

南京大学二〇〇六年攻读硕士学位研究生入学考试试题(三小时)

考试科目名称及代码 材料化学

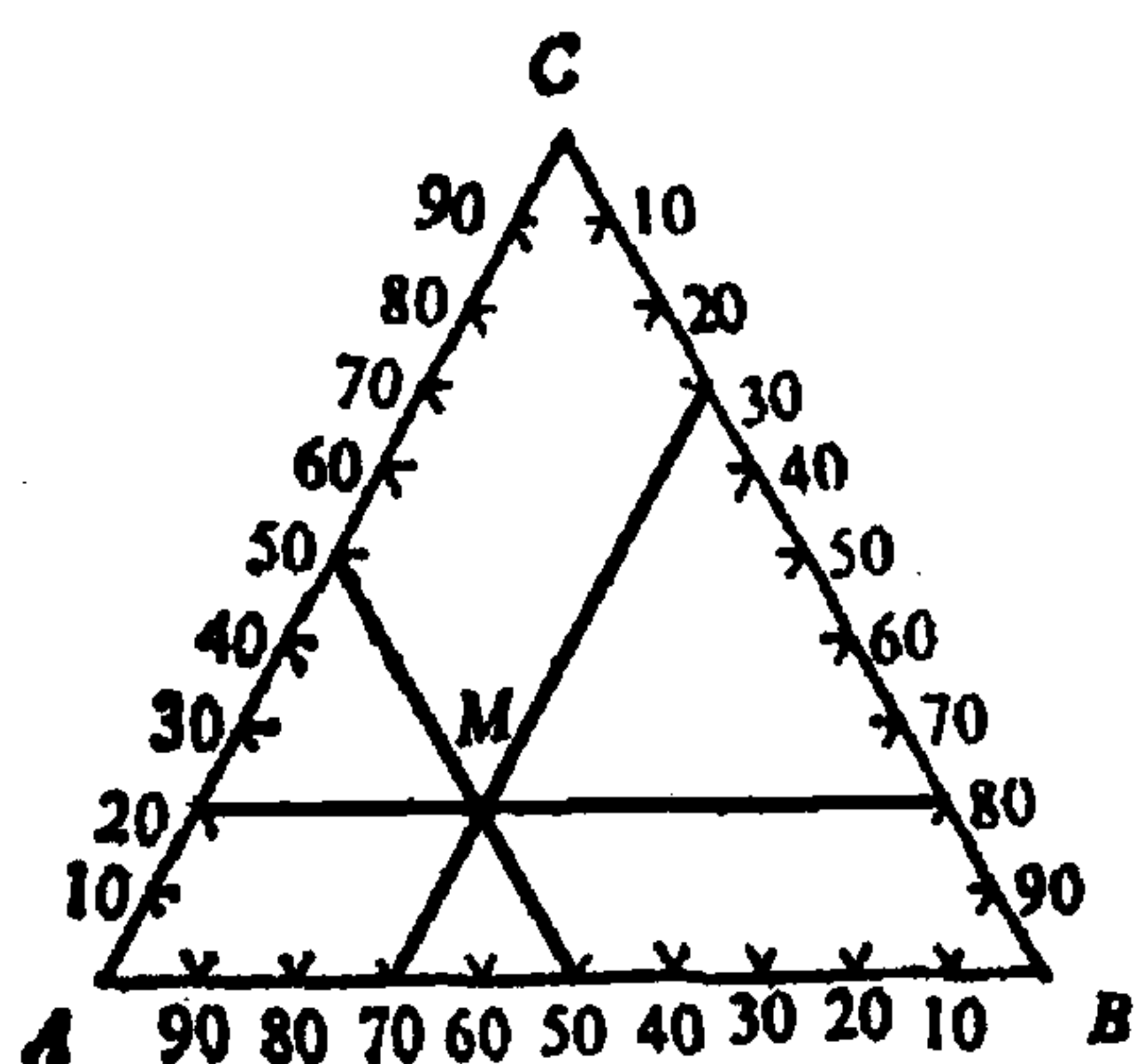
适用专业: 材料化学

注意:

1. 所有答案必须写在“南京大学研究生入学考试答题纸”上, 写在试卷和其他纸上无效;
2. 本科目允许使用普通计算器。

一、 填空题(40 分, 每空 1 分)

1. 在一带活塞(设无摩擦无质量)的容器中有氮气 0.5 mol, 容器底部有一密封小瓶, 瓶中有液体水 1.5 mol, 整个系统的温度为 100 °C, 压力为 101.3 kPa。今使小瓶破碎, 在维持 101.3 kPa 下水全部蒸发为水蒸气, 终态温度仍为 100 °C。已知水在 100 °C、101.3 kPa 下的汽化焓为 40.67 kJ · mol⁻¹, 氮气和水蒸气均按理想气体考虑。此过程的 Q 61.01 kJ, W ? .65 kJ, ΔU 56.36 kJ, ΔH 61.01 kJ, ΔS 172.9 J/K, ΔA ? .13 kJ, ΔG ? .48 kJ。
2. 一定量的理想气体由同一始态压缩到同一终态压力 p, 定温压缩过程的的体积为 V, 可逆绝热压缩过程的体积为 V, 则 V ≥ V。(选填>、=、<)
3. 等式 $(\frac{\partial U}{\partial V})_T = (\frac{\partial U}{\partial p})_T = (\frac{\partial H}{\partial V})_T = 0$ 适用于 理想气体。
4. 已知 37.0 °C 时水的体积质量为 998.2 kg · m⁻³, 水的凝固点降低系数 $k_f = 1.86 K \cdot kg \cdot mol^{-1}$ 。血浆可视为稀溶液。若人的血浆的凝固点为 -0.560 °C, 则 37.0 °C 时血浆的渗透压 776 kPa。
5. 下图是 A、B、C 三组分系统相图的等边三角形表示法。请写出系统中 M 所代表的系统组成(以摩尔分数表示): $x_A = \underline{50\%}$, $x_B = \underline{30\%}$, $x_C = \underline{20\%}$ 。



6. 写出标准平衡常数的定义式 $K^\ominus = e^{\frac{-\Delta_r G_m^\ominus}{RT}}$ ，写出标准平衡常数与温度的

$\left(\frac{\partial \ln K^\ominus}{\partial T}\right)_p = -\frac{\Delta_r H_m^\ominus}{(RT)^2}$ 关系式(范特霍夫方程式) $d \ln K^\ominus / dT = \frac{\Delta_r H_m^\ominus}{(RT)^2}$ 。

$\Delta G = -RT \ln K$

$\left(\frac{\partial \ln K}{\partial T}\right) = \frac{\Delta H}{RT^2}$

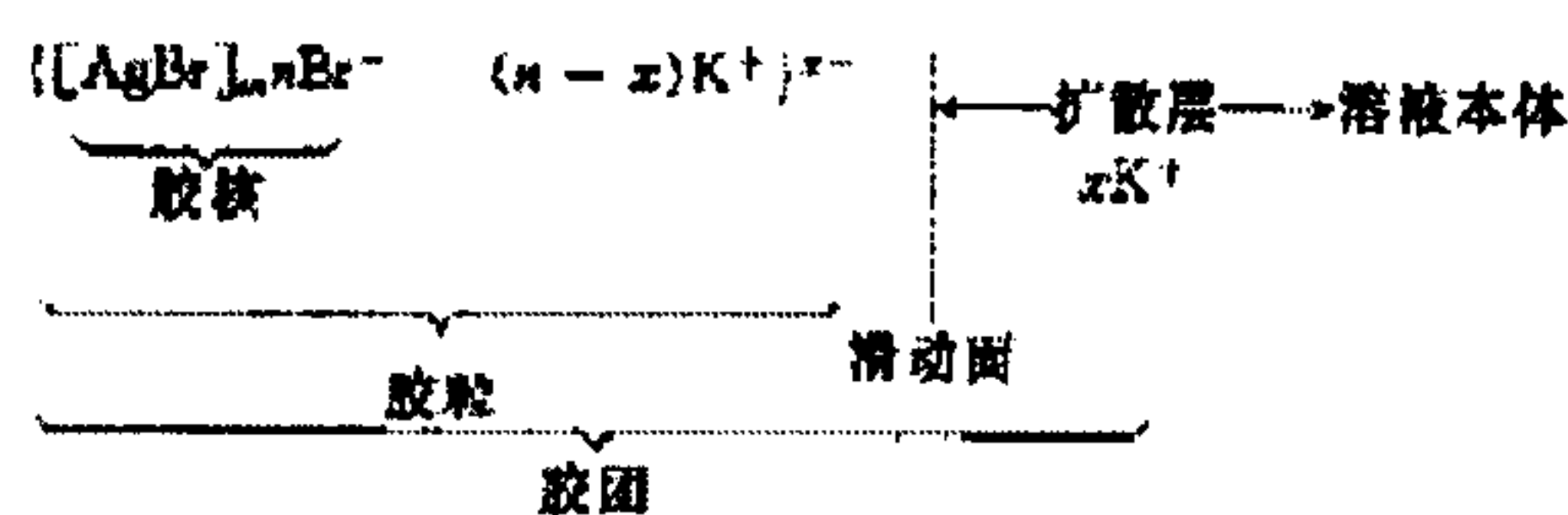
7. 根据理论分析，填写下表(选填“向左”或“向右”)：

	平衡移动方向		
	升高温度 (p 不变)	加入惰性气体 (T、p 不变)	升高总压力 (T 不变)
放热 $\sum \nu_B(g) > 0$	向左	向右	向左
吸热 $\sum \nu_B(g) < 0$	向右	向左	向右
吸热 $\sum \nu_B(g) > 0$	向右	向右	向左

8. 反应活化能 $E_a = 250 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ ，反应温度从 300 K 升高到 310 K，速率系

数 k 增加 25.36 倍。 $\frac{k_{(310K)}}{k_{(300K)}} = 25.36$

9. 某学生想制备一在电泳实验中朝正极运动的 AgBr 溶胶，那么在浓度为 $0.016 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ，体积为 0.025 dm^{-3} 的 AgNO_3 溶液中加入浓度为 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ 的 KBr 溶液 远大于 8 cm^3 ，所制得的 AgBr 溶液的胶团结构表



示式为：_____。物质的量浓度相同的 NaCl、CuCl₂、AlCl₃、Na₂SO₄、Na₃PO₄等溶液，其中聚沉能力最大的为 AlCl₃ 溶液。

10. ζ 电势在量值上 小 于热力学电势 ψ_e ；当外加电解质浓度增加时， ζ 电势在量值上变 小。

11. 有机物数目庞大，其中一个原因就是有机物的同分异构。同分异构可分为 构造异构 和 立体异构 两大类。

12. 当等体积的 $0.4 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的水溶液与 $0.3 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的水溶液混合，混合溶液的离子强度 $I = 0.65 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。 0.42 mol ?

13. 临界状态下，由于 界面消失，所以液体的表面张力 趋近于零。

14. 某电解质溶液，其中含 $0.01 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 CuSO₄ 及 $0.1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的 ZnSO₄，在 298.15 K 进行电解：

(1) 计算 Zn 的平衡电极电势 $E(\text{Zn}^{2+} | \text{Zn}) = -0.7924 \text{ V}$ ，Cu 的平衡电极电势

$E(\text{Cu}^{2+} | \text{Cu}) = 0.2810 \text{ V}$ ，(设 CuSO₄ 及 ZnSO₄ 溶液中 Cu²⁺ 及 Zn²⁺ 的活度因子均为 1)。已知 298.15 K 时， $E^\ominus(\text{Cu}^{2+} | \text{Cu}) = 0.3042 \text{ V}$ ， $E^\ominus(\text{Zn}^{2+} | \text{Zn}) = -0.7628 \text{ V}$ 。

(2) 若不考虑金属的析出超电势，则 Cu 金属首先在阴极上还原。

15. 在气体被固体吸附的过程中，其熵变 $\Delta S \leq 0$ ，焓变 $\Delta H \leq 0$ 。

二、 选择题(30 分，每题 2 分)

1. 理想气体定温自由膨胀过程为

(D)

- (A) $Q > 0$;
 (B) $\Delta U < 0$;
 (C) $W < 0$;
 (D) $\Delta H = 0$ 。
2. 对于封闭系统来说，当过程的始态、终态确定后，下列各项中没有确定值的是 (A)
 (A) Q ;
 (B) $Q + W$;
 (C) $W (Q = 0)$;
 (D) $Q (W = 0)$ 。
3. 已知：373.17 K，101325 Pa 液态水的化学势为 μ_1 ，373.17 K，101325 Pa 水蒸气的化学势为 μ_2 ，373.17 K，202650 Pa 液态水的化学势为 μ_3 ，373.17 K，202650 Pa 水蒸气的化学势为 μ_4 ，下列关系正确的是 (A)
 (A) $\mu_4 > \mu_3 > \mu_2 = \mu_1$;
 (B) $\mu_3 > \mu_4 > \mu_2 = \mu_1$;
 (C) $\mu_2 = \mu_1 > \mu_4 > \mu_3$;
 (D) $\mu_2 = \mu_1 > \mu_3 > \mu_4$ 。
4. 将 20 g 的 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 和 60 g 的 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 分别放入抽真空、同容积的 A 容器和 B 容器中，且与同一定温热源相接触，达到化学平衡时 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 部分分解为 $\text{CaO}(\text{s})$ 和 $\text{CO}_2(\text{g})$ ，若忽略固体体积，则两容器中 $\text{CaCO}_3(\text{s})$ 的分解量为：(C)
 (A) A 容器中的多;
 (B) B 容器中的多;
 (C) 一样多;
 (D) 无法确定。
5. 温度升高时，固体氧化物的分解压力(分解反应是吸热反应): (B)
 (A) 降低;
 (B) 增大;
 (C) 恒定;
 (D) 无法确定。
6. 对元反应 $A + 2B \rightarrow C$ ，若将其反应速率方程写为下列形式：

$$-\frac{dc_A}{dt} = k_A c_A c_B, \quad -\frac{dc_B}{dt} = k_B c_A c_B, \quad -\frac{dc_C}{dt} = k_C c_A c_B, \quad \text{则 } k_A、k_B、k_C \text{ 间的关系} \quad (C)$$

(A) $k_A = k_B = k_C$;

(B) $k_A = 2k_B = k_C$;

(C) $k_A = \frac{1}{2}k_B = k_C$;

(D) 无法确定。

7. 某反应 $A \rightarrow Y$ ，如果反应物 A 的浓度减少一半，它的半衰期也缩短一半，则该反应的反应级数 (A)

(A) 零级；

(B) 一级；

(C) 二级；

(D) 三级。

8. 向碘化银正溶胶中滴加过量的 KI 溶液，则所生成的新溶胶在外加直流电场中的移动方向为 (A)

(A) 向正极移动；

(B) 向负极移动；

(C) 静止不动；

(D) 无法确定。

9. 电动现象直接与 (C) 有关。

(A) 固体表面热力学电势 ψ_e ；

(B) Stern 电势 ψ_δ ；

(C) 动电电势 ζ ；

(D) 表面电荷密度。

10. 电解质的平均离子活度因子 $\gamma_\pm < 1$ ，主要原因是 (A)

(A) 正、负离子间的作用力大；

(B) 溶质与溶剂间的作用力大；

(C) 离子的溶剂化作用力大；

(D) 溶剂分子间的作用力大。

11. 无限稀薄的 KCl 溶液中，Cl⁻ 的迁移数为 0.505，该溶液中的 K⁺ 的迁移数为 (B)

(A) 0.505；

- (B) 0.495;
- (C) 67.5;
- (D) 64.3。

12. 液体表面分子所受合力的方向总是 (A)

- (A) 沿液体表面的法线方向, 指向液体内部;
- (B) 沿液体表面的法线方向, 指向气相;
- (C) 沿液面的切线方向;
- (D) 无确定方向。

13. 温度与表面张力的关系是 (A)

- (A) 温度升高表面张力降低;
- (B) 温度升高表面张力增加;
- (C) 温度对表面张力无影响;
- (D) 无法确定。

14. 某物质在溶液表面的吸附达到平衡时, 则该物质在表面的化学势 $\mu(\text{表})$

与溶液内部该物质的化学势 $\mu(\text{内})$ 的关系是 (C)

- (A) $\mu(\text{表}) > \mu(\text{内})$;
- (B) $\mu(\text{表}) < \mu(\text{内})$;
- (C) $\mu(\text{表}) = \mu(\text{内})$;
- (D) 无法确定。

15. 通过电动势的测定, 可以求出难溶盐的活度积, 现欲求 AgCl 的活度积, 则应设计的原电池为 (C)

- (A) $\text{Ag}(s) | \text{AgCl}(s) | \text{HCl}(aq) | \text{Cl}_2(p^\ominus) | \text{Pt}$;
- (B) $\text{Pt} | \text{Cl}_2(p^\ominus) | \text{HCl}(aq) | \text{AgCl}(s) | \text{Ag}(s)$;
- (C) $\text{Ag}(s) | \text{AgNO}_3(aq) || \text{HCl}(aq) | \text{AgCl}(s) | \text{Ag}(s)$;
- (D) $\text{Ag}(s) | \text{AgCl}(s) | \text{HCl}(aq) || \text{AgNO}_3(aq) | \text{Ag}(s)$ 。

三、简答题(40 分)

1. 有机物分子中的电子效应是影响有机物性质的重要因素之一, 试简述诱导效应? (4?)

答：由二个相同的原子构成共价键时，电子云均匀地分布在二个原子核之间。当由不相同的二个原子构成共价键时，由于电负性的差异。成键电子将向电负性较大的原子一端偏移。在这种分子中，电负性较大的原子具有微负电荷(或称部分负电荷)；电负性较小的原子则具有微正电荷(或称部分正电荷)。进而还将影响到整个分子的电子云密度分布和分子的性质。这种效应就成为诱导效应。

2. 试比较和说明金属的化学腐蚀和电化学腐蚀的不同特征？(4?)

答：金属的化学腐蚀——金属在高温气氛中或与非导电的有机介质接触时的纯化学作用而发生的腐蚀；

金属的电化学腐蚀——金属在潮湿的环境中发生的电化学作用而发生的腐蚀。

3. 试用吉布斯相律论证下列结论的正确性：(4?)

(1) 纯物质在一定压力下的熔点为定值。

(2) 纯液体在一定的温度下有一定的蒸气压。

答：

(1) $C=1, \phi=2$ ，因压力一定， $f' = C - \phi + 1 = 1 - 2 + 1 = 0$ ，故熔点为定值。

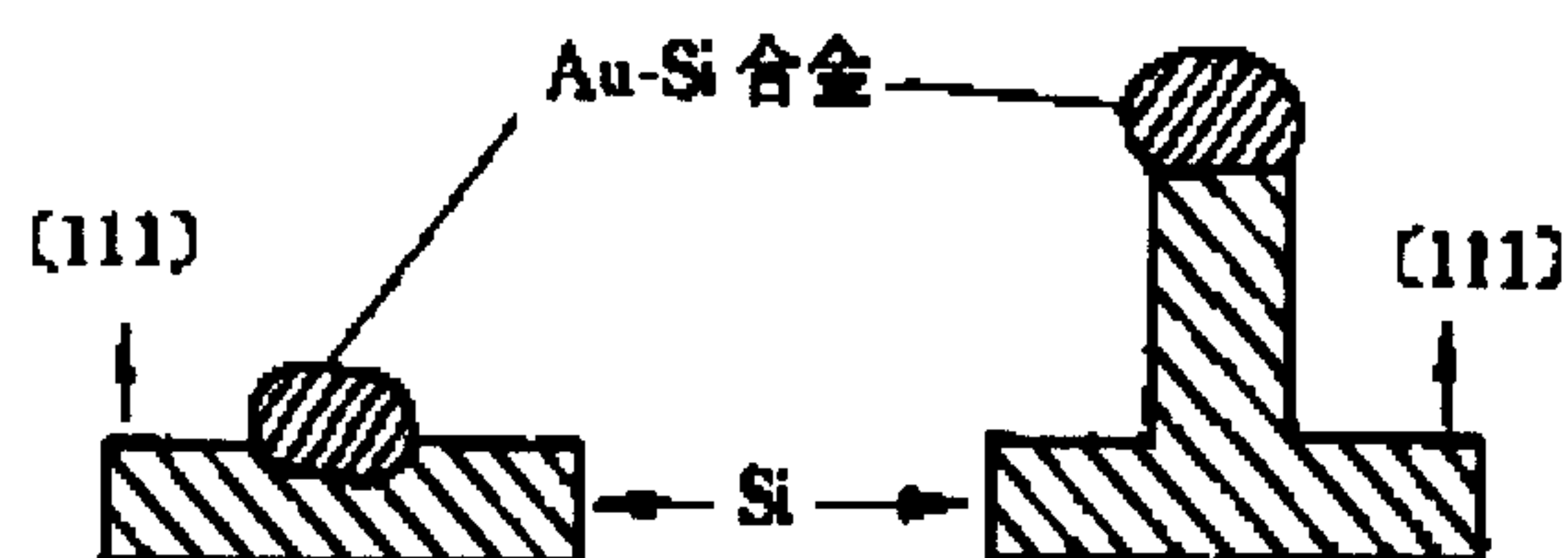
(2) $C=1, \phi=2$ ，因 T 一定， $f' = C - \phi + 1 = 1 - 2 + 1 = 0$ ，故蒸气压为定值。

4. 在做重量分析实验时，为了尽可能使沉淀完全，通常加入大量电解质(非沉淀剂)，或将溶胶适当加热，试从胶体分散系统观点出发，解释其原因？(4?)

答：加入大量电解质可显著降低动电电势，使溶胶聚沉。适当的加热可加快胶粒的碰撞的频率，从而使聚沉机会增加。两者均有利于沉淀完全。

5. 在一维纳米材料的制备中，很多要用到气—液—固生长机制(即：V-L-S法)，试简述 V-L-S 法的基本原理？(4?)

答：



将一颗金粒放在单晶硅衬底上，加热至 370°C 以上时，金与硅即可形成低共熔合金，在硅面上产生一个硅在金中的溶液滴。将混合气体 H_2 与 SiCl_4 引入液滴，在其表面发生还原反应。被还原出的硅使液滴中的硅的浓度变大以致过饱和，过量的硅将沉积在衬底上。随着上述过程的进行，沉积的硅逐渐加厚，形成一个硅的棱柱将液滴托在上面。利用这种方法可生长绢丝状晶须，并且同时能生长多根。这种方法在薄片生长、大块晶体生长及外延膜生长中都有应用。

- ✓ 6. 溶胶—凝胶法(即:Sol-Gel 法)是在现代材料制备中经常采用的一种方法，试简述 Sol-Gel 法的基本原理及其特点？(4?)

答：Sol-Gel 法的基本原理是：前驱体(或称无机原体)溶于溶剂中(水或有机溶剂)，形成均匀溶液，溶质与溶剂发生水解(或醇解)反应，反应生成物聚集成 1 nm 左右的粒子并形成溶胶，溶胶经蒸发干燥形成具有一定空间结构的凝胶，再经热处理制备出所需要的无机晶体材料。前驱体一般是使用金属醇盐或烷氧基化合物。制得的无机晶体材料，可以是颗粒粉料，也可以是薄膜或纤维等。

- B 7. 为什么很稀的电解质溶液还会对理想稀溶液的热力学规律发生偏移？(4?)

答：电解质溶液中离子间静电相互作用力是远程力，所以即使很稀的电解质溶液，其离子间相互作用力仍然很强，故必然引起其与理想稀溶液热力学规律的偏差。

8. 简述朗缪尔单分子层吸附理论的基本假设，并根据基本假设推导出吸附

$$\text{等温式 } \theta = \frac{bp}{1+bp} \text{。? (4?)}$$

答：(1)吸附是单分子层的；(2)吸附剂表面是均匀的；(3)被吸附分子间无相互作用；(4)吸附和解吸可建立动态平衡。

根据假设可推导：

$$\text{设 } \theta = \frac{\text{被吸附气体覆盖的固体表面积}}{\text{固体总表面积}}$$

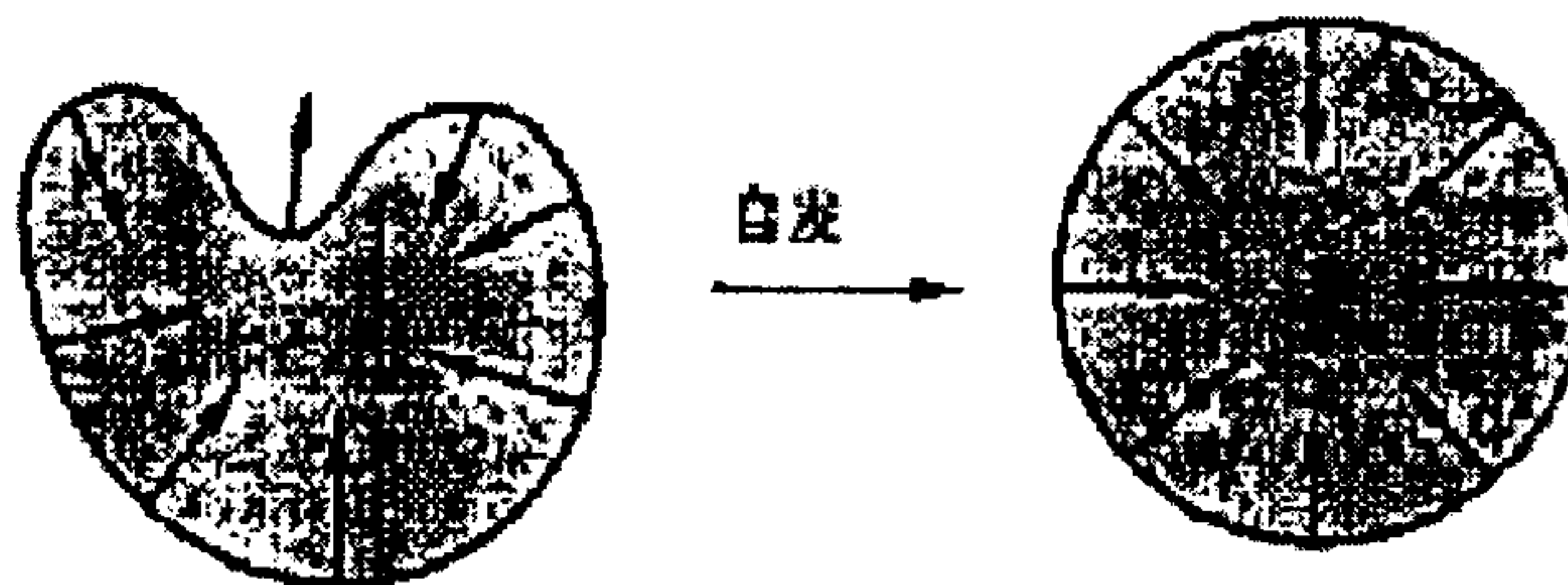
则吸附速率 $v_a = k_1 p_a (1 - \theta)$ ；解吸速率 $v_d = k_{-1} \theta$ 。

当吸附达平衡时， $v_a = v_d$ ，即 $k_1 p_a (1 - \theta) = k_{-1} \theta$

$$\text{令 } b = \frac{k_1}{k_{-1}}, \text{ 代入移项整理得: } \theta = \frac{bp}{1 + bp}$$

9. 试解释为什么自由液滴或气泡(即不受外加力场影响时)通常都呈球形?
(4?)

答：若自由液滴或气泡呈现不规则形状，如下图所示，则在曲面上的不同部位，曲面的弯曲方向及曲率各不相同，产生的附加压力的方向和大小也不同。在凸面处附加压力指向液滴内部，而凹面处附加压力的指向则相反，这种不平衡力比迫使液滴自动调整形状，最终呈现球形。因为只有呈现球形，球面的各点曲率才相同，各处的附加压力也相同，液滴或气泡才会稳定存在。



10. 目前，能源问题是全世界共同面临的问题，而汽车发动机燃油效率的提高可在一定程度上减缓能源的消耗。(1)试根据你所学的知识，提出能提高汽车发动机燃油效率的方法。(2)若采用你所提出的方法，估算汽车发动机的效率？(4?)

答：(1)可使用陶瓷发动机来替代目前所用的发动机。(2) 铝合金的耐温极限为 350°C ，钢和铸铁的为 450°C ，最好的超级耐热合金的耐温极限也不能超过 1093°C ，如果用耐高温的陶瓷，如氮化硅陶瓷等代替合金钢制造陶瓷发动机，其工作温度可达 1300°C - 1500°C 。陶瓷发动机的热效率高，可节省 30% 的热能，而且工作效率比钢质发动机提高 45% 以上。根据卡诺循环热效率的计算： $\therefore \eta = 1 - \frac{T_c}{T_h}$

$$\therefore \eta_1 = 1 - \frac{400}{700} = 0.43$$

而 $\eta_2 = \eta_1 \times 1.3 = 0.43 \times 1.45 = 0.62$; $\eta_2 = 1 - \frac{T_c}{T_h'}$

即: $\eta_2 = 1 - \frac{T_c}{T_h'} = 0.62$

将 $T_c = 400K$ 代入上式得: $T_h' = 1053K$

四、 一些金属在空气中氧化时，其氧化层厚度随时间的增长服从抛物线规律，这是为什么？从动力学角度看，应属于几级反应？(8?)

答：这些金属的氧化速率受到扩散控制，即取决于空气中的氧通过氧化层向金属表面的扩散速率。说明扩散速率的 Fick 第一定律是：

$$\frac{dm}{dt} = -DA \frac{dc}{dx}$$

式中 m 为物质的质量，t 为时间，D 是扩散系数，A 是扩散面积，c 为浓度，x 为扩散方向上的距离。

在一定条件下，D、A 为常数；设氧化层厚度为 y，当扩散达到稳态时，

$$-\frac{dc}{dx} = \frac{\Delta c}{y}, \text{ 因为 } dc \text{ 与 } dx \text{ 符号相反, } -\frac{dc}{dx} \text{ 为正数, } \frac{\Delta c}{y} \text{ 也取正数。} \Delta c \text{ 是氧化}$$

层两边氧的浓度差，等于空气中氧的浓度减去氧化层跟金属表面接界处氧的浓度，后者趋近于零，因此 Δc 也可看作常数。

氧化过程的速率受扩散控制，氧化层厚度的增长速率与扩散速率成正比，所

$$\text{以 } \frac{dy}{dt} = k' \frac{dm}{dt} = k' DA \frac{\Delta c}{y} = ky^{-1}$$

式中 $k = k' DA \Delta c$ ，在一定条件下为常数。对此式积分便得

$$y^2 = 2kt$$

因为 t=0 时，y=0，所以积分常数为零。上述结果说明了氧化层厚度增长服从抛物线规律，氧化过程属于负一级反应。此负级数反应说明：生成物对反

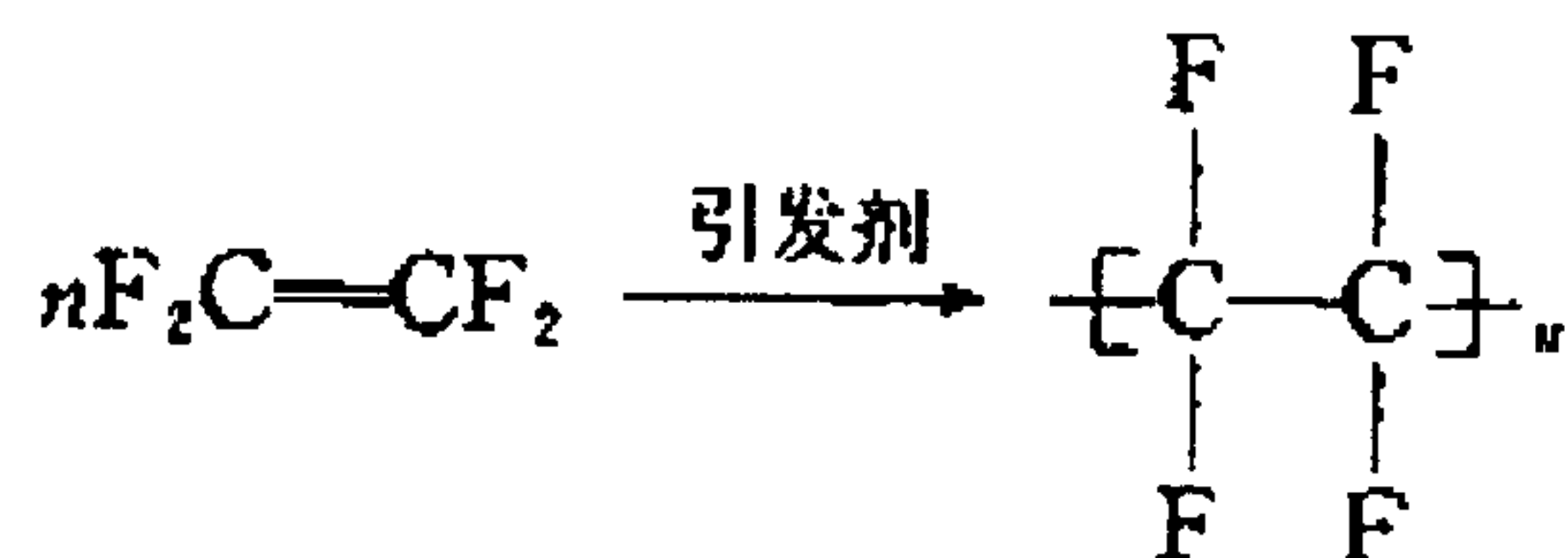
应有阻抑作用，致使反应对生成物的级数为负。

五、由 C_p 和 C_v 的定义式推导证明： $C_p - C_v = [(\frac{\partial U}{\partial V})_T + P](\frac{\partial V}{\partial T})_p$ 。(8?)

证 明 : 由 $C_p = (\frac{\partial H}{\partial T})_p$, $C_v = (\frac{\partial U}{\partial T})_v$, 则
 $C_p - C_v = (\frac{\partial H}{\partial T})_p - (\frac{\partial U}{\partial T})_v = (\frac{\partial(U + pV)}{\partial T})_p - (\frac{\partial U}{\partial T})_v = (\frac{\partial U}{\partial T})_p + p(\frac{\partial V}{\partial T})_p - (\frac{\partial U}{\partial T})_v$, 再由
 $dU = (\frac{\partial U}{\partial T})_v dT + (\frac{\partial U}{\partial V})_T dV$, 在定压下, 两边除以 dT 的
 $(\frac{\partial U}{\partial T})_p = (\frac{\partial U}{\partial T})_v + (\frac{\partial U}{\partial V})_T (\frac{\partial V}{\partial T})_p$, 则 $C_p - C_v = [(\frac{\partial U}{\partial V})_T + P](\frac{\partial V}{\partial T})_p$ 。

六、聚四氟乙烯是较常用的一种塑料，有“塑料王”之称。试写出合成聚四氟乙烯的反应方程式，并指出该合成反应是什么类型？聚四氟乙烯有何特点？(8?)

答：聚四氟乙烯由单体四氟乙烯在过硫酸盐、过氧化氢等引发剂作用下，经游离基型加聚反应聚合而成。其反应可表示为：



该合成反应是加成聚合反应。

由于 C—F 键强度很大，在聚合过程中很难发生游离基向大分子的链转移反应，因此不会出现支链化，大分子均为规整的线型结构。因此聚四氟乙烯是高度结晶的，结晶度为 93%~98%，其结晶熔点为 327 °C，密度为 2.30 g/cm³。加热至 415°C 也不会从高弹态转变为粘流态。但在 390 °C 时便开始分解并放出有毒气体。

聚四氟乙烯能耐许多腐蚀性试剂和上百种溶剂，就是“王水”这样强腐蚀性的试剂对它都不起作用。其热稳定性也相当好，在 250°C 下长期(数月)使用其电性能和力学性能都不改变。它被广泛用于那些需要高韧性、电性能、热稳定性和

低摩擦系数以及具有这些综合性能的地方，如电机、变压器、电容器的绝缘材料，化工设备中的垫圈、泵等。

七、 在 298.15 K 及 p^\ominus 的条件下，将一可逆电池短路，使有 1 F(即 96500 $C \cdot mol^{-1}$) 的电量通过，电池此时放出的热量恰为该电池可逆操作时所吸收热量的 43 倍。在此条件下，该电池电动势的温度系数为 $1.4 \times 10^{-4} V \cdot K^{-1}$ 。(8?)

(1) 求该电池反应的 $\Delta_r S_m$ 、 $\Delta_r H_m$ 、 $\Delta_r G_m$ 、 Q_r ?

(2) 求该电池在 298.15 K 及 p^\ominus 的条件下的电动势?

答：(1) 可逆电池短路相反应直接进行 $Q_r \neq \Delta_r H$

$$\Delta_r S_m = zF \left(\frac{\partial E_{MF}}{\partial T} \right)_F = (1 \times 96485 \times 1.4 \times 10^{-4}) J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1} = 13.5 J \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$$

$$Q_r = T \Delta_r S_m = (298 \times 13.5) = 4026 J \cdot mol^{-1}$$

$$\Delta_r H_m = -43 Q_r = -43 \times 4026 J \cdot mol^{-1} = -17118 J \cdot mol^{-1}$$

$$\Delta_r G_m = \Delta_r H_m - T \Delta_r S_m = (-173118 - 4026) J \cdot mol^{-1} = -177.144 kJ \cdot mol^{-1}$$

$$(2) \quad E_{MF}(25^\circ C) = -\frac{\Delta_r G_m}{zF} = \left[-\frac{(-177144)}{96485} \right] V = 1.836 V$$

八、 下图为生成一个三元化合物的三元相图，试问：(8?)

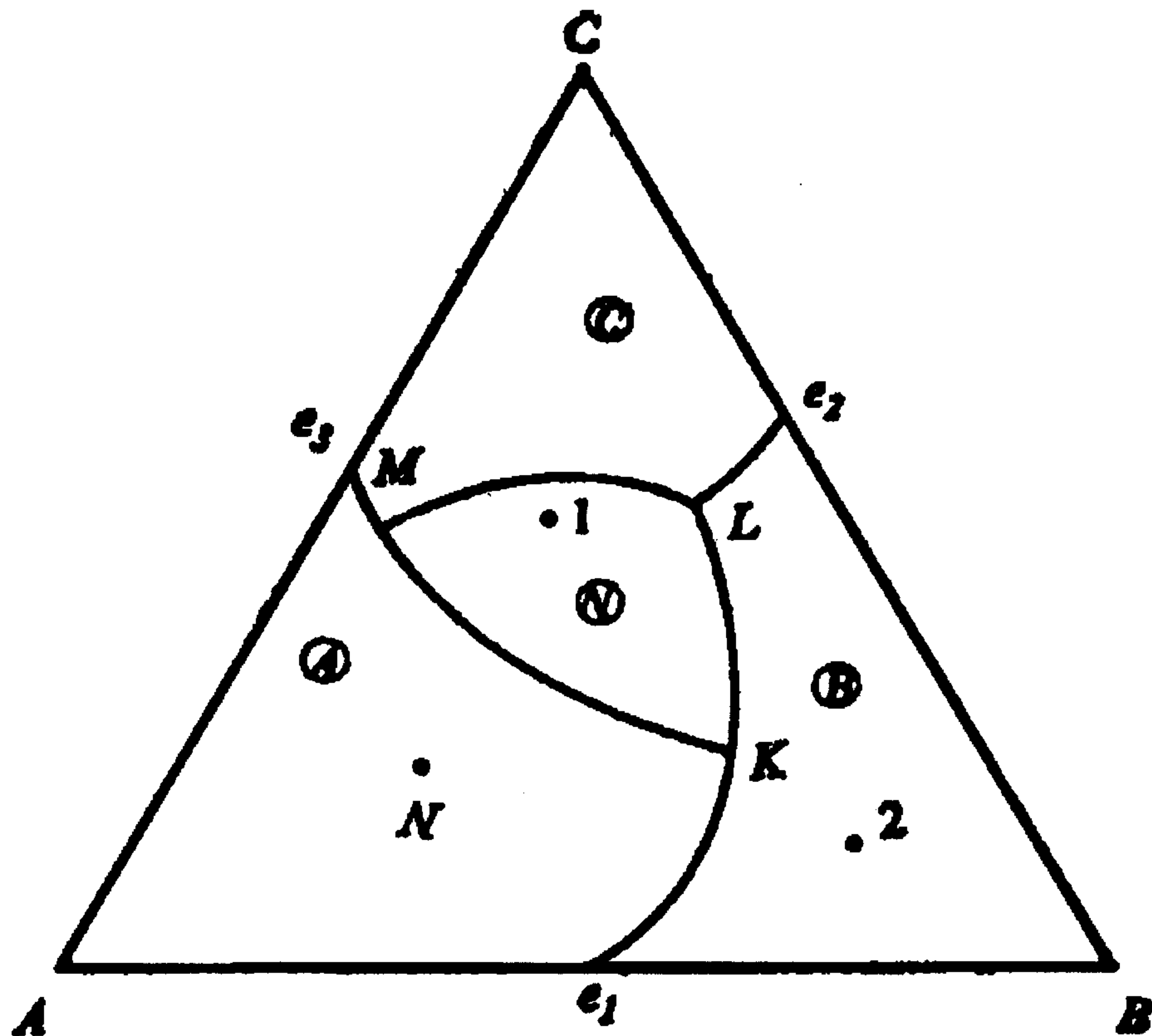
(1) 判断三元化合物 N 的性质?

(2) 标出边界曲线的温降方向(转熔界线用双箭头)?

(3) 指出无变点 K、L、M 的性质?

(4) 分析点 1、2 的结晶路程(表明液固相组成点的变化及各阶段的相变)

化)?



答: (1) N 化合物组成点处于初晶区外, 为不一致熔融三元化合物。

(2) 用连线规则(最高温度规则)和切线规则判断边界曲线性质(共熔或转熔)及温度下降方向。

(3) 用重心规则判断三元无变点的性质。M 和 L 为低共熔点。K 为单转熔点。

(4) 点 1

液相: $1 \xrightarrow{L \rightarrow N} a \xrightarrow{L \rightarrow N+C} L(L_L \rightarrow N+B+C)$

固相: $N \xrightarrow{N+C} B \xrightarrow{N+C+B} 1$

点 2

液相: $2 \xrightarrow{L \rightarrow B} p \xrightarrow{L \rightarrow A+B} K(L_K + A \rightarrow N+B) \xrightarrow{L \rightarrow N+B} L(L_L \rightarrow N+B+C)$

固相: $B \xrightarrow{B+A} d \xrightarrow{B+A+N} f \xrightarrow{N+B} g \xrightarrow{N+B+C} 2$

