高温高压的反应条件使 SO_2 氧化为 SO_3
- B. 进入接触室之前的气流无需净化处理
- C. 通入过量的空气可以提高含硫矿石和 SO_2 的转化率
- D. 在吸收塔中宜采用水或稀硫酸吸收 SO_3 以提高吸收速率

② 接触室结构如图 1 所示，其中 1~4 表示催化剂层。图 2 所示进程中表示热交换过程的是_____。

- A. $a_1 \rightarrow b_1$ B. $b_1 \rightarrow a_2$ C. $a_2 \rightarrow b_2$ D. $b_2 \rightarrow a_3$ E. $a_3 \rightarrow b_3$ F. $b_3 \rightarrow a_4$ G. $a_4 \rightarrow b_4$

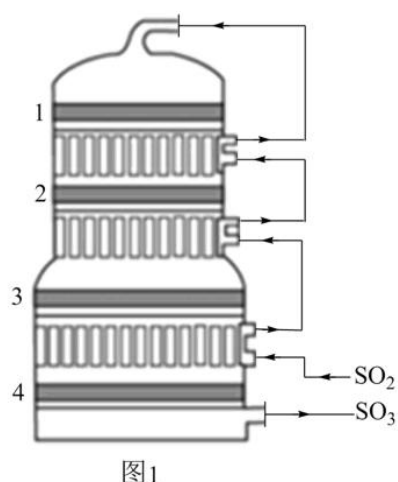


图1

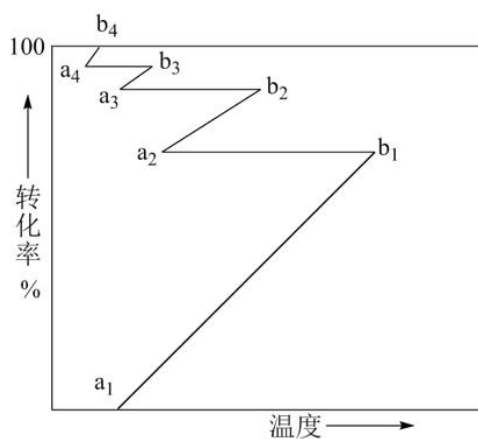


图2

③ 对于放热的可逆反应，某一给定转化率下，最大反应速率对应的温度称为最适宜温度。在图 3 中画出反应 $2\text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{SO}_3(\text{g})$ 的转化率与最适宜温度(曲线I)、平衡转化率与温度(曲线II)的关系曲线示意图(标明曲线I、II)_____。

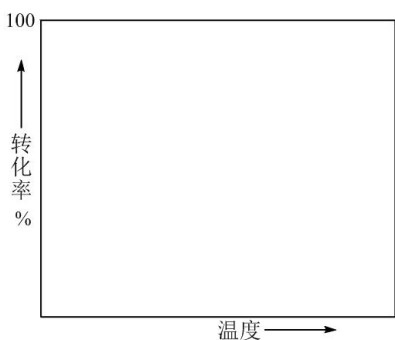


图3

(4)一定条件下，在 $\text{Na}_2\text{S}-\text{H}_2\text{SO}_4-\text{H}_2\text{O}_2$ 溶液体系中，检测得到 pH-时间振荡曲线如图 4，同时观察到体系由澄清→浑浊→澄清的周期性变化。可用一组离子方程式表示每一个周期内的反应进程，请补充其中的 2 个离子方程式。

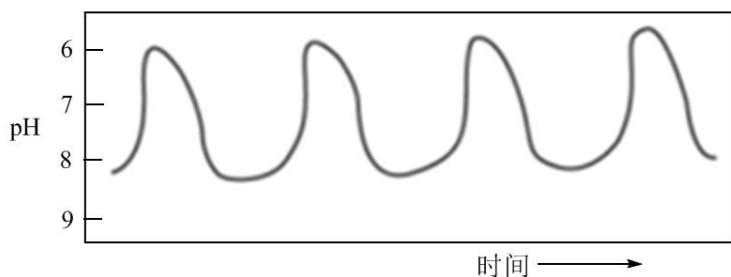
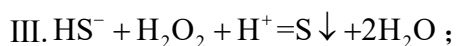
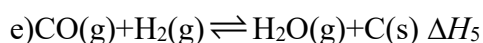
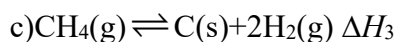
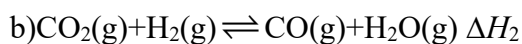
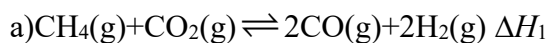


图 4



3. (2021·广东卷)我国力争于 2030 年前做到碳达峰，2060 年前实现碳中和。 CH_4 与 CO_2 重整是 CO_2 利用的研究热点之一。该重整反应体系主要涉及以下反应：



(1)根据盖斯定律，反应 a 的 $\Delta H_1 =$ _____ (写出一个代数式即可)。

(2)上述反应体系在一定条件下建立平衡后，下列说法正确的有_____。

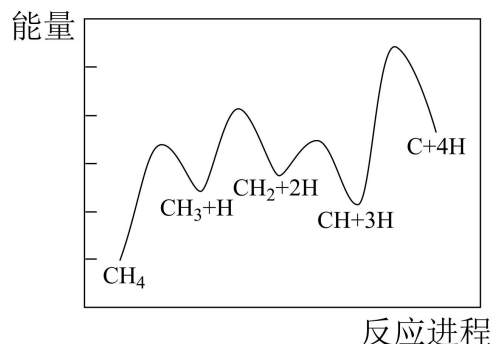
A. 增大 CO_2 与 CH_4 的浓度, 反应 a、b、c 的正反应速率都增加

B. 移去部分 C(s) , 反应 c、d、e 的平衡均向右移动

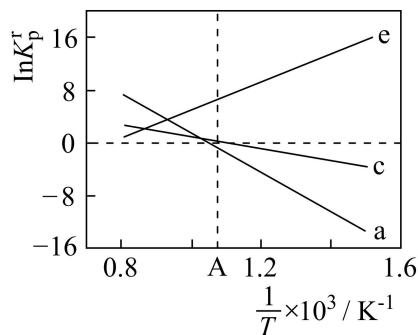
C. 加入反应 a 的催化剂, 可提高 CH_4 的平衡转化率

D. 降低反应温度, 反应 a~e 的正、逆反应速率都减小

(3) 一定条件下, CH_4 分解形成碳的反应历程如图所示。该历程分_____步进行, 其中, 第_____步的正反应活化能最大。



(4) 设 K_p^r 为相对压力平衡常数, 其表达式写法: 在浓度平衡常数表达式中, 用相对分压代替浓度。气体的相对分压等于其分压 (单位为 kPa) 除以 p_0 ($p_0=100\text{kPa}$)。反应 a、c、e 的 $\ln K_p^r$ 随 $\frac{1}{T}$ (温度的倒数) 的变化如图所示。



① 反应 a、c、e 中, 属于吸热反应的有_____ (填字母)。

② 反应 c 的相对压力平衡常数表达式为 $K_p^r = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

③ 在图中 A 点对应温度下、原料组成为 $n(\text{CO}_2):n(\text{CH}_4)=1:1$ 、初始总压为 100kPa 的恒容密闭容器中进行反应, 体系达到平衡时 H_2 的分压为 40kPa 。计算 CH_4 的平衡转化率, 写出计算过程_____。

(5) CO_2 用途广泛, 写出基于其物理性质的一种用途: _____。

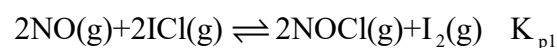
4. (2021·全国乙卷) 一氯化碘(ICl)是一种卤素互化物, 具有强氧化性, 可与金属直接反应, 也可用作有机合成中的碘化剂。回答下列问题:

(1) 历史上海藻提碘中得到一种红棕色液体, 由于性质相似, Liebig 误认为是 ICl, 从而错过了一种新元素的发现, 该元素是_____。

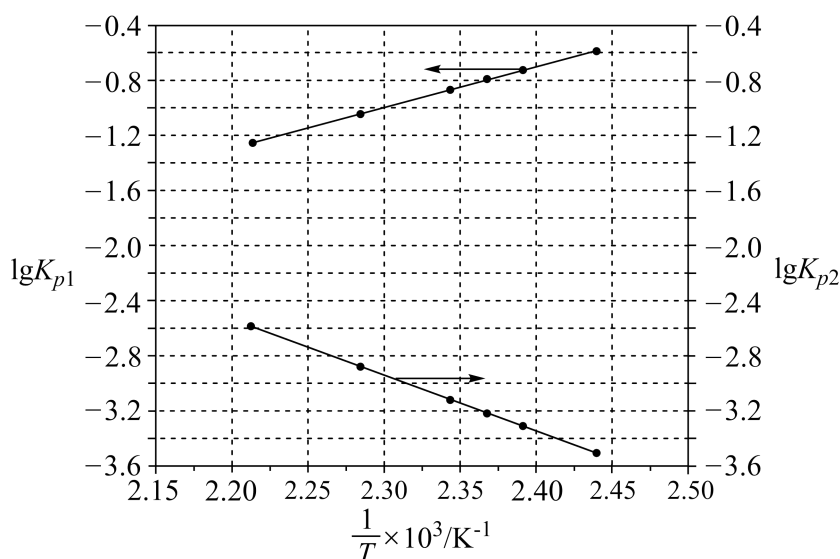
(2) 氯铂酸钡(BaPtCl_6)固体加热时部分分解为 BaCl_2 、Pt 和 Cl_2 , 376.8°C 时平衡常数

$K'_p = 1.0 \times 10^4 \text{ Pa}^2$, 在一硬质玻璃烧瓶中加入过量 BaPtCl_6 , 抽真空后, 通过一支管通入碘蒸气 (然后将支管封闭), 在 376.8°C , 碘蒸气初始压强为 20.0 kPa 。 376.8°C 平衡时, 测得烧瓶中压强为 32.5 kPa , 则 $p_{\text{ICl}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kPa}$, 反应 $2\text{ICl}(\text{g}) = \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$ 的平衡常数 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ (列出计算式即可)。

(3) McMorris 测定和计算了在 $136 \sim 180^\circ\text{C}$ 范围内下列反应的平衡常数 K_p 。



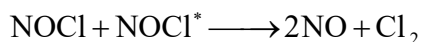
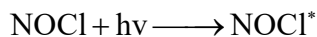
得到 $\lg K_{p1} \sim \frac{1}{T}$ 和 $\lg K_{p2} \sim \frac{1}{T}$ 均为线性关系, 如下图所示:



① 由图可知, NOCl 分解为 NO 和 Cl_2 反应的 ΔH _____ 0 (填“大于”或“小于”)

② 反应 $2\text{ICl}(\text{g}) = \text{Cl}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$ 的 $K = \underline{\hspace{2cm}}$ (用 K_{p1} 、 K_{p2} 表示): 该反应的 ΔH _____ 0 (填“大于”或“小于”), 写出推理过程_____。

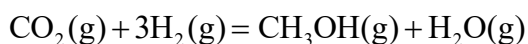
(4) Kistiakowsky 曾研究了 NOCl 光化学分解反应, 在一定频率(ν)光的照射下机理为:



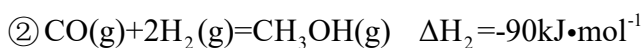
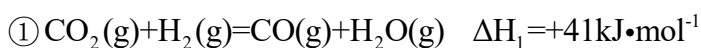
其中 $h\nu$ 表示一个光子能量， NOCl^* 表示 NOCl 的激发态。可知，分解 1mol 的 NOCl 需要吸收 _____ mol 光子。

5. (2021·全国甲卷) 二氧化碳催化加氢制甲醇，有利于减少温室气体二氧化碳。回答下列问题：

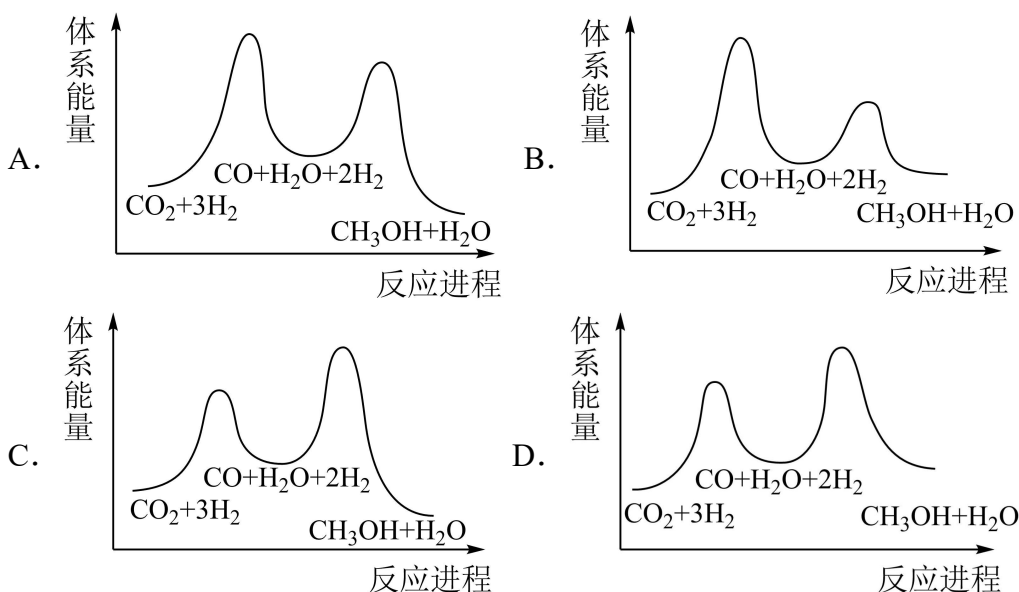
(1) 二氧化碳加氢制甲醇的总反应可表示为：



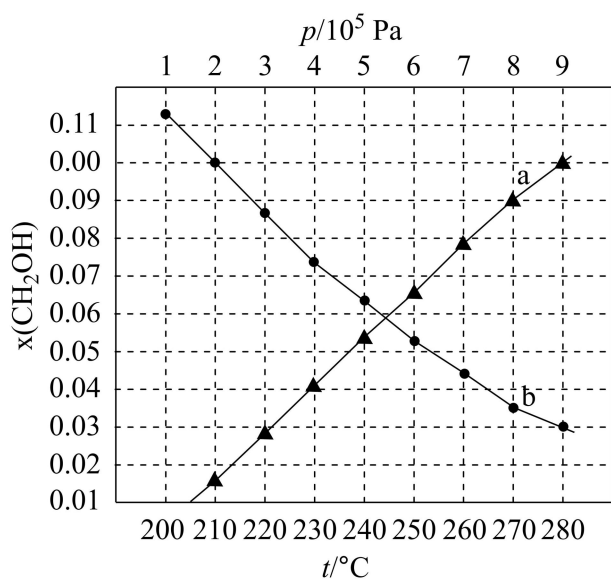
该反应一般认为通过如下步骤来实现：



总反应的 $\Delta H =$ _____ $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ；若反应①为慢反应，下列示意图中能体现上述反应能量变化的是 _____ (填标号)，判断的理由是 _____。



(2) 合成总反应在起始物 $n(\text{H}_2)/n(\text{CO}_2)=3$ 时，在不同条件下达到平衡，设体系中甲醇的物质的量分数为 $x(\text{CH}_3\text{OH})$ ，在 $t=250^\circ\text{C}$ 下的 $x(\text{CH}_3\text{OH})\sim p$ 、在 $p=5\times 10^5\text{Pa}$ 下的 $x(\text{CH}_3\text{OH})\sim t$ 如图所示。



①用各物质的平衡分压表示总反应的平衡常数，表达式 $K_p =$ _____；

②图中对应等压过程的曲线是_____，判断的理由是_____；

③当 $x(\text{CH}_3\text{OH}) = 0.10$ 时， CO_2 的平衡转化率 $\alpha =$ _____，反应条件可能为____或_____。

6. (2021·河北卷) 当今，世界多国相继规划了碳达峰、碳中和的时间节点。因此，研发二氧化碳利用技术，降低空气中二氧化碳含量成为研究热点。

(1) 大气中的二氧化碳主要来自于煤、石油及其他含碳化合物的燃烧。已知 25°C 时，相关物质的燃烧热数据如表：

物质	$\text{H}_2(\text{g})$	$\text{C}(\text{石墨}, \text{s})$	$\text{C}_6\text{H}_6(\text{l})$
燃烧热 $\Delta H(\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	-285.8	-393.5	-3267.5

(1) 则 25°C 时 $\text{H}_2(\text{g})$ 和 $\text{C}(\text{石墨}, \text{s})$ 生成 $\text{C}_6\text{H}_6(\text{l})$ 的热化学方程式为_____。

(2) 雨水中含有来自大气的 CO_2 ，溶于水中的 CO_2 进一步和水反应，发生电离：

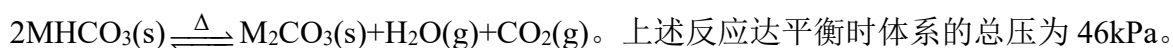
① $\text{CO}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{aq})$

② $\text{CO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{H}^+(\text{aq}) + \text{HCO}_3^-(\text{aq})$

25°C 时，反应②的平衡常数为 K_2 。

溶液中 CO_2 的浓度与其在空气中的分压成正比(分压=总压×物质的量分数)，比例系数为 $y \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{kPa}^{-1}$ ，当大气压强为 $p \text{ kPa}$ ，大气中 $\text{CO}_2(\text{g})$ 的物质的量分数为 x 时，溶液中 H^+ 浓度为 _____ $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (写出表达式，考虑水的电离，忽略 HCO_3^- 的电离)

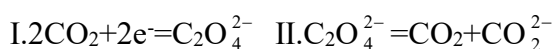
(3)105°C时，将足量的某碳酸氢盐(MHCO₃)固体置于真空恒容容器中，存在如下平衡：



保持温度不变，开始时在体系中先通入一定量的 CO₂(g)，再加入足量 MHCO₃(s)，欲使平衡时体系中水蒸气的分压小于 5kPa，CO₂(g)的初始压强应大于_____ kPa。

(4)我国科学家研究 Li—CO₂ 电池，取得了重大科研成果，回答下列问题：

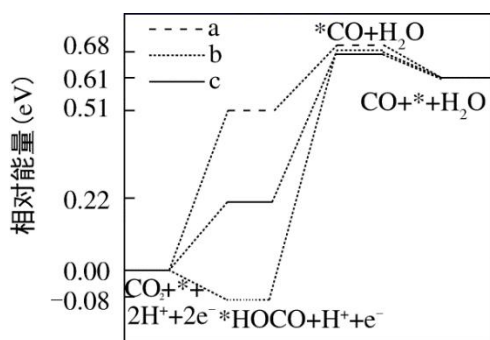
①Li—CO₂ 电池中，Li 为单质锂片，则该电池中的 CO₂ 在___(填“正”或“负”)极发生电化学反应。研究表明，该电池反应产物为碳酸锂和单质碳，且 CO₂ 电还原后与锂离子结合形成碳酸锂按以下 4 个步骤进行，写出步骤Ⅲ的离子方程式。



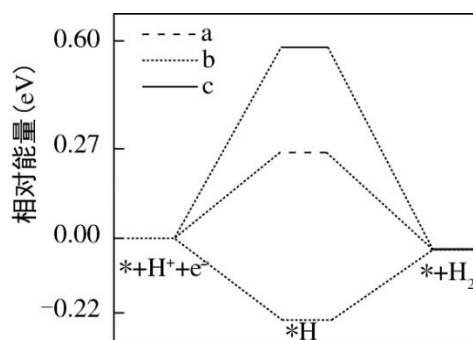
②研究表明，在电解质水溶液中，CO₂ 气体可被电化学还原。

I.CO₂ 在碱性介质中电还原为正丙醇(CH₃CH₂CH₂OH)的电极反应方程式为_____。

II.在电解质水溶液中，三种不同催化剂(a、b、c)上 CO₂ 电还原为 CO 的反应进程中(H⁺被还原为 H₂的反应可同时发生)，相对能量变化如图.由此判断，CO₂ 电还原为 CO 从易到难的顺序为_____ (用 a、b、c 字母排序)。



(a) CO₂电还原为CO



(b) H⁺电还原为H₂

7. (2021·湖南卷)氨气中氢含量高，是一种优良的小分子储氢载体，且安全、易储运，可通过下面两种方法由氨气得到氢气。

方法 I：氨热分解法制氢气

相关化学键的键能数据

化学键	N≡N	H—H	N—H
-----	-----	-----	-----

键能 $E/(\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	946	436.0	390.8
--	-----	-------	-------

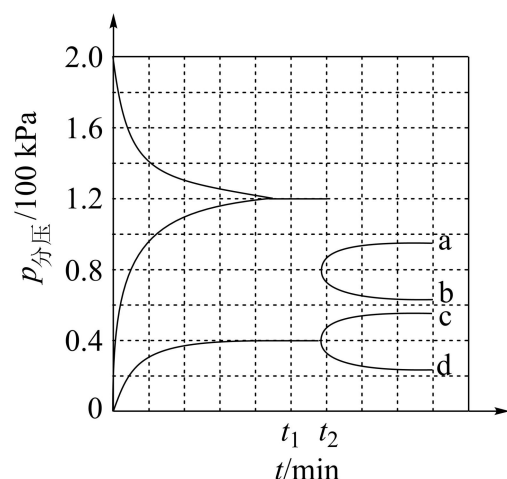
一定温度下，利用催化剂将 NH_3 分解为 N_2 和 H_2 。回答下列问题：

(1) 反应 $2\text{NH}_3(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + 3\text{H}_2(\text{g})$ $\Delta H =$ _____ $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ ；

(2) 已知该反应的 $\Delta S = 198.9 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ，在下列哪些温度下反应能自发进行？ _____ (填标号)

A. 25°C B. 125°C C. 225°C D. 325°C

(3) 某兴趣小组对该反应进行了实验探究。在一定温度和催化剂的条件下，将 0.1 mol NH_3 通入 3 L 的密闭容器中进行反应(此时容器内总压为 200 kPa)，各物质的分压随时间的变化曲线如图所示。



① 若保持容器体积不变， t_1 时反应达到平衡，用 H_2 的浓度变化表示 $0 \sim t_1$ 时间内的反应速率

$v(\text{H}_2) =$ _____ $\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (用含 t_1 的代数式表示)

② t_2 时将容器体积迅速缩小至原来的一半并保持不变，图中能正确表示压缩后 N_2 分压变化趋势的曲线是 _____ (用图中 a、b、c、d 表示)，理由是 _____；

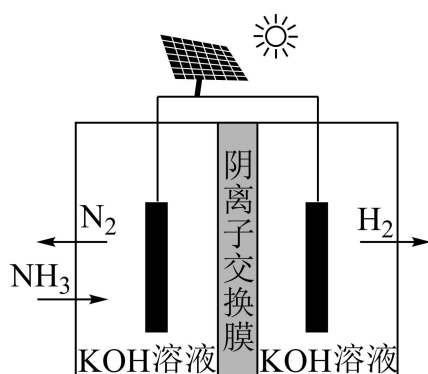
③ 在该温度下，反应的标准平衡常数 $K^\ominus =$ _____。(已知：分压 = 总压 $\times$ 该组分物质的量分数，

对于反应 $d\text{D}(\text{g}) + e\text{E}(\text{g}) \rightleftharpoons g\text{G}(\text{g}) + h\text{H}(\text{g})$ ， $K^\ominus = \frac{\left(\frac{p_{\text{G}}}{p^\ominus}\right)^g \cdot \left(\frac{p_{\text{H}}}{p^\ominus}\right)^h}{\left(\frac{p_{\text{D}}}{p^\ominus}\right)^d \cdot \left(\frac{p_{\text{E}}}{p^\ominus}\right)^e}$ ，其中 $p^\ominus = 100 \text{ kPa}$ ， p_{G} 、 p_{H} 、

p_{D} 、 p_{E} 为各组分的平衡分压)。

方法II：氨电解法制氢气

利用电解原理，将氨转化为高纯氢气，其装置如图所示。



(4) 电解过程中 OH^- 的移动方向为_____ (填“从左往右”或“从右往左”);

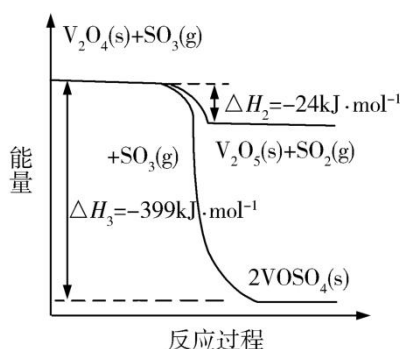
(5) 阳极的电极反应式为_____。

KOH 溶液 KOH 溶液

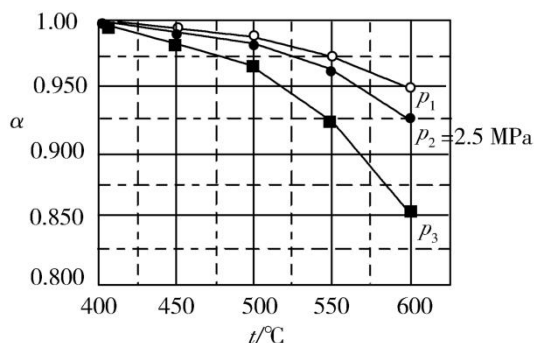
【2020 年】

1. (2020·新课标I) 硫酸是一种重要的基本化工产品，接触法制硫酸生产中的关键工序是 SO_2 的催化氧化： $\text{SO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2} \text{O}_2(\text{g}) \xrightarrow{\text{钒催化剂}} \text{SO}_3(\text{g}) \quad \Delta H = -98 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。回答下列问题：

(1) 钒催化剂参与反应的能量变化如图所示， $\text{V}_2\text{O}_5(\text{s})$ 与 $\text{SO}_2(\text{g})$ 反应生成 $\text{VOSO}_4(\text{s})$ 和 $\text{V}_2\text{O}_4(\text{s})$ 的热化学方程式为：_____。

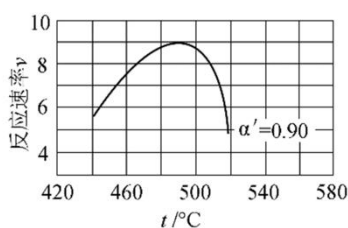


(2) 当 $\text{SO}_2(\text{g})$ 、 $\text{O}_2(\text{g})$ 和 $\text{N}_2(\text{g})$ 起始的物质的量分数分别为 7.5%、10.5% 和 82% 时，在 0.5MPa、2.5MPa 和 5.0MPa 压强下， SO_2 平衡转化率 α 随温度的变化如图所示。反应在 5.0MPa、550°C 时的 $\alpha =$ _____，判断的依据是_____。影响 α 的因素有 _____。



(3) 将组成(物质的量分数)为 $2m\%$ $\text{SO}_2(\text{g})$ 、 $m\%$ $\text{O}_2(\text{g})$ 和 $q\%$ $\text{N}_2(\text{g})$ 的气体通入反应器，在温度 t 、压强 p 条件下进行反应。平衡时，若 SO_2 转化率为 α ，则 SO_3 压强为_____，平衡常数 K_p =_____(以分压表示，分压=总压×物质的量分数)。

(4) 研究表明， SO_2 催化氧化的反应速率方程为： $v=k(\frac{\alpha}{\alpha'}-1)^{0.8}(1-n\alpha')$ 。式中： k 为反应速率常数，随温度 t 升高而增大； α 为 SO_2 平衡转化率， α' 为某时刻 SO_2 转化率， n 为常数。在 $\alpha'=0.90$ 时，将一系列温度下的 k 、 α 值代入上述速率方程，得到 $v\sim t$ 曲线，如图所示。



曲线上 v 最大值所对应温度称为该 α' 下反应的最适宜温度 t_m 。 $t < t_m$ 时， v 逐渐提高； $t > t_m$ 后， v 逐渐下降。原因是_____。

2. (2020·新课标II) 天然气的主要成分为 CH_4 ，一般还含有 C_2H_6 等烃类，是重要的燃料和化工原料。

(1) 乙烷在一定条件可发生如下反应： $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})=\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})+\text{H}_2(\text{g}) \Delta H$ ，相关物质的燃烧热数据如下表所示：

物质	$\text{C}_2\text{H}_6(\text{g})$	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$	$\text{H}_2(\text{g})$
燃烧热 $\Delta H/(\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1})$	-1560	-1411	-286

① ΔH =_____ $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

② 提高该反应平衡转化率的方法有_____、_____。

③ 容器中通入等物质的量的乙烷和氢气，在等压下(p)发生上述反应，乙烷的平衡转化率为 α 。

反应的平衡常数 K_p =_____(用平衡分压代替平衡浓度计算，分压=总压×物质的量分数)。

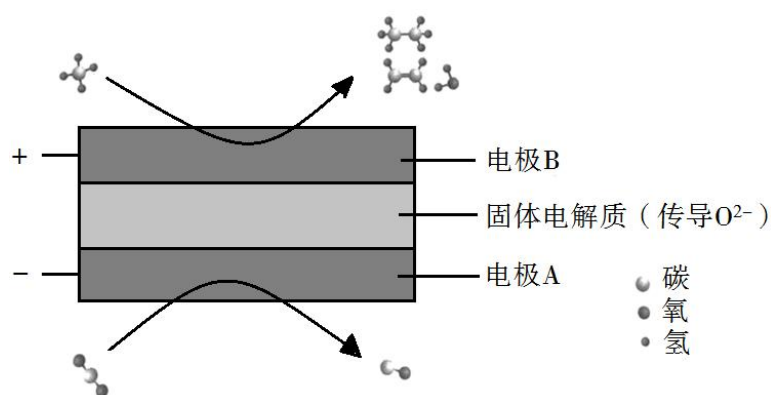
(2) 高温下, 甲烷生成乙烷的反应如下: $2\text{CH}_4 \xrightarrow{\text{高温}} \text{C}_2\text{H}_6 + \text{H}_2$ 。反应在初期阶段的速率方程为: $r = k \times c_{\text{CH}_4}$, 其中 k 为反应速率常数。

① 设反应开始时的反应速率为 r_1 , 甲烷的转化率为 α 时的反应速率为 r_2 , 则 $r_2 = \underline{\hspace{2cm}} r_1$ 。

② 对于处于初期阶段的该反应, 下列说法正确的是 。

- A. 增加甲烷浓度, r 增大 B. 增加 H_2 浓度, r 增大
C. 乙烷的生成速率逐渐增大 D. 降低反应温度, k 减小

(3) CH_4 和 CO_2 都是比较稳定的分子, 科学家利用电化学装置实现两种分子的耦合转化, 其原理如下图所示:



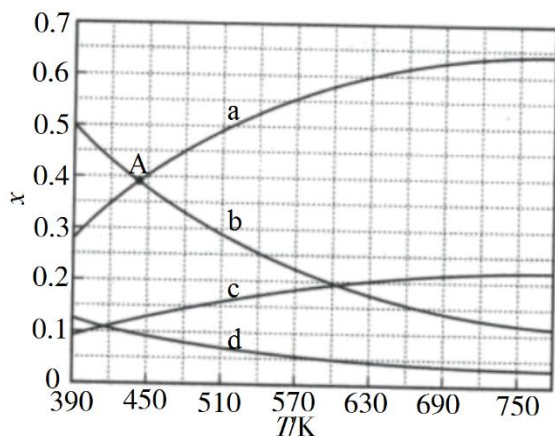
① 阴极上的反应式为 。

② 若生成的乙烯和乙烷的体积比为 2 : 1, 则消耗的 CH_4 和 CO_2 体积比为 。

3. (2020·新课标III) 二氧化碳催化加氢合成乙烯是综合利用 CO_2 的热点研究领域。回答下列问题:

(1) CO_2 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 C_2H_4 、 CO_2 变化的曲线分别是_____、_____。 CO_2 催化加氢合成 C_2H_4 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 =_____ $(\text{MPa})^{-3}$ (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 C_3H_6 、 C_3H_8 、 C_4H_8 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_____。

4. (2020·江苏卷) CO_2/HCOOH 循环在氢能的贮存/释放、燃料电池等方面具有重要应用。

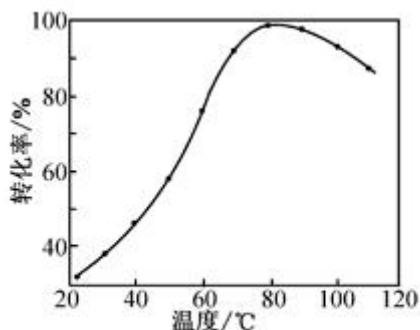


图-1

(1) CO_2 催化加氢。在密闭容器中，向含有催化剂的 KHCO_3 溶液(CO_2 与 KOH 溶液反应制得)中通入 H_2 生成 HCOO^- ，其离子方程式为_____；其他条件不变， HCO_3^- 转化为 HCOO^- 的转化率随温度的变化如图-1 所示。反应温度在 40°C ~ 80°C 范围内， HCO_3^- 催化加氢的转化率迅速上升，其主要原因是_____。

(2) HCOOH 燃料电池。研究 HCOOH 燃料电池性能的装置如图-2 所示，两电极区间用允许 K^+ 、 H^+ 通过的半透膜隔开。

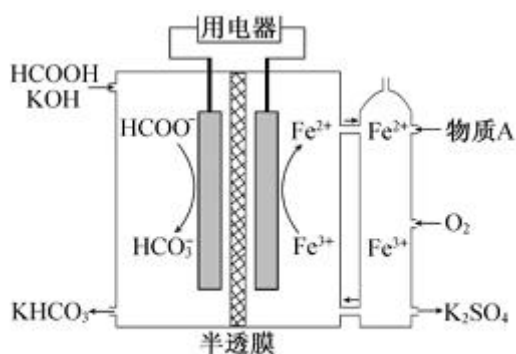


图-2

①电池负极电极反应式为_____；放电过程中需补充的物质 A 为_____ (填化学式)。

②图-2 所示的 HCOOH 燃料电池放电的本质是通过 HCOOH 与 O₂ 的反应，将化学能转化为电能，其反应的离子方程式为_____。

(3) HCOOH 催化释氢。在催化剂作用下，HCOOH 分解生成 CO₂ 和 H₂ 可能的反应机理如图-3 所示。

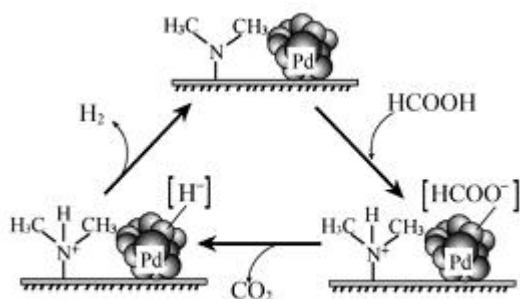
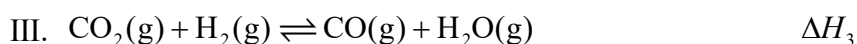
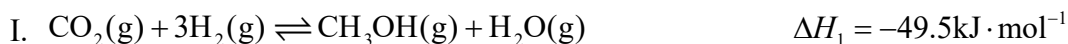


图-3

①HCOOH 催化释氢反应除生成 CO₂ 外，还生成_____ (填化学式)。

②研究发现：其他条件不变时，以 HCOOK 溶液代替 HCOOH 催化释氢的效果更佳，其具体优点是_____。

5. (2020·山东卷) 探究 CH₃OH 合成反应化学平衡的影响因素，有利于提高 CH₃OH 的产率。以 CO₂、H₂ 为原料合成 CH₃OH 涉及的主要反应如下：

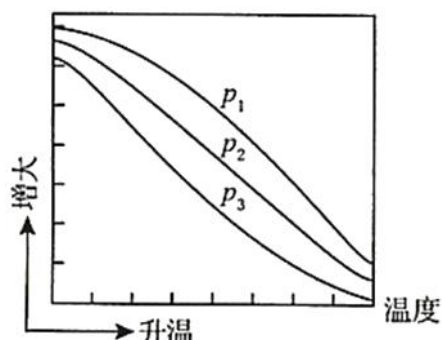


回答下列问题：

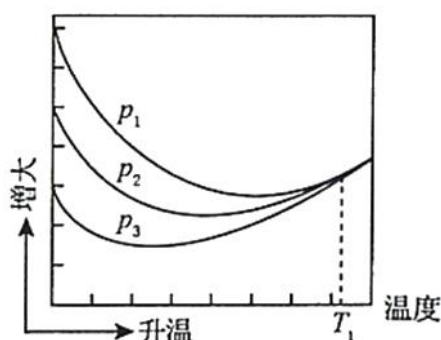
(1) $\Delta H_3 =$ _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(2) 一定条件下, 向体积为 $V\text{L}$ 的恒容密闭容器中通入 1 mol CO_2 和 3 mol H_2 发生上述反应, 达到平衡时, 容器中 $\text{CH}_3\text{OH}(\text{g})$ 为 $a\text{ mol}$, CO 为 $b\text{ mol}$, 此时 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的浓度为 _____ $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (用含 a 、 b 、 V 的代数式表示, 下同), 反应 III 的平衡常数为 _____。

(3) 不同压强下, 按照 $n(\text{CO}_2): n(\text{H}_2)=1: 3$ 投料, 实验测定 CO_2 的平衡转化率和 CH_3OH 的平衡产率随温度的变化关系如下图所示。



图甲



图乙

已知: CO_2 的平衡转化率 = $\frac{n(\text{CO}_2)_{\text{初始}} - n(\text{CO}_2)_{\text{平衡}}}{n(\text{CO}_2)_{\text{初始}}} \times 100\%$

CH_3OH 的平衡产率 = $\frac{n(\text{CH}_3\text{OH})_{\text{平衡}}}{n(\text{CO}_2)_{\text{初始}}} \times 100\%$

其中纵坐标表示 CO_2 平衡转化率的是图 _____ (填“甲”或“乙”); 压强 p_1 、 p_2 、 p_3 由大到小的顺序为 _____; 图乙中 T_1 温度时, 三条曲线几乎交于一点的原因是 _____。

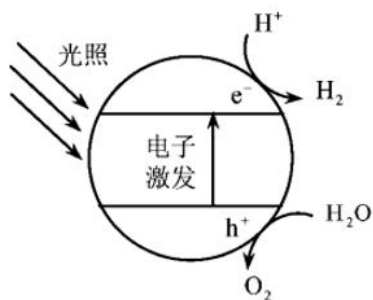
(4) 为同时提高 CO_2 的平衡转化率和 CH_3OH 的平衡产率, 应选择反应条件为 _____ (填标号)。

A. 低温、高压 B. 高温、低压 C. 低温、低压 D. 高温、高压

6. (2020·天津卷) 利用太阳能光解水, 制备的 H_2 用于还原 CO_2 合成有机物, 可实现资源的再利用。回答下列问题:

I. 半导体光催化剂浸入水或电解质溶液中, 光照时可在其表面得到产物

(1) 下图为该催化剂在水中发生光催化反应的原理示意图。光解水能量转化形式为 _____。



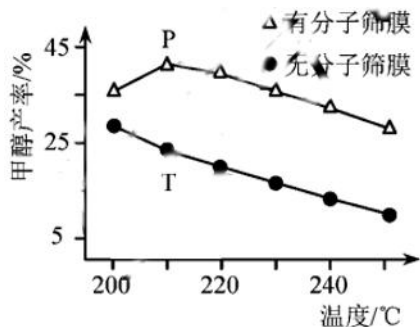
(2) 若将该催化剂置于 Na_2SO_3 溶液中，产物之一为 SO_4^{2-} ，另一产物为_____。若将该催化剂置于 AgNO_3 溶液中，产物之一为 O_2 ，写出生成另一产物的离子反应式_____。

II. 用 H_2 还原 CO_2 可以在一定条件下合成 CH_3OH (不考虑副反应):



(3) 某温度下，恒容密闭容器中， CO_2 和 H_2 的起始浓度分别为 $a \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 和 $3a \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ，反应平衡时， CH_3OH 的产率为 b ，该温度下反应平衡常数的值为_____。

(4) 恒压下， CO_2 和 H_2 的起始物质的量比为 1:3 时，该反应在无分子筛膜时甲醇的平衡产率和有分子筛膜时甲醇的产率随温度的变化如图所示，其中分子筛膜能选择性分离出 H_2O 。



① 甲醇平衡产率随温度升高而降低的原因为_____。

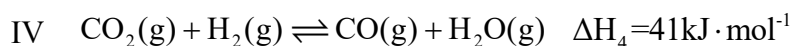
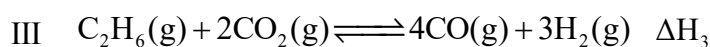
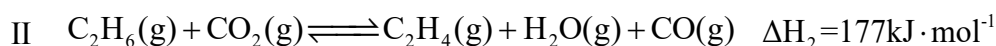
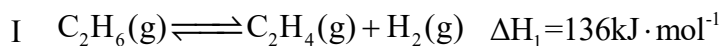
② P 点甲醇产率高于 T 点的原因_____。

③ 根据上图，在此条件下采用该分子筛膜时的最佳反应温度为_____°C。

III. 调节溶液 pH 可实现工业废气 CO_2 的捕获和释放

(5) CO_3^{2-} 的空间构型为_____。已知 25°C 碳酸电离常数为 K_{a1} 、 K_{a2} ，当溶液 pH=12 时， $c(\text{H}_2\text{CO}_3):c(\text{HCO}_3^-):c(\text{CO}_3^{2-})=1:$ _____: _____。

7. (2020·浙江卷) 研究 CO_2 氧化 C_2H_6 制 C_2H_4 对资源综合利用有重要意义。相关的主要化学反应有:



已知：298K 时，相关物质的相对能量(如图 1)。

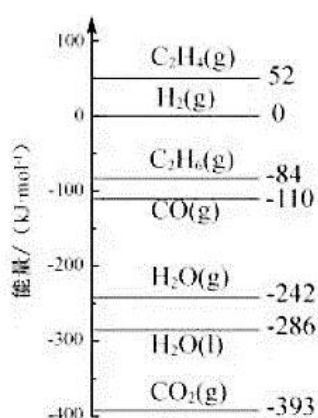
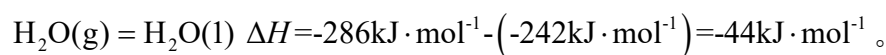


图 1

可根据相关物质的相对能量计算反应或变化的 ΔH (ΔH 随温度变化可忽略)。例如：



请回答：

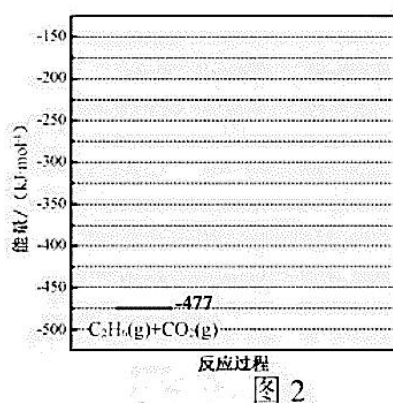
(1) ①根据相关物质的相对能量计算 $\Delta H_3 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

②下列描述正确的是_____

- A 升高温度反应I的平衡常数增大
- B 加压有利于反应I、II的平衡正向移动
- C 反应III有助于乙烷脱氢，有利于乙烯生成
- D 恒温恒压下通水蒸气，反应IV的平衡逆向移动

③有研究表明，在催化剂存在下，反应II分两步进行，过程如下：

【 $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 】 $\rightarrow$ 【 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{H}_2(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 】 $\rightarrow$ 【 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{CO}(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 】，且第二步速率较慢(反应活化能为 $210 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)。根据相关物质的相对能量，画出反应II分两步进行的“能量-反应过程图”，起点从【 $\text{C}_2\text{H}_6(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 】的能量 $-477 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，开始(如图 2)_____。



(2) ① CO_2 和 C_2H_6 按物质的量 1:1 投料，在 923K 和保持总压恒定的条件下，研究催化剂 X 对“ CO_2 氧化 C_2H_6 制 C_2H_4 ”的影响，所得实验数据如下表：

催化剂	转化率 C_2H_6 / %	转化率 CO_2 / %	产率 C_2H_4 / %
催化剂 X	19.0	37.6	3.3

结合具体反应分析，在催化剂 X 作用下， CO_2 氧化 C_2H_6 的主要产物是 _____，判断依据是 _____。

②采用选择性膜技术(可选择性地让某气体通过而离开体系)可提高 C_2H_4 的选择性(生成 C_2H_4 的物质的量与消耗 C_2H_6 的物质的量之比)。在 773K，乙烷平衡转化率为 9.1%，保持温度和其他实验条件不变，采用选择性膜技术，乙烷转化率可提高到 11.0%。结合具体反应说明乙烷转化率增大的原因是 _____。

【2019 年】

1. [2019·新课标I]水煤气变换 $[\text{CO}(\text{g})+\text{H}_2\text{O}(\text{g})=\text{CO}_2(\text{g})+\text{H}_2(\text{g})]$ 是重要的化工过程，主要用于合成氨、制氢以及合成气加工等工业领域中。回答下列问题：

(1) Shibata 曾做过下列实验：①使纯 H_2 缓慢地通过处于 721 °C 下的过量氧化钴 $\text{CoO}(\text{s})$ ，氧化钴部分被还原为金属钴 $\text{Co}(\text{s})$ ，平衡后气体中 H_2 的物质的量分数为 0.0250。

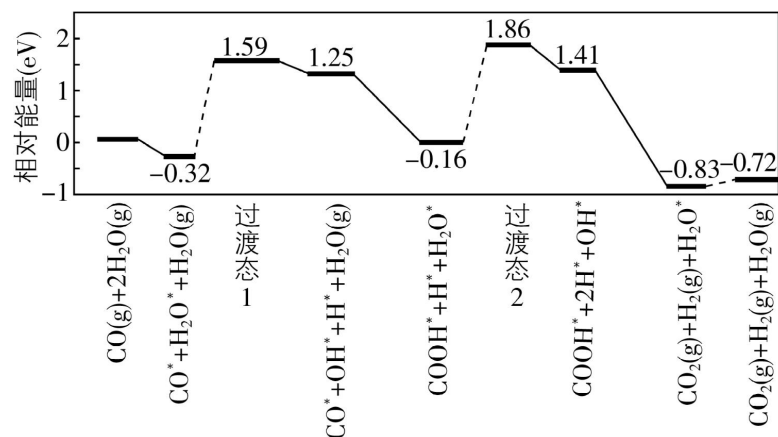
②在同一温度下用 CO 还原 $\text{CoO}(\text{s})$ ，平衡后气体中 CO 的物质的量分数为 0.0192。

根据上述实验结果判断，还原 $\text{CoO}(\text{s})$ 为 $\text{Co}(\text{s})$ 的倾向是 CO _____ H_2 (填“大于”或“小于”)。

(2) 721 °C 时，在密闭容器中将等物质的量的 $\text{CO}(\text{g})$ 和 $\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 混合，采用适当的催化剂进行反应，则平衡时体系中 H_2 的物质的量分数为 _____ (填标号)。

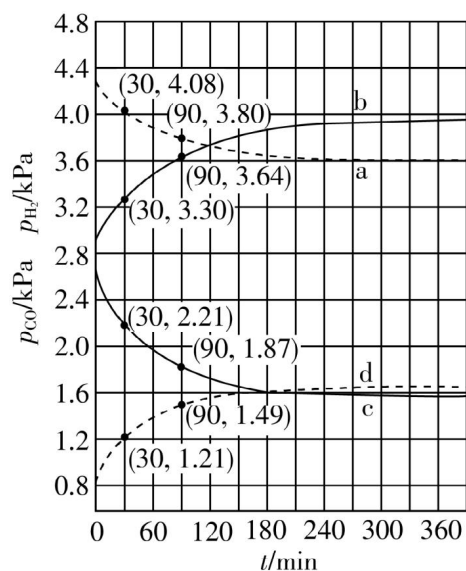
A. <0.25 B. 0.25 C. $0.25\sim0.50$ D. 0.50 E. >0.50

(3) 我国学者结合实验与计算机模拟结果,研究了在金催化剂表面上水煤气变换的反应历程,如图所示,其中吸附在金催化剂表面上的物种用*标注。

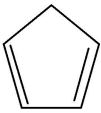


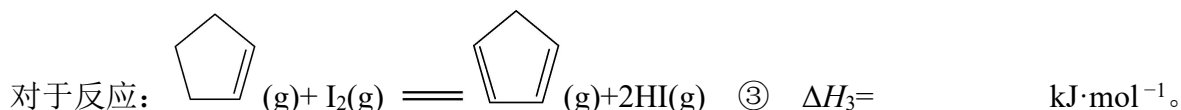
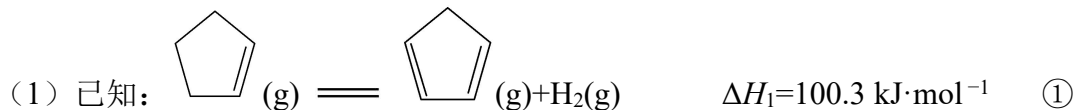
可知水煤气变换的 ΔH _____ 0 (填“大于”“等于”或“小于”), 该历程中最大能垒(活化能) $E_{\text{正}} =$ _____ eV, 写出该步骤的化学方程式 _____。

(4) Shoichi 研究了 $467\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $489\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时水煤气变换中 CO 和 H_2 分压随时间变化关系(如下图所示), 催化剂为氧化铁, 实验初始时体系中的 $p_{\text{H}_2\text{O}}$ 和 p_{CO} 相等、 p_{CO_2} 和 p_{H_2} 相等。



计算曲线a的反应在30~90 min内的平均速率 $\bar{v}(\text{a}) =$ _____ $\text{kPa} \cdot \text{min}^{-1}$ 。 $467\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时 p_{H_2} 和 p_{CO} 随时间变化关系的曲线分别是 _____、_____。 $489\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时 p_{H_2} 和 p_{CO} 随时间变化关系的曲线分别是 _____、_____。

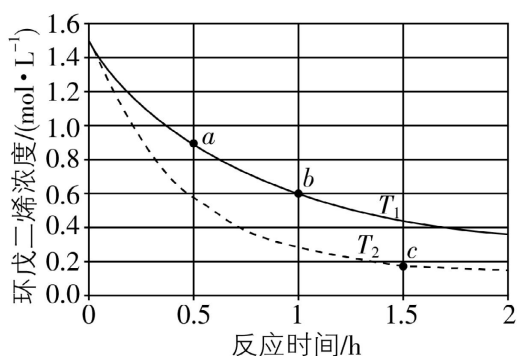
2. [2019·新课标II] 环戊二烯 () 是重要的有机化工原料, 广泛用于农药、橡胶、塑料等生产。回答下列问题:



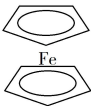
(2) 某温度下, 等物质的量的碘和环戊烯 () 在刚性容器内发生反应③, 起始总压为 10⁵Pa, 平衡时总压增加了 20%, 环戊烯的转化率为 _____, 该反应的平衡常数 K_p = _____ Pa。达到平衡后, 欲增加环戊烯的平衡转化率, 可采取的措施有 _____ (填标号)。

- A. 通入惰性气体 B. 提高温度
C. 增加环戊烯浓度 D. 增加碘浓度

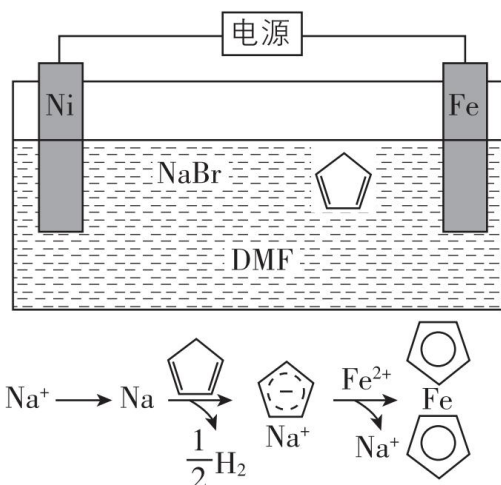
(3) 环戊二烯容易发生聚合生成二聚体, 该反应为可逆反应。不同温度下, 溶液中环戊二烯浓度与反应时间的关系如图所示, 下列说法正确的是 _____ (填标号)。



- A. $T_1 > T_2$
B. a点的反应速率小于c点的反应速率
C. a点的正反应速率大于b点的逆反应速率
D. b点时二聚体的浓度为 0.45 mol·L⁻¹

(4) 环戊二烯可用于制备二茂铁 ($\text{Fe}(\text{C}_5\text{H}_5)_2$, 结构简式为 )，后者广泛应用于航天、

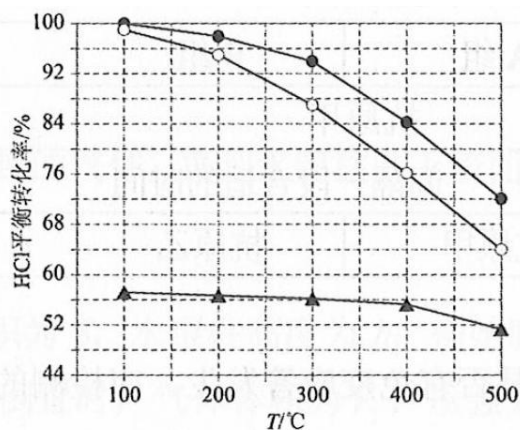
化工等领域中。二茂铁的电化学制备原理如下图所示，其中电解液为溶解有溴化钠（电解质）和环戊二烯的 DMF 溶液（DMF 为惰性有机溶剂）。



该电解池的阳极为_____，总反应为_____。电解制备需要在无水条件下进行，原因为_____。

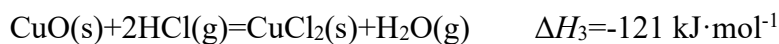
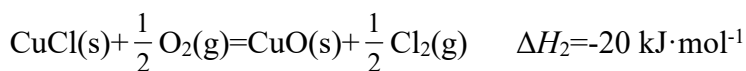
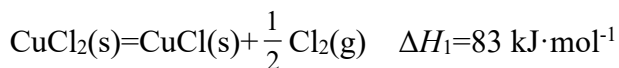
3. [2019·新课标III] 近年来，随着聚酯工业的快速发展，氯气的需求量和氯化氢的产出量也随之迅速增长。因此，将氯化氢转化为氯气的技术成为科学研究的热点。回答下列问题：

(1) Deacon 发明的直接氧化法为： $4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 。下图为刚性容器中，进料浓度比 $c(\text{HCl}) : c(\text{O}_2)$ 分别等于 1 : 1、4 : 1、7 : 1 时 HCl 平衡转化率随温度变化的关系：



可知反应平衡常数 $K(300^\circ\text{C})$ _____ $K(400^\circ\text{C})$ (填“大于”或“小于”)。设 HCl 初始浓度为 c_0 ，根据进料浓度比 $c(\text{HCl}) : c(\text{O}_2) = 1 : 1$ 的数据计算 $K(400^\circ\text{C}) =$ _____ (列出计算式)。按化学计量比进料可以保持反应物高转化率，同时降低产物分离的能耗。进料浓度比 $c(\text{HCl}) : c(\text{O}_2)$ 过低、过高的不利影响分别是_____。

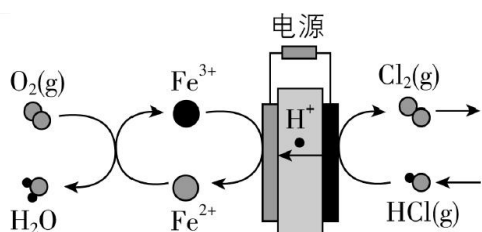
(2) Deacon 直接氧化法可按下列催化过程进行:



则 $4\text{HCl}(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) = 2\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{g})$ 的 $\Delta H =$ _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

(3) 在一定温度的条件下, 进一步提高 HCl 的转化率的方法是_____。(写出 2 种)

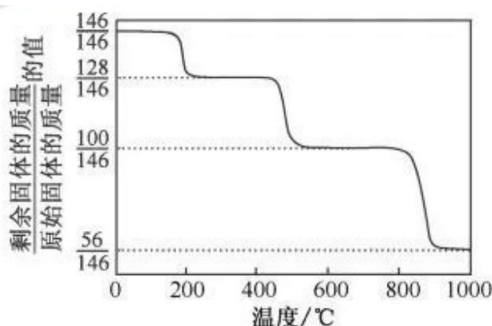
(4) 在传统的电解氯化氢回收氯气技术的基础上, 科学家最近采用碳基电极材料设计了一种新的工艺方案, 主要包括电化学过程和化学过程, 如下图所示:



负极区发生的反应有_____ (写反应方程式)。电路中转移 1 mol 电子, 需消耗氧气_____ L (标准状况)。

4. [2019·江苏卷] CO_2 的资源化利用能有效减少 CO_2 排放, 充分利用碳资源。

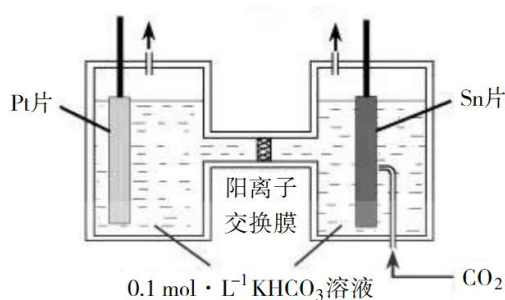
(1) CaO 可在较高温度下捕集 CO_2 , 在更高温度下将捕集的 CO_2 释放利用。 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 热分解可制备 CaO , $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 加热升温过程中固体的质量变化见下图。



①写出 400~600 °C 范围内分解反应的化学方程式: _____▲_____。

②与 CaCO_3 热分解制备的 CaO 相比, $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 热分解制备的 CaO 具有更好的 CO_2 捕集性能, 其原因是_____▲_____。

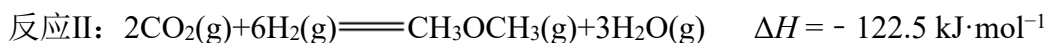
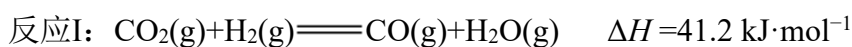
(2) 电解法转化 CO_2 可实现 CO_2 资源化利用。电解 CO_2 制 HCOOH 的原理示意图如下。



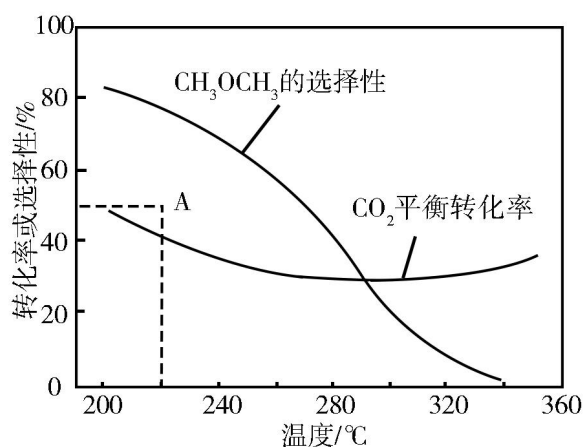
①写出阴极 CO_2 还原为 HCOO^- 的电极反应式：_____▲_____。

②电解一段时间后，阳极区的 KHCO_3 溶液浓度降低，其原因是_____▲_____。

(3) CO_2 催化加氢合成二甲醚是一种 CO_2 转化方法，其过程中主要发生下列反应：



在恒压、 CO_2 和 H_2 的起始量一定的条件下， CO_2 平衡转化率和平衡时 CH_3OCH_3 的选择性随温度的变化如图。其中：



$$\text{CH}_3\text{OCH}_3 \text{ 的选择性} = \frac{2 \times \text{CH}_3\text{OCH}_3 \text{ 的物质的量}}{\text{反应的} \text{CO}_2 \text{ 的物质的量}} \times 100\%$$

①温度高于300 °C， CO_2 平衡转化率随温度升高而上升的原因是_____▲_____。

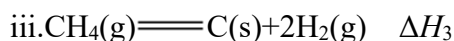
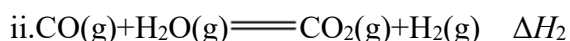
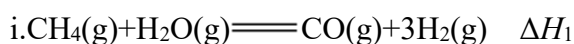
②220 °C时，在催化剂作用下 CO_2 与 H_2 反应一段时间后，测得 CH_3OCH_3 的选择性为48%（图中A点）。不改变反应时间和温度，一定能提高 CH_3OCH_3 选择性的措施有_____▲_____。

5. [2019·北京卷]氢能源是最具应用前景的能源之一，高纯氢的制备是目前的研究热点。

(1) 甲烷水蒸气催化重整是制高纯氢的方法之一。

①反应器中初始反应的生成物为 H_2 和 CO_2 ，其物质的量之比为4:1，甲烷和水蒸气反应的方程式是_____。

②已知反应器中还存在如下反应：



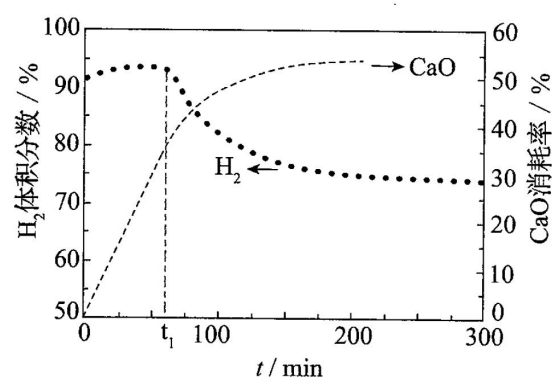
.....

iii 为积炭反应，利用 ΔH_1 和 ΔH_2 计算 ΔH_3 时，还需要利用_____反应的 ΔH 。

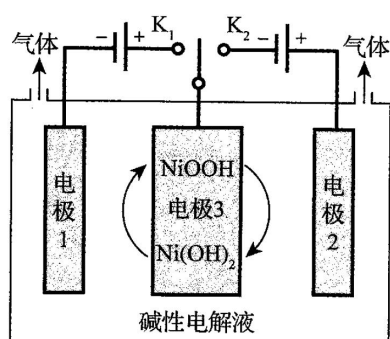
③反应物投料比采用 $n(\text{H}_2\text{O}) : n(\text{CH}_4) = 4 : 1$ ，大于初始反应的化学计量数之比，目的是_____（选填字母序号）。

a. 促进 CH_4 转化 b. 促进 CO 转化为 CO_2 c. 减少积炭生成

④用 CaO 可以去除 CO_2 。 H_2 体积分数和 CaO 消耗率随时间变化关系如下图所示。从 t_1 时开始， H_2 体积分数显著降低，单位时间 CaO 消耗率_____（填“升高”“降低”或“不变”）。此时 CaO 消耗率约为 35%，但已失效，结合化学方程式解释原因：_____。



（2）可利用太阳能光伏电池电解水制高纯氢，工作示意图如下。通过控制开关连接 K_1 或 K_2 ，可交替得到 H_2 和 O_2 。



①制 H_2 时，连接_____。

产生 H_2 的电极反应式是_____。

②改变开关连接方式，可得 O_2 。

③结合①和②中电极 3 的电极反应式，说明电极 3 的作用：_____。

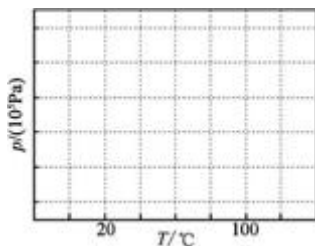
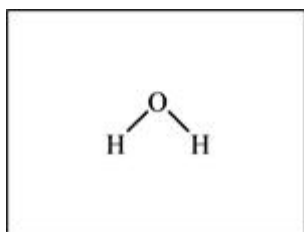
6. [2019 浙江 4 月选考] 水是“生命之基质”，是“永远值得探究的物质”。

(1) 关于反应 $H_2(g) + 1/2 O_2(g) \rightarrow H_2O(l)$ ，下列说法不正确的是_____。

- A. 焓变 $\Delta H < 0$ ，熵变 $\Delta S < 0$
- B. 可以把反应设计成原电池，实现能量的转化
- C. 一定条件下，若观察不到水的生成，说明该条件下反应不能自发进行
- D. 选用合适的催化剂，有可能使反应在常温常压下以较快的速率进行

(2) ①根据 H_2O 的成键特点，画出与图中 H_2O 分子直接相连的所有氢键($O-H \cdots O$)_____。

②将一定量水放入抽空的恒容密闭容器中，测定不同温度(T)下气态、液态水平衡共存 [$H_2O(l)H_2O(g)$] 时的压强(p)。在图中画出从 $20^\circ C$ 开始经过 $100^\circ C$ 的 p 随 T 变化关系示意图($20^\circ C$ 时的平衡压强用 p_1 表示)_____。

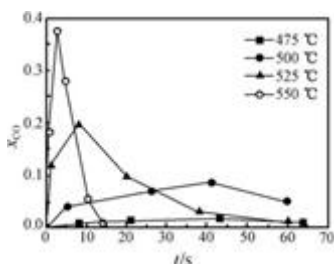
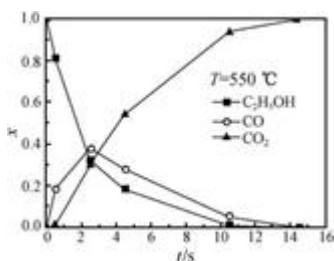


(3) 水在高温高压状态下呈现许多特殊的性质。当温度、压强分别超过临界温度($374.2^\circ C$)、临界压强($22.1 MPa$)时的水称为超临界水。

①与常温常压的水相比，高温高压液态水的离子积会显著增大。解释其原因_____。

②如果水的离子积 K_w 从 1.0×10^{-14} 增大到 1.0×10^{-10} ，则相应的电离度是原来的_____倍。

③超临界水能够与氧气等氧化剂以任意比例互溶，由此发展了超临界水氧化技术。一定实验条件下，测得乙醇的超临界水氧化结果如图所示，其中 x 为以碳元素计的物质的量分数， t 为反应时间。



下列说法合理的是_____。

- A. 乙醇的超临界水氧化过程中，一氧化碳是中间产物，二氧化碳是最终产物
- B. 在 $550^\circ C$ 条件下，反应时间大于 $15 s$ 时，乙醇氧化为二氧化碳已趋于完全

C. 乙醇的超临界水氧化过程中，乙醇的消耗速率或二氧化碳的生成速率都可以用来表示反应的速率，而且两者数值相等

D. 随温度升高， x_{CO} 峰值出现的时间提前，且峰值更高，说明乙醇的氧化速率比一氧化碳氧化速率的增长幅度更大

(4) 以铂阳极和石墨阴极设计电解池，通过电解 NH_4HSO_4 溶液产生 $(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8$ ，再与水反应得到 H_2O_2 ，其中生成的 NH_4HSO_4 可以循环使用。

①阳极的电极反应式是_____。

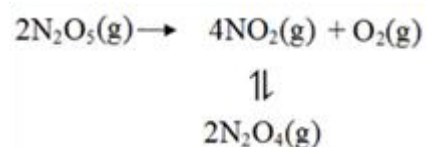
②制备 H_2O_2 的总反应方程式是_____。

【2018 年】

1. (2018·全国卷I) 采用 N_2O_5 为硝化剂是一种新型的绿色硝化技术，在含能材料、医药等工业中得到广泛应用。回答下列问题

(1) 1840 年 Devil 用干燥的氯气通过干燥的硝酸银，得到 N_2O_5 。该反应的氧化产物是一种气体，其分子式为_____。

(2) F. Daniels 等曾利用测压法在刚性反应器中研究了 25°C 时 $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ 分解反应：



其中 NO_2 二聚为 N_2O_4 的反应可以迅速达到平衡。体系的总压强 p 随时间 t 的变化如下表所示 ($t=\infty$ 时， $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$ 完全分解)：

t/min	0	40	80	160	260	1300	1700	∞
p/kPa	35.8	40.3	42.5	45.9	49.2	61.2	62.3	63.1

①已知： $2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) = 2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H_1 = -4.4 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

$2\text{NO}_2(\text{g}) = \text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \quad \Delta H_2 = -55.3 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

则反应 $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) = 2\text{NO}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{O}_2(\text{g})$ 的 $\Delta H =$ _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。

②研究表明， $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ 分解的反应速率 $v = 2 \times 10^{-3} \times p_{\text{N}_2\text{O}_5} (\text{kPa} \cdot \text{min}^{-1})$ 。 $t=62 \text{ min}$ 时，测得体系中 $p_{\text{O}_2} = 2.9 \text{ kPa}$ ，则此时的 $p_{\text{N}_2\text{O}_5} =$ _____ kPa ， $v =$ _____ $\text{kPa} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

③若提高反应温度至 35°C, 则 $\text{N}_2\text{O}_5(\text{g})$ 完全分解后体系压强 $p_\infty(35^\circ\text{C})$ _____ 63.1 kPa (填“大于”“等于”或“小于”), 原因是_____。

④25°C 时 $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{NO}_2(\text{g})$ 反应的平衡常数 $K_p =$ _____ kPa (K_p 为以分压表示的平衡常数, 计算结果保留 1 位小数)。

(3) 对于反应 $2\text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightarrow 4\text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$, R.A.Ogg 提出如下反应历程:

第一步 $\text{N}_2\text{O}_5 \rightleftharpoons \text{NO}_2 + \text{NO}_3$ 快速平衡

第二步 $\text{NO}_2 + \text{NO}_3 \rightarrow \text{NO} + \text{NO}_2 + \text{O}_2$ 慢反应

第三步 $\text{NO} + \text{NO}_3 \rightarrow 2\text{NO}_2$ 快反应

其中可近似认为第二步反应不影响第一步的平衡。下列表述正确的是_____ (填标号)。

A. $v(\text{第一步的逆反应}) > v(\text{第二步反应})$

B. 反应的中间产物只有 NO_3

C. 第二步中 NO_2 与 NO_3 的碰撞仅部分有效

D. 第三步反应活化能较高 $K_p = \frac{18.8^2}{26.4} \text{ kPa} \approx 13.4 \text{ kPa}^2$. (2018·全国卷 II) $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ 催化重整不仅可以得到合成气 (CO 和 H_2), 还对温室气体的减排具有重要意义。回答下列问题:

(1) $\text{CH}_4\text{-CO}_2$ 催化重整反应为: $\text{CH}_4(\text{g}) + \text{CO}_2(\text{g}) = 2\text{CO}(\text{g}) + 2\text{H}_2(\text{g})$ 。

已知: $\text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g}) = \text{CH}_4(\text{g}) \quad \Delta H = -75 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

$\text{C}(\text{s}) + \text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}_2(\text{g}) \quad \Delta H = -394 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

$\text{C}(\text{s}) + 1/2\text{O}_2(\text{g}) = \text{CO}(\text{g}) \quad \Delta H = -111 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

该催化重整反应的 $\Delta H =$ _____ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。有利于提高 CH_4 平衡转化率的条件是_____ (填标号)。

A. 高温低压 B. 低温高压 C. 高温高压 D. 低温低压

某温度下, 在体积为 2 L 的容器中加入 2 mol CH_4 、1 mol CO_2 以及催化剂进行重整反应, 达到平衡时 CO_2 的转化率是 50%, 其平衡常数为 _____ $\text{mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ 。

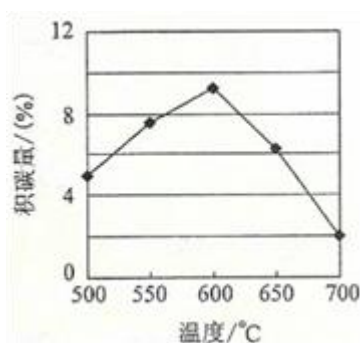
(2) 反应中催化剂活性会因积碳反应而降低, 同时存在的消碳反应则使积碳量减少。

相关数据如下表:

	积碳反应 $\text{CH}_4(\text{g}) = \text{C}(\text{s}) + 2\text{H}_2(\text{g})$	消碳反应 $\text{CO}_2(\text{g}) + \text{C}(\text{s}) = 2\text{CO}(\text{g})$
$\Delta H/(\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1})$	75	172

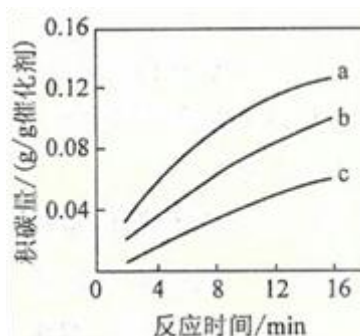
活化能/ (kJ·mol ⁻¹)	催化剂 X	33	91
	催化剂 Y	43	72

①由上表判断，催化剂 X Y（填“优于”或“劣于”），理由是 。在反应进料气组成、压强及反应时间相同的情况下，某催化剂表面的积碳量随温度的变化关系如图所示。升高温度时，下列关于积碳反应、消碳反应的平衡常数(K)和速率(v)的叙述正确的是 （填标号）。



- A. $K_{\text{积}}$ 、 $K_{\text{消}}$ 均增加
 B. $v_{\text{积}}$ 减小， $v_{\text{消}}$ 增加
 C. $K_{\text{积}}$ 减小， $K_{\text{消}}$ 增加
 D. $v_{\text{消}}$ 增加的倍数比 $v_{\text{积}}$ 增加的倍数大

②在一定温度下，测得某催化剂上沉积碳的生成速率方程为 $v = k \cdot p(\text{CH}_4) \cdot [p(\text{CO}_2)]^{-0.5}$ (k 为速率常数)。在 $p(\text{CH}_4)$ 一定时，不同 $p(\text{CO}_2)$ 下积碳量随时间的变化趋势如图所示，则 $p_a(\text{CO}_2)$ 、 $p_b(\text{CO}_2)$ 、 $p_c(\text{CO}_2)$ 从大到小的顺序为 。

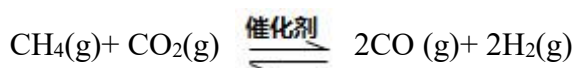


3. （2018 年天津卷） CO_2 是一种廉价的碳资源，其综合利用具有

重要意义。回答下列问题：

（1） CO_2 可以被 NaOH 溶液捕获。若所得溶液 $\text{pH}=13$ ， CO_2 主要转化为 （写离子符号）；若所得溶液 $c(\text{HCO}_3^-) : c(\text{CO}_3^{2-}) = 2 : 1$ ，溶液 $\text{pH} = \underline{\hspace{2cm}}$ 。（室温下， H_2CO_3 的 $K_1 = 4 \times 10^{-7}$ ； $K_2 = 5 \times 10^{-11}$ ）

（2） CO_2 与 CH_4 经催化重整，制得合成气：

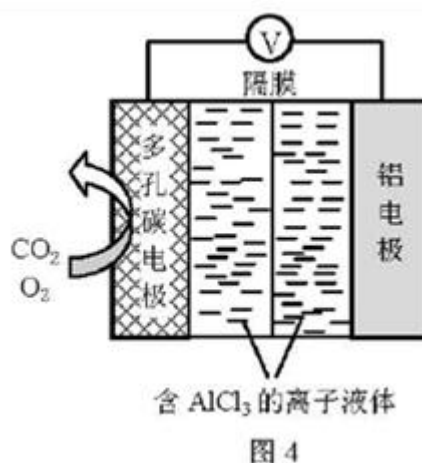
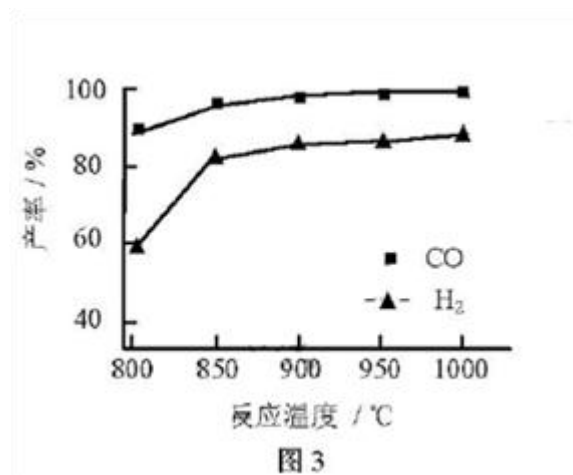


①已知上述反应中相关的化学键键能数据如下：

化学键	C—H	C=O	H—H	C $\equiv$ O(CO)
键能/kJ·mol ⁻¹	413	745	436	1075

则该反应的 $\Delta H=$ _____。分别在 VL 恒温密闭容器 A（恒容）、B（恒压，容积可变）中，加入 CH₄ 和 CO₂ 各 1 mol 的混合气体。两容器中反应达平衡后放出或吸收的热量较多的是_____（填“A”或“B”）。

②按一定体积比加入 CH₄ 和 CO₂，在恒压下发生反应，温度对 CO 和 H₂ 产率的影响如图 3 所示。此反应优选温度为 900℃的原因是_____。



（3）O₂ 辅助的 Al~CO₂ 电池工作原理如图 4 所示。该电池电容量大，能有效利用 CO₂，电池反应产物 Al₂(C₂O₄)₃ 是重要的化工原料。

电池的负极反应式：_____。

电池的正极反应式：6O₂+6e⁻====6O₂⁻

6CO₂+6O₂⁻====3C₂O₄²⁻

反应过程中 O₂ 的作用是_____。

该电池的总反应式：_____。 $\frac{c(H^+) \times c(CO_3^{2-})}{c(HCO_3^-)} = \frac{c(H^+)}{2}$ 4. （2018·江苏卷）NO_x（主要指 NO 和 NO₂）

是大气主要污染物之一。有效去除大气中的 NO_x 是环境保护的重要课题。

（1）用水吸收 NO_x 的相关热化学方程式如下：

2NO₂（g）+H₂O（l）====HNO₃（aq）+HNO₂（aq） $\Delta H=-116.1$ kJ·mol⁻¹

3HNO₂（aq）====HNO₃（aq）+2NO（g）+H₂O（l） $\Delta H=75.9$ kJ·mol⁻¹

反应 $3\text{NO}_2(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\text{l}) \rightleftharpoons 2\text{HNO}_3(\text{aq}) + \text{NO}(\text{g})$ 的 $\Delta H =$ _____ $\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。

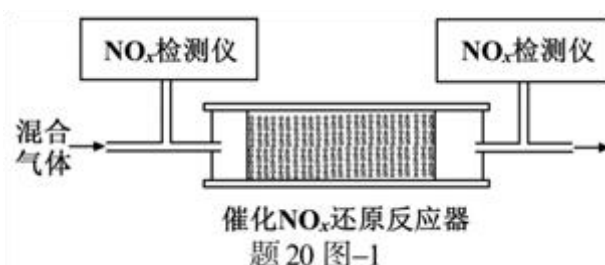
(2) 用稀硝酸吸收 NO_x ，得到 HNO_3 和 HNO_2 的混合溶液，电解该混合溶液可获得较浓的硝酸。写出电解时阳极的电极反应式：_____。

(3) 用酸性 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 水溶液吸收 NO_x ，吸收过程中存在 HNO_2 与 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ 生成 N_2 和 CO_2 的反应。写出该反应的化学方程式：_____。

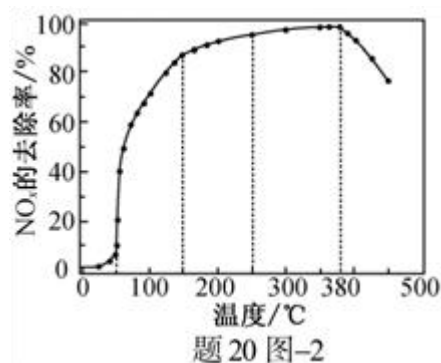
(4) 在有氧条件下，新型催化剂 M 能催化 NH_3 与 NO_x 反应生成 N_2 。

① NH_3 与 NO_2 生成 N_2 的反应中，当生成 1 mol N_2 时，转移的电子数为_____mol。

② 将一定比例的 O_2 、 NH_3 和 NO_x 的混合气体，匀速通入装有催化剂 M 的反应器中反应（装置见题 20 图-1）。



反应相同时间 NO_x 的去除率随反应温度的变化曲线如题 20 图-2 所示，在 $50\sim 250\text{ }^\circ\text{C}$ 范围内随着温度的升高， NO_x 的去除率先迅速上升后上升缓慢的主要原因是_____；当反应温度高于 $380\text{ }^\circ\text{C}$ 时， NO_x 的去除率迅速下降的原因可能是_____。



$\frac{24}{7}$

