



高联教育集团
GAOLIAN EDUCATION

编号 ()

高联教育集团考研专业课精品复习资料

哈尔滨工业大学 学校 理学院 院系 分析化学、有机化学、无机化学、物理化学 专业

828 物理化学

考试代码及科目

资料目录 物理化学期末题

页 数 33 页

资料类型 电子版 ☐ 纸质版 ☒

有无缺损 无 ☒ 有 ☐ ()

资料类别 ★ ☐ ★★ ☐ ★★★ ☐ ★★★★ ☐ ★★★★★ ☐

其它事项 _____

高联专业课教研中心

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总分
分数											

一、填空 (20分)

1. 当理想气体反抗一定的压力做绝热膨胀时, 则 ()。

A. 焓总是不变 B. 热力学能总是增加

C. 焓总是增加 D. 热力学能总是减少

2. 在隔离系统内 ()。

A. 热力学能守恒, 焓守恒 B. 热力学能不一定守恒, 焓守恒

C. 热力学能守恒, 焓不一定守恒 D. 热力学能不一定守恒, 焓不一定守恒

3. 已知 100°C 时, 液体 A 的饱和蒸气压为 1×10^5 Pa, 液体 B 的饱和蒸气压为

5×10^4 Pa, 设 A 和 B 形成理想溶液, 则当 A 在液体中的摩尔分数为 0.5 时, 气相

中 A 的摩尔分数为 ()。

A. 1/3 B. 1/2 C. 2/3 D. 1

4. 任何一个化学反应, 影响标准平衡常数的因素是 ()。

A. 反应物的浓度 B. 催化剂 C. 反应产物浓度 D. 温度

5. 100 kPa 下, C (石墨) + O₂ (g) = CO₂ (g) 的反应焓为 $\Delta_r H_m^\ominus$, 下列说法中错误的是 ()。

A. $\Delta_r H_m^\ominus$ 就是 CO₂ (g) 的生成焓 B. $\Delta_r H_m^\ominus$ 是 C (石墨) 的燃烧焓

C. $\Delta_r H_m^\ominus \neq \Delta_f H_m^\ominus$ D. $\Delta_r H_m^\ominus \neq \Delta_c H_m^\ominus$

6. 已知气相反应 $2NO(g) + O_2(g) = 2NO_2(g)$ 是放热反应, 当反应达到平衡时,

可采用下列哪组方法使平衡向右移动? ()。

A. 降温 and 减压 B. 升温和增压 C. 升温和减压 D. 降温和增压

7. 对理想的水平液面, 其值为零的表面物理量是 ()。

A. 表面功 B. 比表面吉布斯自由能 C. 正压力 D. 附加压力

注意

$\Delta H = \Delta U + P\Delta V$

$\Delta U + P\Delta V + V\Delta P$

$= -P\Delta V + P\Delta V + V\Delta P$

$= V\Delta P$

遵守

考

只和温度有

关系

遵守

主
管
领
号
审
核
字

$n = \Delta U$

$+ P\Delta V$

$- P\Delta V$

⑧ 小晶体与同一种大块晶体相比较, 下列说法哪一个不正确 (D)。

- A. 微小晶体的饱和蒸汽压大
- B. 微小晶体的表面张力未变
- C. 微小晶体的溶解度小
- D. 微小晶体的熔点较低

9. 下列各量中, $\left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{T, P, n_{j \neq i}}$ 为偏摩尔量, (B, C) 为化学势

1. 理想气体做恒温膨胀, 从 P_1, V_1, T 膨胀到 P_2, V_2, T , 其吉布斯函数的增量为 ΔG , $= nRT \ln P_2 / P_1 < 0$. 此式能否作为该变化自发进行的判据? 为什么?

不行, 吉布斯函数仅能判断 T, P 时的过程

2. 1mol, 373.15K, 101.325kPa 的 $H_2O(l)$, 向真空蒸发为 1mol, 373.15K, 101.325kPa 的 $H_2O(g)$, 此过程的 ΔG 是否为零? 该过程是否可逆? 为什么?

解: $\Delta G = \Delta H - \Delta(TS)$

3. 说明一级及二级反应的主要特点。

一级反应:

$$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A$$

$\ln C_A - t$ 图像为直线

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

$$t_{1/2} : t_{2/3} : t_{3/4} = 1 : 2 : 3$$

二级反应:

特征: $\frac{1}{C_A} - t$ 图像为直线

$$t_{1/2} = \frac{1}{k \cdot C_{A0}}$$

$$t_{1/2} : t_{2/3} : t_{3/4} = 1 : 3 : 7$$

第八章

4. 有两个同样重量的水滴，一滴落在玻璃毛细管中，该水滴能很好地润湿管壁，而另一水滴放在荷叶上，若两者均放在一定温度的大气中，最先蒸发掉的是哪个水滴？为什么？

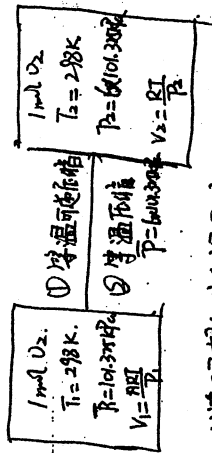
解:

0

三、计算 (42分)

1. 在 298K 时, 将 1mol O_2 从 101.325kPa 等温可逆压缩到 6101.325kPa , 求过程的 Q , W , ΔU 与 ΔH , ΔS 和 ΔG 值又为多少?

解:



$\textcircled{1}$ 理想气体等温可逆过程

$$\Delta U = \Delta H = 0$$

$$\Delta Q = -W = -\int_{V_1}^{V_2} p dV = -\int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = nRT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$= 8.3145 \times 298 \times \ln \frac{1}{6} \text{ J} = -4439.48 \text{ J}$$

$$\therefore Q = -4439.48 \text{ J}, W = 4439.48 \text{ J}$$

$$\Delta G = \Delta A = W = 4439.48 \text{ J}$$

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q_r}{T} = \frac{Q_r}{T} = \frac{-4439.48}{298} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} = -14.90 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta U = \Delta H = 0$$

$$Q = -W = \int p dV = p \Delta V = p(V_2 - V_1) = 6101.325 \times 2 - 101.325 \times 2 = -1238.61 \text{ J}$$

$$Q = W = 1238.61 \text{ J}$$

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q_r}{T} = \frac{Q_r}{T} = \frac{1238.61}{298} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} = 4.16 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\text{等温等压, } \delta W = 0$$

$$\Delta G = 0$$

2. A 物质按下式反应: $2A(g) \rightleftharpoons C(g) + B(g)$ 若在 300K、100kPa 下测得 A 的转化率为 50%, 在压力不变下将温度升到 350K A 的转化率为 55%。求该反应的标准摩尔反应焓 $\Delta_r H_m^\ominus$ 。
(该反应可视为理想气体反应系统, 300-350K 之间 $\Delta_r H_m^\ominus$ 为常数)

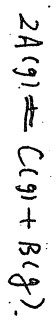
解:

范特荷夫等压方程

$$\frac{d \ln K^\ominus}{dT} = \frac{\Delta_r H_m^\ominus}{RT^2}$$

积分得: $\ln \frac{K_2^\ominus}{K_1^\ominus} = \frac{\Delta_r H_m^\ominus}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$

$$\ln \frac{K_2^\ominus}{K_1^\ominus} = \frac{\Delta_r H_m^\ominus}{R} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)$$

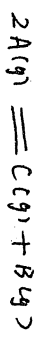


起始 2.

转化 2x100% = 1

平衡 1

$$K_1^\ominus = \frac{1 \times 1}{1^2} = 1$$



起始 2.

转化 2x55% = 1.1

平衡 0.9

$$K_2^\ominus = \frac{1.1 \times 1.1}{0.9^2} = 1.49$$

$$\ln \frac{K_2^\ominus}{K_1^\ominus} = \frac{\Delta_r H_m^\ominus}{R} \left(\frac{1}{300} - \frac{1}{350} \right)$$

$$\Delta_r H_m^\ominus = \frac{8.3145 \ln(1.49) \times 350 \times 300}{50} \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$= 6962.8 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1}$$

3. 在 101325 Pa 下, 某水溶液含有非挥发性物质, 在 298 K 时其蒸气压为 3.167 × 10³ Pa。已知水的

$$K_f = 1.86 \text{ K} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{kg}, K_b = 0.52 \text{ K} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{kg} \text{ 试求}$$

(1) 该系溶液的正常沸点 T_b 。

(2) 在 298 K 溶液的蒸气压 (已知该温度下纯水的饱和蒸气压为 3.167 × 10³ Pa)

解: (1) 沸点升高

$$T_b = \Delta T_b = b_b K_b$$

$$273.15 \text{ K} - 271.7 \text{ K} = b_b K_b$$

凝固点降低

$$\Delta T_f = T_f - b_b$$

$$(273.15 \text{ K} - 271.7 \text{ K}) = T_f - b_b$$

$$b_b = \frac{1.4 \text{ K}}{1.86 \text{ K} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{kg}} = 0.75 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$T_b - 273.15 \text{ K} = b_b K_b = 0.75 \times 0.52 \text{ K}$$

$$T_b = 373.56 \text{ K}$$

(2) $p = p_a$

$$b_b = 0.75 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} = \frac{n_b}{m_A} = \frac{0.75}{1 \text{ kg}}$$

$$n_b = \frac{0.75 \text{ mol}}{1 \text{ kg}} = 0.75 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$$

$$p_a = p_a^*$$

$$x_A = \frac{1000}{1000 + 0.75 \text{ mol}} = 0.986$$

$$p_a = 3.167 \times 10^3 \times 0.986 \text{ Pa} = 3.123 \times 10^3 \text{ Pa}$$

$$p = p_a = 3.123 \times 10^3 \text{ Pa}$$

物理化学 试题

班号	
姓名	

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总分
分数											

一、填空和选择填空(每题2分,共20分)

1. 下列公式的使用条件是 $dG = -SdT + Vdp$ () $\Delta G = W_f$ ()
2. 稀溶液中挥发性溶质的蒸气压与浓度之间关系服从 (), 其数学表达式为 ()

3. 在 101325Pa 下, CHCl_3 溶于水与水溶于 CHCl_3 , 两种溶液平衡, 则其组分数为 (), 自由度数为 ()。

4. 对于 1mol 的理想气体, $\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_p =$ () $C_p - C_v =$ ()。

5. 在 101325Pa, 0°C 下, 水凝结成冰过程的 ΔG (), ΔS^* (), $\Delta S_{\text{总环}}$ ()。 ① =0 ② >0 ③ <0 ④ 不确定

6. 无相变和化学变化的条件下, 理想气体的绝热过程其内能变化

$$\text{① } dU = C_v dT \quad \text{② } dU > C_v dT \quad \text{③ } dU < C_v dT$$

7. 298K 时, 石墨的标准生成焓 $\Delta_f H_m^\circ$ (298K) 为 ()。

$$\text{① } =0 \quad \text{② } >0 \quad \text{③ } <0 \quad \text{④ 不确定}$$

8. 下列偏微分式中 () 是化学势。

$$\text{① } \left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{T, p, n_j} \quad \text{② } \left(\frac{\partial G}{\partial n_i}\right)_{T, p, n_j} \quad \text{③ } \left(\frac{\partial U}{\partial n_i}\right)_{T, p, n_j} \quad \text{④ } \left(\frac{\partial A}{\partial n_i}\right)_{T, p, n_j}$$

$$g \text{ 在刚性密闭容器中, 有下列理想气体反应达平衡 } A(g) + B(g) = C(g), \text{ 若在恒温下加入一定量惰性气体, 则平衡将 ()}$$

- ① 向右移动 ② 向左移动 ③ 不移动 ④ 无法确定
10. 液体表层分子比液相内部分子具有更 () 的能量, 这种差别是液体表面有自动的趋势。

二、简答回答以下问题(每题5分,共25分)

1. 兰格缪尔 (Langmuir) 吸附理论的基本假设是什么? 写出兰格

缪尔吸附等温式. 2. 什么是热力学可逆过程? 热力学可逆过程一定是热力学平衡过程吗? 3. $\Delta_r G_m$ 和 $\Delta_r G_m^\circ$ 作为反应方向判据时两者有何不同? 4. 乌

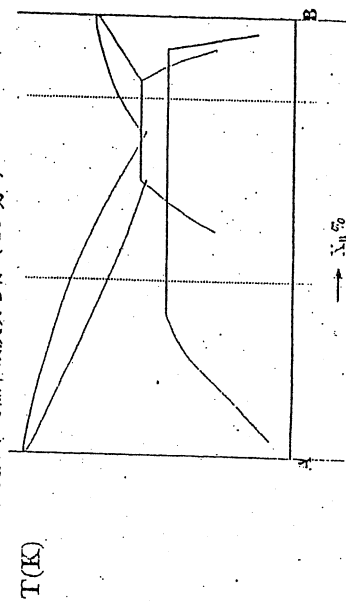
尔定律和亨利定律的主要异同点是什么? 5. 什么是稀溶液的依数性? 稀溶液的依数性都有哪些?

三、1 mol 的理想气体在 27 °C 时, 等温可逆自 1010 kPa 膨胀到 101 kPa, 求过程的 W , Q , ΔU , ΔH , ΔS , $\Delta S_{\text{环}}$, $\Delta S_{\text{总}}$, ΔA , ΔG 各为多少? 判断上述过程的方向和限度以什么函数为判据比较方便? (15 分)

四、已知反应 $\text{Fe}_3\text{C(s)} + \text{CO}_2\text{(g)} = 3\text{Fe(s)} + 2\text{CO(g)}$, 其在 900 °C 的 $K_p^\circ = 9.08 \times 10^{-5}$, 现将铁放在 CO_2 为 20%, CO 为 75%, 其余为 N_2 , 总压为 2 大气压的混合气中, 问有无生成 Fe_3C 的可能? (13 分)

五、20 °C 时, 水的表面张力为 $0.0728 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$, 汞的表面张力为 $0.483 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$ 而汞和水的界面张力为 $0.375 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$, 试判断断是汞在水表面上铺展, 还是水在汞表面上铺展? (12 分)

六、已知 A-B 二元凝聚态相图, M、N 分别为 A、B 的熔点, 回答下列问题: (1) 标出图中各相区名称和自由度 (2) 此相图中有无化合物生成 (3) 画出 a、b 两物系的步冷曲线 (4) 指出自由度为零的点和线及其名称 (15 分)



物理化学 试题 A

班号	
姓名	

题号	一	二	三	四	五	总分
分数						

注意行为规范

遵守考场纪律

主考
领导
审核
签字

一、填空(20分)

1. 一级反应的速率常数的单位是()
(A) s^{-1} (B) $dm^6/(s \cdot mol^2)$ (C) $s^{-1} \cdot mol^{-1}$ (D) $dm^3/(s \cdot mol)$
2. 某化学反应 $2A(g) + B(g) = 2C(g)$ 在 500K 下、恒容条件下反应了 1mol 反应进度时放热 10 kJ $\cdot mol^{-1}$ 。若该反应气体为理想气体, 在 500K、恒压条件下同样反应了 1mol 反应进度, 则放热()。
(A) 7.92 kJ $\cdot mol^{-1}$ (B) -7.92 kJ $\cdot mol^{-1}$ (C) 10 kJ $\cdot mol^{-1}$ (D) 因数据不足, 无法计算
3. 朗缪尔(Langmuir)等温吸附理论中最重要的基本假设是():
(A) 气体为理想气体 (B) 多分子层吸附 (C) 单分子层吸附 (D) 固体表面各吸附位置上的吸附能力是不同的
4. 催化剂能极大的改变反应速率, 以下说法错误的是()
(A) 催化剂改变了反应历程 (B) 催化剂降低了反应活化能
(C) 催化剂改变了反应平衡, 使转化率提高 (D) 催化剂同时加快正向与逆向反应
5. 在一真空容器中, 将 $CaCO_3$ 加热, 并达到下列平衡: $CaCO_3(s) = CaO(s) + CO_2(g)$, 则此系统的组分数、相数、自由度分别是()
(A) 1, 3, 0 (B) 2, 3, 1 (C) 3, 3, 2 (D) 2, 2, 2
6. 在指定条件下任意基元反应的反应分子数与反应级数之间的关系为()
(A) 反应分子数等于反应级数 (B) 反应分子数小于反应级数
(C) 反应分子数大于反应级数 (D) 反应级数等于或小于反应分子数
7. 在一定的 T、P 下, 一切相变化必然朝着化学势() 的方向进行。
(A) 增大 (B) 减少 (C) 不变 (D) 不确定
8. 在水平放置的玻璃毛细管中装有水, 在毛细管左端加热时, 管中液体将()。
(A) 向右移动 (B) 向左移动 (C) 不移动 (D) 左右来回移动
9. 半径为 1×10^{-2} m 的球形肥皂液滴的表面张力为 $0.025 N \cdot m^{-1}$, 其附加压力为() $N \cdot m^{-1}$
(A) 10 (B) 0.25 (C) 2.5 (D) 5
10. 在真空密闭容器中, 1mol 温度为 100°C、压力为 100kPa 的液体水完全蒸发为 100°C、100kPa 的水蒸气, 测得此过程系统从环境中吸热 37.53kJ, 则此过程的 $\Delta U = ()$ kJ, $\Delta G = ()$ kJ, $\Delta S = ()$ J K^{-1} 。(添具体数值)

二、简答题(10分)

1. 写出理想稀溶液的亨利化学势的表达式 2. 指出物理吸附和化学吸附的异同。
- 二、计算: 1. (10分) 某一级反应, 反应进行 10min 后, 反应物反应掉 30% 问反应掉 50% 需多长时间? 2. (10分) 1mol $CO(g)$ 理想气体在 25°C、101.325kPa 时, 被 506kPa 的环境压力压缩到 200°C 的最终状态, 求此过程的 Q、W、 ΔU 、 ΔH 、 ΔS 。3. (10分) 已知反应 $N_2(g) + O_2(g) = 2NO(g)$ 的 $\Delta_r H_m^\ominus = 180 kJ \cdot mol^{-1}$ 与 $24 J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$, 设 $\Delta_r C_{p,m} = 0$, (1) 计算当反应的 $\Delta_r G_m^\ominus$ 为 125 kJ $\cdot mol^{-1}$ 时的反应温度是多少? (2) 反应在 (1) 温度下,

试 题： 班号： 姓名：

等摩尔比的 $N_2(g)$ 与 $O_2(g)$ 开始进行反应，求反应达平衡时 $N_2(g)$ 的平衡转化率

4. (10分) 20 °C 时，纯二乙醚 $(C_2H_5)_2O$ 的饱和蒸汽压为 58.95 kPa，今在 0.100 kg 的二乙醚中加入 0.0100 kg 某非挥发性有机物，使二乙醚的蒸汽压下降到 56.79 kPa。求该有机物的摩尔质量。

5. (10分) 291 K 时，丁酸水溶液的张力表示为： $\gamma = \gamma_0 - a \ln(1+bC)$ ，C 为丁酸浓度，

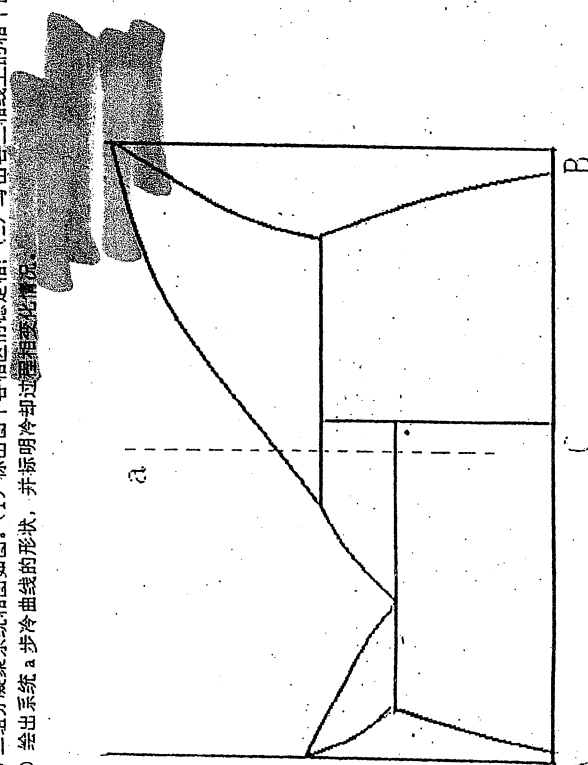
γ_0 是纯水的表面张力，a、b 为常数，若 $a=13.1 \times 10^{-3} N \cdot m^{-1}$ ， $b=19.62 dm^3 \cdot mol^{-1}$ ， $C=0.2 mol \cdot dm^{-3}$ ，求

表面吸附量 Γ 。

四、(10分) 反应 $H_2 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} 2HCl$ 的机理为： $Cl_2 + M \xrightarrow{k_1} 2Cl + M$ $Cl + H_2 \xrightarrow{k_2} HCl + H$ $H + Cl_2 \xrightarrow{k_3} HCl + Cl$ $2Cl + M \xrightarrow{k_4} Cl_2 + M$ (M 代表能量的接受体，可

以是光子、引发剂分子等) 1. 试导出 $\frac{dC_{HCl}}{dt} = 2k_2 \left(\frac{k_1}{k_4} \right)^{0.5} C_{H_2} C_{Cl_2}^{0.5}$ ； 1. 设总反应中每一基元反应活化能分别为： $E_1=242.7 kJ \cdot mol^{-1}$ ， $E_2=251 kJ \cdot mol^{-1}$ ， $E_3=12.6 kJ \cdot mol^{-1}$ ， $E_4=0 kJ \cdot mol^{-1}$ ，求总反应的表现活化能 E_a 。

五、A、B 二组分凝聚系统相图如图。(1) 标出图中各相区的稳定相；(2) 写出各三相线上的相平衡关系；(3) 绘出系统 a 步冷曲线的形状，并标明冷却过程中相变化情况。



物理化学试题

班号	
姓名	

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总分
分数											

一. 选择填空 (20 分)

1. 某系统在非等压过程中加热, 吸热 q , 系统温度从 T_1 升到 T_2 , 则此过程熵的增量为 (C)。
 $\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} n C_{p,m} dT$

A. $\Delta H = q$ B. $\Delta H = 0$ C. $\Delta H = \Delta U + \Delta(pV)$ D. $\Delta H = \int_{T_1}^{T_2} n C_{p,m} dT$

2. 某反应 $A + B \rightarrow C$, 已知 298K 时的标准摩尔反应焓 $\Delta_r H_m^\ominus(298K) = 80.14 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\Delta_r C_{p,m} = 0$, 则 1000K 时的 $\Delta_r H_m^\ominus(1000K)$ 为 (C)。

A. $\Delta_r H_m^\ominus(1000K) > \Delta_r H_m^\ominus(298K)$ B. $\Delta_r H_m^\ominus(1000K) < \Delta_r H_m^\ominus(298K)$

C. $\Delta_r H_m^\ominus(1000K) = \Delta_r H_m^\ominus(298K)$ D. $\Delta_r H_m^\ominus(1000K) = 0$ 相变热?

3. 焓的定义式 $H = U + pV$, 式中的 p 代表 (D)。

A. 系统总压力 B. 系统中各组分分压 C. 100kPa D. 外压

4. 某理想气体进行绝热自由膨胀, 其热力学能和焓的变化为 (A)。

A. $\Delta U = 0, \Delta H = 0$ B. $\Delta U > 0, \Delta H > 0$
 C. $\Delta U = 0, \Delta H \neq 0$ D. $\Delta U < 0, \Delta H < 0$

5. 在绝热恒容, $W = 0$ 的封闭体系内发生下列反应 $H_2(g) + \frac{1}{2} O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$, 使体系温度升高, 压力变大, 则过程的 ΔU (A); ΔH_m (D)。

ΔS_m (A)。

A. $\Delta S_m > 0$ B. $\Delta S_m = 0$ C. $\Delta S_m < 0$ D. 不能确定

6. 在一定压力下, 易挥发溶剂 A 中加入不挥发溶质 B 形成稀溶液, 在此稀溶液范围内 A 与 B 可形成固溶体, 此稀溶液的凝固点随 ϕ_B 的增加而 (B), 它的沸点随 p_B 的增加而 (A)。

A. 升高 B. 降低 C. 不发生变化 D. 无法判断

遵守考场纪律

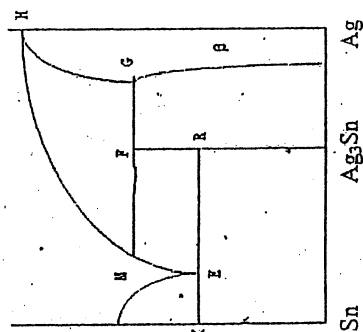
试题:

班号:

姓名:

填空题 (16分)

g-Sn 系统的相图如图:



(1) Ag_3Sn 是一种 _____ 化合物;

(2) E 点称为 _____, 在此温度时总

组成位于 ER 间的系统加热, 则发生的反应为

_____;

(3) MFG 对应的温度称为 _____,

此温度时对应总组成位于 MF 间的系统冷却,

发生的变化为 _____;

(4) 若有一定量的溶液冷却至刚得纯 Ag_3Sn 固体, 则应使溶液的组成介于

_____ 之间; 初始组成越接近

_____ 获得的纯 Ag_3Sn 固体就越多。

问答题: (20分)

指出下列各系统的独立组分数、相数和自由度

1) $\text{NH}_4\text{Cl}(\text{s})$ 部分分解为 $\text{NH}_3(\text{g})$ 和 $\text{HCl}(\text{g})$ 达平衡 (在抽空容器中)

2) 若在上述系统中额外的加入 $\text{NH}_3(\text{g})$ 。

试 题:

班号:

姓名:

2. 比较拉乌尔定律和亨利定律的异同点。

3. 在一定温度下, 纯 A (l) 和纯 B (l) 的饱和蒸汽压分别为 p_A^* 和 p_B^* , 由 A (l) 和 B (l) 形成的理想液态混合物的气相组成 y_B 与液相组成 x_B 存在何种函数关系?

4. 在一个密闭容器中存在大小不同的球形液滴, 经长时间恒温放置, 会发生什么现象?

试 题:

班 号:

姓 名:

9. 计算题 (44 分)

1 mol 的氢气 (假定为理想气体) 由 100°C , 400kPa 膨胀到 25°C , 100kPa , 求 ΔU 、 ΔH 、

ΔA 、 ΔG 、 ΔS 。已知 $S_m^\circ(\text{H}_2, 298\text{K}) = 130.58\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ 。

解:

$$\begin{array}{l} 1\text{ mol H}_2 \\ T_1 = 373\text{ K} \\ P_1 = 400\text{ kPa} \end{array}$$

$$\begin{array}{l} 1\text{ mol H}_2 \\ T_2 = 298\text{ K} \\ P_2 = 100\text{ kPa} \end{array}$$

试 题:

班号:

姓名:

2. 在真空的容器中放入固态的 NH_4HS , 于 25°C 下分解为 NH_3 和 H_2S , 平衡时容器内的压力为 66.66kPa .

- (1) 若放入 NH_4HS 的容器中已有 39.99kPa 的 H_2S , 求平衡时容器的压力?
- (2) 容器中原有 6.66kPa 的 NH_3 , 问需加多大压力的 H_2S 才能形成 NH_4HS 固体?

试 题:

班号:

姓名:

三、化学反应中随时监测物质A的含量, 1小时后发现A已作用了75%。试问2小时后A还

多少没有作用? 若该反应对A来说是:

(1) 一级反应。

(2) 二级反应。

物理化学 试题 (期中)

班号	
姓名	

题号	一	二	三	四	五	总分
分数						

一、填空 (30 分)

- 某化学反应在 300K、 P° 下在试管中进行时放热 60000J, 若在相同条件下通过可逆电池进行反应, 则放热 6000J, 该化学反应的嫡变 ΔS 为 ()。
(A) $-200 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ (B) $200 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ (C) $-20 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$ (D) $20 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
- 某化学反应 $2\text{A}(\text{g}) + \text{B}(\text{g}) = 2\text{C}(\text{g})$ 在 500K 下 恒容条件下反应了 1mol 反应进度时放热 10 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。若该反应气体为理想气体, 在 500K、恒压条件下同样反应了 1mol 反应进度, 则放热 ()。
(A) $7.92 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ (B) $-7.92 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
(C) $10 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ (D) 因数据不足, 无法计算
- 下属系统中属于非定域独立子系统的是 ()。
(A) 压力趋于零的理想气体 (B) 高压下的氧气
(C) 氯化钠晶体 (D) 常温下的水
- 温度一定时, 粒子在能级上的分布服从玻尔兹曼分布。当能级 $\epsilon_j = 2\epsilon_i$ 、简并度 $g_j = 2g_i$ 时, 在两能级上分布的粒子数之比 n_j/n_i 为 ()。
(A) $1/2e^{-\epsilon_j/kT}$ (B) $2e^{-\epsilon_j/kT}$ (C) $e^{-1/2 \cdot \epsilon_j/kT}$ (D) $e^{-\epsilon_j/kT}$
- 在一真空容器中, 将 CaCO_3 加热, 并达到下列平衡: $\text{CaCO}_3(\text{s}) = \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{g})$ 则此系统的组分数、相数、自由度分别是 ()。
(A) 1、3、0 (B) 2、3、1 (C) 3、3、2 (D) 2、2、2
- 1mol 某理想气体在恒压升温 1K 时, 此过程的体积功 W 为 ()。
(A) 8.314 J (B) -8.314 J
(C) 0 (D) 无法计算
- 在一定的 T 、 P 下, 一切相变化必然朝着化学势 () 的方向进行。
(A) 增大 (B) 减少 (C) 不变 (D) 不确定
- 在一定温度下, $p_A^* > p_B^*$, 由 A 和 B 形成的理想液态混合物, 当气-液两相平衡时, 气相的组成 y_B 总是 () 液相组成 x_B 。
(A) $>$ (B) $<$ (C) $=$ (D) 反比于
- 可逆过程是 ()。
(A) 变化速率无限小的过程 (B) 作最大功的过程
(C) 循环过程 (D) 能使系统与环境完全恢复原状的过程
- 在刚性密闭容器中, 有下列理想气体反应达平衡 $\text{Cl}_2(\text{g}) + \text{PCl}(\text{g}) = \text{PCl}_2(\text{g})$ 若在恒温下加入一定量的 $\text{N}_2(\text{g})$, 则平衡将 ()。
(A) 向右移动 (B) 向左移动 (C) 不移动 (D) 不确定

遵守考场纪律

注意行为规范

主管领导审核签字

试 题： 班号： 姓名：

二、简答题(10 分)

1 写出理想稀溶液各组分化学势的表达式，并注明标准化学势的含义。

三

2. 利用热力学一、二定律联合关系式及焓的定义证明 $(\delta H / \delta p)_s = V$

试题:

班号:

姓名:

三、计算:

1. (10分) 1mol CO(g) , 理想气体在 25°C 、 100kPa 时, 被 506kPa 的环境压力压缩到 200°C 的最终状态, 求此过程的 Q 、 W 、 ΔU 、 ΔH 、 ΔS 。

2. (10分) 已知反应 $\text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{NO}(\text{g})$ 的 $\Delta_f H^\circ$ 及 $\Delta_f S^\circ$ 分别是 $180\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 与 $24\text{J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$ 。设 $\Delta_f G^\circ = 0$ 。

(1) 计算当反应的 $\Delta_r G^\circ$ 为 $125\text{kJ}\cdot\text{mol}^{-1}$ 时的反应温度是多少?

(2) 反应在 (1) 温度下, 等摩尔比的 $\text{N}_2(\text{g})$ 与 $\text{O}_2(\text{g})$ 开始进行反应, 求反应达平衡时 $\text{N}_2(\text{g})$ 的平衡转化率。

试 题:

班号:

姓名:

四、 计算

1. (10 分) 20 °C 时, 纯二乙醚 [$(C_2H_5)_2O$] 的饱和蒸汽压为 58.95kPa, 今在 0.100kg 的二乙醚中加入 0.0100kg 某非挥发性有机物, 使二乙醚的蒸汽压下降到 56.79kPa. 求该有机物的摩尔质量。

2. (10 分) 设某理想气体 A, 其分子的最低能级是非简并的, 取分子的基态作为能量零点, 相邻能级的能量为 ϵ , 其简并度为 2, 忽略更高能级。写出 A 分子的总配分函数的表示式; 设 $\epsilon = kT$, 求出相邻两能级上最概然分子数之比 N_1/N_0 的值

试题:

班号:

姓名:

3. (10分) 苯乙烯在高温下易聚合, 故它的精制采用减压蒸馏。若控制蒸馏温度为 30°C , 已知苯乙烯的沸点是 145°C , 摩尔气化热为 40313J 。求蒸馏设备需达到的真空度 (Pa)。

试 题:

班号:

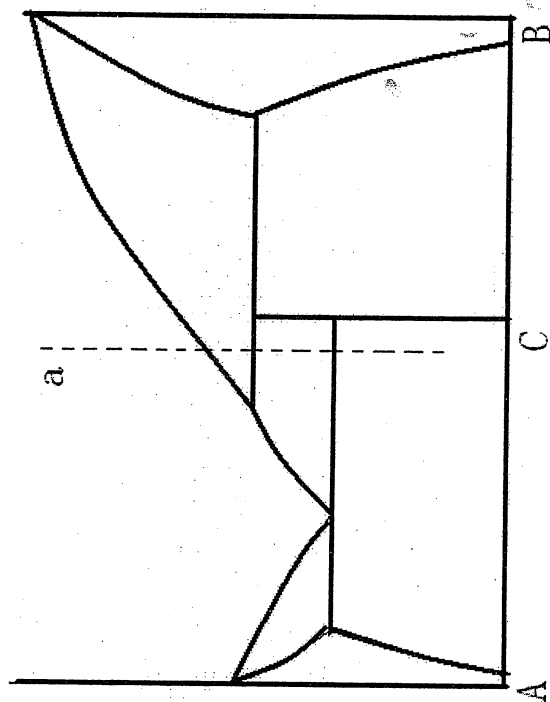
姓名:

五、A、B 二组分凝聚系统相图如图。(10分)

(1) 标出图中各相区的稳定相:

(2) 写出各三相线上的相平衡关系:

(3) 绘出系统 a 步冷却过程的相变化情况。



物理化学 试题

班号	
姓名	

题号	一	二	三	四	五	六	七	八	九	十	总分
分数											

注意行为规范

一、填空 (20 分)

1. 将 CaCO_3 (s), CaO (s) 和 CO_2 (g) 以任意比例混合, 放入一密闭容器中, 在一定温度下建立化学平衡, 则系统的独立组分数 $C =$ (2), 相数 $\phi =$ (3), 自由度 $F =$ (0)。
2. 使一过程的 $\Delta S = 0$, 则应满足的条件是 (绝热可逆过程)。
3. 理想气体在恒温下向真空膨胀, 为判断反应方向用 (ΔA , ΔG)。
4. n mol 单原子理想气体 ($C_{V,m} = 5R/2$), 恒压升高温度从 T_1 至 T_2 , $\Delta U =$ ($\frac{5}{2}nR(T_2 - T_1)$), $\Delta p = nC_{p,m}dT$, $\Delta U = nC_{p,m}dT$ 。
5. 定容条件下某二级反应, 反应物消耗 1/3 所需的时间为 10 min, 则再消耗相同量还需时间为 (30 min)。
6. 某反应的速率常数 $k = 4.62 \times 10^3 \text{ min}^{-1}$, 则反应的半衰期为 (15.00 min)。
7. 1 mol 单原子理想气体从温度为 300 K 绝热膨胀到 100 K 时, 其焓变为 (-417.1 J)。
8. 测得氯仿 (CHCl_3) 的 $x = 0.900$ 时氯仿-丙酮溶液的蒸气压为 29.4 kPa, 蒸气中丙酮的摩尔分数为 0.181, 同温下纯氯仿的饱和蒸气压为 29.6 kPa, 则溶液中 CHCl_3 的活度系数为 (0.904), $P_{Cl} = 28.6 \text{ kPa}$ 。

二、简答 (20 分)

1. 反应的 $\Delta_r G_m$ 和 $\Delta_r G_m^\circ$ 有何异同? 如何理解各自的物理意义?

答: $\Delta_r G_m$

主管领导审核签字

遵守考场纪律

1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 17. 18. 19. 20. 21. 22. 23. 24. 25. 26. 27. 28. 29. 30. 31. 32. 33. 34. 35. 36. 37. 38. 39. 40. 41. 42. 43. 44. 45. 46. 47. 48. 49. 50. 51. 52. 53. 54. 55. 56. 57. 58. 59. 60. 61. 62. 63. 64. 65. 66. 67. 68. 69. 70. 71. 72. 73. 74. 75. 76. 77. 78. 79. 80. 81. 82. 83. 84. 85. 86. 87. 88. 89. 90. 91. 92. 93. 94. 95. 96. 97. 98. 99. 100.

2. 溶剂加入溶质后, 就会使溶液的蒸气压降低、沸点升高、凝固点降低, 这种说法是否正确? 为什么?

三

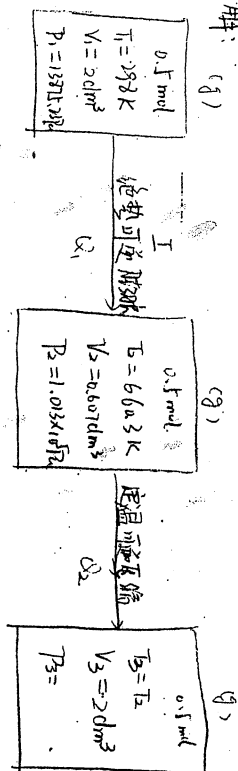
3. 写出兰格缪尔吸附等温方程并说明其适用条件是什么?

4. 化学反应的级数和反应的分子数有什么区别和关系? 结合书 91 页.

三、计算 (42分)

1. 0.5mol 单原子理想气体由 25°C , 2dm^3 绝热可逆膨胀到 $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$, 然后在此状态的温度下定温可逆压缩到 2dm^3 . 计算整个过程的 Q , R , ΔU , ΔH , ΔS .

解:



$$P_2 V_2^{\gamma} = P_1 V_1^{\gamma}$$

$$P_2 = \frac{nRT_2}{V_2} = \frac{0.5 \times 8.314 \times 660.3}{0.607} \text{ Pa} = 1.3875 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\text{单原子理想气体 } \gamma = \frac{5}{3} = \frac{C_p}{C_v}$$

$$P_2 V_2^{\gamma} = P_1 V_1^{\gamma} \Rightarrow V_2 = 0.607 \text{ dm}^3$$

$$T_2 = \frac{P_2 V_2}{nR} = \frac{1.013 \times 10^5 \times 0.607}{0.5 \times 8.314} \text{ K} = 660.30 \text{ K}$$

过程 I:

$$Q_1 = 0, \Delta U_1 = \int n C_{v,m} dT = n \int \frac{3}{2} R dT = n \frac{3}{2} R (T_2 - T_1) = 0.5 \times \frac{3}{2} \times 8.314 \times (660.3 - 298) \text{ J} = 2259.26 \text{ J}$$

$$W = \Delta U = 2259.26 \text{ J}, \Delta H = \int n C_{p,m} dT = 0.5 \times \frac{5}{2} \times 8.314 \times (660.3 - 298) \text{ J} = 3765.4 \text{ J}$$

过程 II:

$$\Delta U_2 = \Delta H_2 = 0$$

$$Q_2 = Q = -W_2 = \int P dV = \int_{V_2}^{V_3} \frac{nRT}{V} dV = nRT \ln \frac{V_3}{V_2} = 0.5 \times 8.314 \times 660.3 \times \ln \frac{2}{0.607}$$

$$= 3273.10 \text{ J}$$

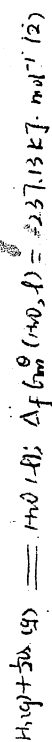
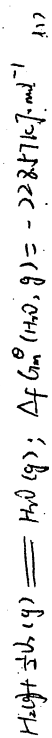
$$W = -3273.10 \text{ J}$$

$$\Delta S_2 = \int \frac{dQ}{T} = \int \frac{dQ_{rev}}{T} = \frac{Q_2}{T} = \frac{3273.10 \text{ J}}{660.3 \text{ K}} = 4.96 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 3273.10 \text{ J}, \Delta H = W_1 + W_2 = (2259.26 - 3273.10) \text{ J} = -1013.8 \text{ J}$$

2、已知 25°C 时, $\Delta_f G_m^\ominus(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) = -228.57 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, $\Delta_f G_m^\ominus(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) = -237.13 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$, 试求 25°C 时 (1) 水蒸发过程的 $\Delta_r G_m^\ominus$; (2) 水的饱和蒸气压 $P(\text{H}_2\text{O})$ 。

解: (1)



$$(3) = (1) - (2);$$

由盖斯定律

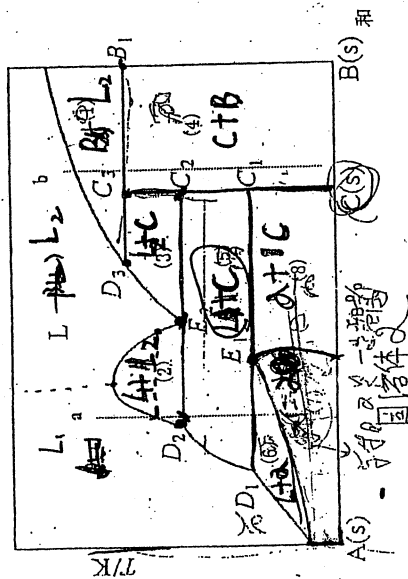
$$\begin{aligned} \Delta_{\text{vap}} G_m^\ominus &= \Delta_f G_m^\ominus(\text{H}_2\text{O}, \text{g}) - \Delta_f G_m^\ominus(\text{H}_2\text{O}, \text{l}) \\ &= (-228.57 + 237.13) \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \\ &= 8.56 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1} \end{aligned}$$

3. 在 T 温度时, 纯 A(l) 和纯 B(l) 的饱和蒸汽压分别是 40kPa 和 120kPa 。已知 A(l) 和 B(l) 可形成理想液态混合物。(1) 在 T 温度下, 将 $y_A=0.6$ 的 A 和 B 混合气体与气缸中进行恒温缓慢压缩, 求凝结出第一滴微小液滴时系统的总压力及小液滴的组成 x_A 。(2) 若液态溶液刚好在温度 T 、 100kPa 下沸腾, 求此溶液的组成 x_A 及沸腾时蒸汽的组成 y_A 。

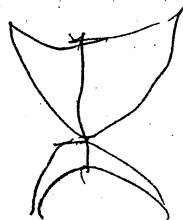
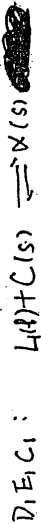
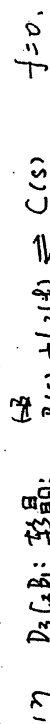
四、相图分析 (18 分)

已知 A-B 二元凝聚态相图如图所示。

- (1) 标出图中各相区相态及自由度。
- (2) 指出各水平线上的相态和自由度。
- (3) 描绘 a、b 系统的步冷曲线，并标出冷却过程中的相态变化。



1) 如图。



[illegible]

一、海内(20分)

一级反应的特点_____，胶粒数_____和_____。
带电，分子分散系统粒子的_____为_____，反应分子数只能是_____。
二级反应以_____对 t 作图得一直线，直线的斜率为_____。阿仑尼乌斯公式中的
 $e^{-\frac{E_a}{RT}}$ 的含义是_____。电解池的阳极发生_____反应，三级反应的半衰
期_____。液体对固体完全润湿和完全不润湿，接触角分别为_____。
和_____。使溶胶完全聚沉所需电解质质的最低浓度，称为电解质对溶胶的_____。
一定体积的水分成许多小水滴，下列物理量，（1）表面自由能，2表面张力，3液面
的附加压力，4饱和蒸汽压，5比表面，6对固体的润湿性），不变的量有_____，增加
的量有_____，减少的量有_____。处理复合反应常用的近似方法有_____。
和_____。三维平动子第一激发态的简并度是_____和_____。

二 判断 (10 分)

- 1、二级反应反应物转化同一百分数，则 $t_{1/2}$ 越小所需时间越短。（ ）
- 2、弯曲液面产生的附加压力总是指向曲面的中心。（ ）
- 3、质量作用定律只适用基元反应（ ）
- 4、弯曲液面液体的饱和蒸气压总是大于平面液体的饱和蒸气压（ ）
- 5、表面活性物质是指那些加入到溶液中可以降低溶液表面张力的物质。（ ）
- 6、皂解硫酸铜溶液时，溶液的PH值增加。（ ）
- 7、某反应的 $\Delta U_m < 0$ 则该反应的活化能也小于零。（ ）
- 8、平行反应两个速率常数之比不随温度变化。（ ）
- 9、波兰兰曼力而就是最曼然分布，也是平衡分布。（ ）
- 10、反应物反应速率 $\frac{1}{4}$ 是反应速率 $\frac{1}{2}$ 所需时间的2倍，则该反应是一级反应（ ）

三
三
三
三
三

反应分子数 5 分单位

四 选 择 (20 分)

1 基元反应中反应级数 n 和反应分子数 m 的关系。()

a $m > n$ b $m < n$ c $m = n$

2 同种液体在相同温度下受到的压力。()

a $P_A > P_B > P_C$ b $P_A > P_B > P_C$ c $P_A > P_B > P_C$

3 在 As_2S_3 负溶胶中, 聚沉力最强的是。()

a Na_2SO_4 b $NaCl$ c $AlCl_3$ d $MgSO_4$

4 复合反应 $A \rightarrow 2B$ dB/dt 为 ()

a $2k_1[A] - 2k_2[B]$ b $2k_1[A] - 2k_2[B]^2$ c $2k_1[A] - k_2[B]^2$

5 某反应的 C_0 减少一半, 则 $t_{1/2}$ 也减少一半, 该反应为 ()

a 零级 b 一级 c 二级 d 三级

7 0.1 mol/kg $NaCl$ 水溶液的离子平均活度系数为 0.219, 则电解质的平均活度。()

a 0.0219 b 0.00219 c 0.0524 d 0.00524

8 毛细管中的液体向哪个方向移动 ()

a 向左 b 向右 c 不动 (缺图示!)

9 对一级反应下列说法正确的是。()

A 半衰期与初始浓度成正比 B $\frac{1}{C}$ 作图位一条直线

C 速率常数的单位 (s^{-1}) D 只有一种反应物质

10 光化学反应的量子效率总是。()

A 大于 1 B 小于 1 C 等于 1 D 不确定

1 等浓度的 0.1 mol/L 的 AgNO_3 和 0.1 mol/L 的 NaCl 混合制 AgCl 凝胶，写出凝胶条件，指出凝胶在外电场中的运动方向，并比较电解质 CaCl_2 MgSO_4 Na_2SO_4 NaNO_3 对凝胶的聚沉能力

2 20℃时，水的表面张力为 0.0728 N/m ，汞的表面张力为 0.483 N/m ，汞和水的表面张力为 0.375 N/m ，判断水能否在汞的表面上铺展

六计算 (30 分)

1 (15 分)

乙醛分解反应的机理为



用稳态法导出生成甲烷的速率方程，并求生成甲烷的表现活化能。已知

$$E_1 = 318 \text{ kJ/mol}$$

$$E_2 = 41.84 \text{ kJ/mol}$$

$$E_3 = 75.3 \text{ kJ/mol}$$

$$E_4 = 0$$

2 (10 分)

水中含有直径为 $1.0 \times 10^{-3} \text{ mm}$ 的空气泡，求这样的水开始沸腾的温度。已知水的表面张力

为 0.0689 N/m ，汽化热为 40.56 kJ/mol ，水的密度 $\rho = 958.4 \text{ kg/m}^3$

3 (5 分)

以知某反应的速率常数与温度的关系为 $\ln k = -\frac{46290}{T} + 40$ 求反应的活化能

标准答案

— $1 \times 20 = 20$ 分

$\ln c \rightarrow$ 作图位一重数 $t_1 = \frac{0.69}{k_1}$ 吸附 小于 1mm 正整数

1. $\frac{1}{C}$ K_2 活化分子百分数 氧化 $t_1 = \frac{3}{2K_2C_0^2}$ 0° 180° 聚

沉值 2, 6 1, 3, 4, 5 无 稳态法 平衡浓度法

3

二 $1 \times 10 = 10$ 分

错 对 对 对 错 错 错 对

三 $1 \times 10 = 10$ 分

1. 溶质在溶液表面层中与本体溶液中浓度不同的现象
 2. 在一定温度下, 基元反应的反应速率和反应物的浓度以其系数为幂的乘积成正比。
 3. 恒温恒压下, 单位表面层上的分子较同数量的内部分子多出的那部分吉布斯自由能
 4. 基元反应中, 直接作用反应物分子总数的总数目。
 5. 电极的可逆电势与不可逆电势之差的对数值。
- 四 $2 \times 10 = 20$ 分 1C 2 b 3c 4b 5a 6d 7a 8a 9c 10d
- 五 10 分 1 $[AgCl]_s, nAg^+ \cdot n - xNO_3^-]^{x-} \cdot xNO_3^-$ 2分

在外电场中向负极移动 1分

$Na_2SO_4 > MgSO_4 > CaCl_2 > NaNO_3$ 2分

2 $S = 0.483 - 0.0723 - 0.375 = 0.0352$ 3分

铺展系数大于零, 所以水可以在汞的表面铺展 2分

六 (30 分) $\frac{dc(CH_4)}{dt} = k_2(CH_4)(CH_3CHO)$ 2分

$$\frac{d(\text{CH}_3)}{dt} = k_1(\text{CH}_3\text{CHO}) - k_2(\text{CH}_3\text{CHO}) + k_3(\text{CH}_3\text{CHO}) - k_4(\text{CH}_3)^2 = 0 \quad 3\text{分}$$

$$\frac{d(\text{CH}_3\text{CHO})}{dt} = k_1(\text{CH}_3\text{CHO}) - k_2(\text{CH}_3\text{CHO}) = 0 \quad 3\text{分}$$

$$(\text{CH}_3)^2 = \sqrt{\frac{k_3}{k_4}} (\text{CH}_3\text{CHO}) \quad 3\text{分}$$

$$\frac{d(\text{CH}_3)}{dt} = k_2 \sqrt{\frac{k_4}{k_3}} (\text{CH}_3\text{CHO})^{\frac{3}{2}} \quad 2\text{分}$$

$$E_2 = E_1 + \frac{1}{2}(E_1 - E_2) = 41.84 + \frac{1}{2} \times 318 = 200.84 \text{ kJ/mol} \quad 2\text{分}$$

(3) 10 分

气泡受的压力

$$P = P^0 + \Delta P = 101325 + \frac{2 \times 58.9 \times 10^{-3}}{\frac{1}{2} \times 10^{-4}} = 336.925 \text{ kPa} \quad 3\text{分}$$

$$100^\circ\text{C} \text{ 时泡内水的蒸气 } \ln \frac{P_1}{P_2} = -\frac{2\sigma M}{RT\Delta r} = -\frac{2 \times 58.9 \times 10^{-3} \times 18}{958.4 \times 8.314 \times 373 \times 0.5 \times 10^{-6}} \quad 2\text{分}$$

$$\ln \frac{P_1}{101325} = -1.426 \times 10^{-3} \quad P_1 = 101.181 \text{ kPa} \quad 2\text{分}$$

$$\ln \frac{P_2}{P_1} = -\frac{\Delta H}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad 2\text{分}$$

$$T_2 = 411 \text{ K} \quad 1\text{分}$$

$$\frac{E_a}{R} = 46290 \quad 3\text{分}$$

$$E_a = 46290 \times 8.314 = 384.85 \text{ kJ/mol} \quad 2\text{分}$$





高联教育集团
GAOLIAN EDUCATION

考研，是两分计划、三分辅导、五分执行。执行力是考研成功乃至人生成功的关键。提升执行力，自我约束是前提，同时还要注意细节。

走自己的路，不要太注意别人的评价，正常人受到的评价总是有褒有贬。人越优秀，褒的人多，贬的人也会多，不能因为别人的评价而不奋斗，也不能因为优秀就不允许别人贬低。

—— 高联执行校长 周勇

济南总部地址：山东省济南市山大南路 29-1 号山大鲁能科技大厦 B 座 2 层
考研成功热线：0531-88924849/88922202/88925333



高联教育集团
GAOLIAN EDUCATION