

[1] Draw Lewis diagrams and predict the geometries of the following molecules. State which are polar and which are nonpolar. (5 × 2점 = 총 10점)

- (a) ONCl
- (b) O<sub>2</sub>NCl
- (c) XeF<sub>2</sub>
- (d) SCl<sub>4</sub>
- (e) CHF<sub>3</sub>

The NOCl molecule is bent and polar; the O<sub>2</sub>NCl molecule is (nearly) trigonal about the N and polar; the XeF<sub>2</sub> molecule is linear and non-polar; the SCl<sub>4</sub> molecule has a seesaw geometry and is polar; the CHF<sub>3</sub> molecule is (nearly) tetrahedral and polar.

[2] PF<sub>2</sub><sup>-</sup>, PF<sub>2</sub><sup>+</sup>, PF<sub>4</sub><sup>-</sup>, PF<sub>4</sub><sup>+</sup>에 대한 다음 질문에 답하라. (총 10점)

- a) 동일한 전자쌍 구조 (고립전자쌍을 포함한 구조) 를 갖는 화학종은? (5점)
- b) 가장 작은 ∠FPF각을 갖고 있는 화학종을 구하고 각 원자의 형식전하 (formal charge)를 구하시오. (2점)
- c) 극성 화학종을 모두 찾으시오.(3점)

답.

a) PF<sub>2</sub><sup>-</sup>와 PF<sub>4</sub><sup>+</sup>임. 왜냐하면 PF<sub>2</sub><sup>-</sup>, PF<sub>2</sub><sup>+</sup>, PF<sub>4</sub><sup>-</sup>, PF<sub>4</sub><sup>+</sup>는 각각 4, 3, 5, 4개의 전자쌍을 중심원자가 갖고 따라서 각각의 전자쌍의 구조는 정사면체, 평면삼각형, 삼각쌍별, 정사면체가 되므로.

b) PF<sub>4</sub><sup>-</sup>임. 왜냐하면 a항의 전자쌍의 구조를 토대로 분자구조를 고려하면 ∠FPF각은 PF<sub>2</sub><sup>-</sup>의 경우 <109.5°, PF<sub>2</sub><sup>+</sup>의 경우 <120°, PF<sub>4</sub><sup>-</sup>의 경우 <120°와 <90°의 두 가지, PF<sub>4</sub><sup>+</sup>의 경우 109.5°기 되므로. PF<sub>4</sub><sup>-</sup>에서 형식전하는 F는 0, P는 -1.

c) PF<sub>2</sub><sup>-</sup>, PF<sub>2</sub><sup>+</sup>, PF<sub>4</sub><sup>-</sup>임. a항의 전자쌍의 구조를 토대로 분자구조를 고려하면 구부러진 구조(PF<sub>2</sub><sup>-</sup>, PF<sub>2</sub><sup>+</sup>)나 시소형 구조(PF<sub>4</sub><sup>-</sup>)를 갖는 경우가 극성을 띠기 때문임.

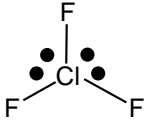
[3] 다음에 답하라. (총 10점)

(a)  $\text{ClF}_3$ 의 가능한 분자 구조들을 그리고 그 중 가장 안정한 구조는 어느 것인지 설명하라.(5점)

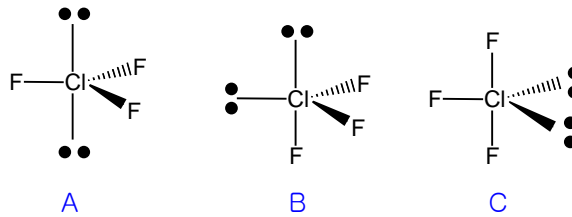
(b) 물 분자의  $\text{H-O-H}$  각도는  $104.5^\circ$  이다. OH 결합의 dipole moment가 1.52D 라면 물분자의 dipole moment는 대략 얼마로 추정할 수 있는가? (5점)

(답)

$\text{ClF}_3$ 의 중심 원자 Cl 주변에 5 쌍의 전자쌍 (2쌍의 비공유 전자쌍과 3 쌍의 공유 전자쌍)이 있음.



3 가지 가능한 분자 구조



# $90^\circ$ lone pair-lone pair repulsion:	0	1	0
# $90^\circ$ lone pair-bonding pair repulsion:	6	3	4

$90^\circ$  lone pair-lone pair repulsion  $>$   $90^\circ$  lone pair-bonding pair repulsion  $>$   $90^\circ$  bonding pair-bonding pair repulsion

$\therefore$  C가 가장 안정하고 분자 모양은 distorted T shape를 갖는다.

답)  $\mu(\text{H}_2\text{O}) = 2\mu(\text{OH}) \cos(104.5^\circ/2) = 1.86\text{D}$

[4] 끓는 점 (Boiling point)은  $\text{HF} > \text{HI} > \text{HBr} > \text{HCl}$ 의 순서로 측정되었다. (총 10점)

(a) 네 분자 중 그 화학결합의 이온결합성(ionic character)가 큰 것부터 나열하라. (2점)

(b) 분자간 분산력(London force)이 큰 것부터 나열하라. (2점)

(c) 분자간 dipole-dipole의 상호작용이 큰 것부터 나열하라. (2점)

(d) (a)-(c)의 결과로부터, 네 분자의 끓는점의 순서에 대해 설명하라. (4점)

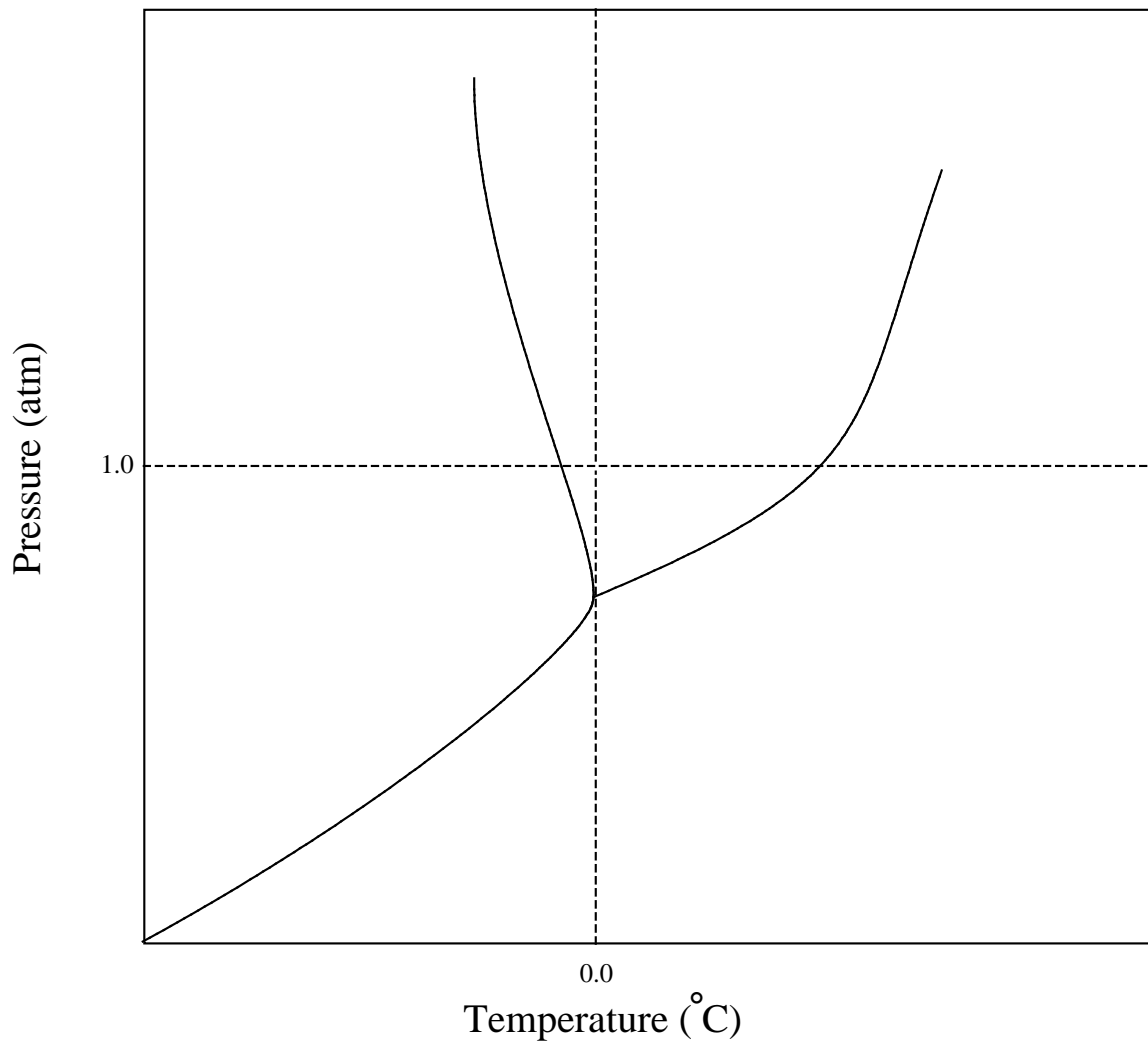
답: (a)  $\text{HF} > \text{HCl} > \text{HBr} > \text{HI}$

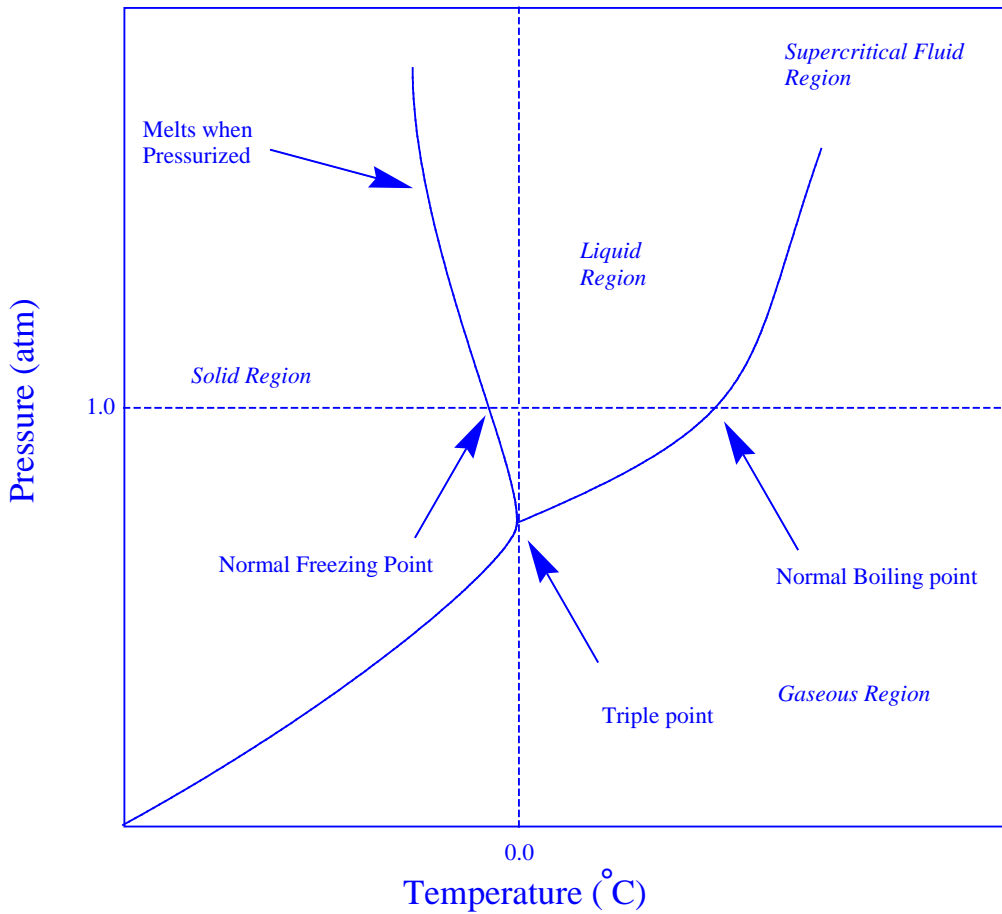
(b)  $\text{HI} > \text{HBr} > \text{HCl} > \text{HF}$

(c)  $\text{HF} > \text{HCl} > \text{HBr} > \text{HI}$

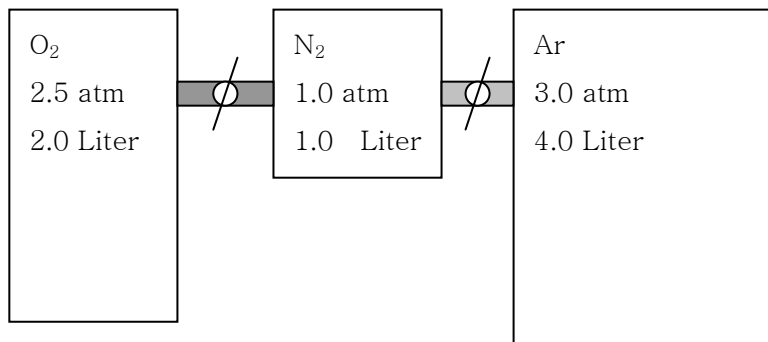
(d) HF가 가장 끓는 점이 높은 이유는 수소결합 때문이고 나머지의 경우는 London힘이 dipole-dipole상호작용보다 더 큰 효과를 주기 때문임.

[5] During General Chemistry class, you are fast asleep and dream of the possibility of life as we know it on a planet light years away. A plain and crude **phase diagram** of a clear abundant substance (molecular compound) belonging to this planet is provided below. Label the following chart as completely as possible and point to a feature(s) that indicates this imaginary substance may be real, and earthly. (총10점)





[6] 다음의 세 개의 용기의 밸브를 열어 기체들이 모두 섞이면 각각 기체의 분압과 전체압력은 어떻게 변하는가? 단, 용기들을 연결한 튜브 (회색 부분) 의 부피는 무시하라. (총 10점)



답:  $V = 7.0$  Liter

$$n = (P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3) / RT = n_1 + n_2 + n_3$$

$$P = (RT/V) * (P_1V_1 + P_2V_2 + P_3V_3) / RT = (5 + 1 + 12) / 7 = 2.6 \text{ atm} - \text{전체압력}$$

$$P(\text{O}_2) = (RT/V) \cdot (P_1 V_1) / RT = 5/7 = 0.71 \text{ atm}$$

$$P(\text{N}_2) = (RT/V) \cdot (P_2 V_2) / RT = 1/7 = 0.14 \text{ atm}$$

$$P(\text{Ar}) = (RT/V) \cdot (P_3 V_3) / RT = 12/7 = 1.71 \text{ atm}$$

[7] Elemental chlorine was first produced by Carl Wilhelm Scheele in 1774 using the reaction of pyrolusite ( $\text{MnO}_2$ ) with sulfuric acid and sodium chloride:



Calculate the minimum mass of  $\text{MnO}_2$  required to generate 5.32 L of gaseous chlorine, measured at a pressure of 0.953 atm and a temperature of 33 °C. (총10점)

4.30 Using the ideal gas law for chlorine gives its number of moles as

$$n = \frac{PV}{RT} = \frac{(0.953 \text{ atm})(5.32 \text{ L})}{(0.08206 \text{ L atm mol}^{-1}\text{K}^{-1})(306.15 \text{ K})} = 0.2018 \text{ mol}$$

This is also the chemical amount of  $\text{MnO}_2$  reacting, because one mole of  $\text{MnO}_2$  generates one mole of  $\text{Cl}_2$ . The mass is then found by multiplying by the molar mass of  $\text{MnO}_2$ ,  $86.937 \text{ g mol}^{-1}$ , to give 17.5 g  $\text{MnO}_2$ .

[8] The air over an unknown liquid is saturated with the vapor of that liquid at 25 °C and a total pressure of 0.980 atm. Suppose that a sample of 6.00 L of the saturated air is collected and the vapor of the unknown liquid is removed from that sample by cooling and condensation. The pure air remaining occupies a volume of 3.75 L at -50 °C and 1.00 atm. Calculate the vapor pressure of the unknown liquid at 25 °C. (총10점)

5.62 The chemical amount of air that was present in the 6.00 L portion of air mixed with the vapors of the unknown can be computed because its physical state after purification is fully described

$$n_{\text{air}} = \frac{PV}{RT} = \frac{(1.000 \text{ atm})(3.75 \text{ L})}{(0.08206 \text{ L atm mol}^{-1}\text{K}^{-1})(223.15 \text{ K})} = 0.2048 \text{ mol}$$

Now, compute the pressure that this chemical amount of air exerted as part of the 6.00 L mixture

$$P_{\text{air}} = \frac{n_{\text{air}}RT}{V}$$
$$P_{\text{air}} = \frac{(0.2048 \text{ mol})(0.08206 \text{ L atm mol}^{-1}\text{K}^{-1})(298.15 \text{ K})}{6.00 \text{ L}} = 0.835 \text{ atm}$$

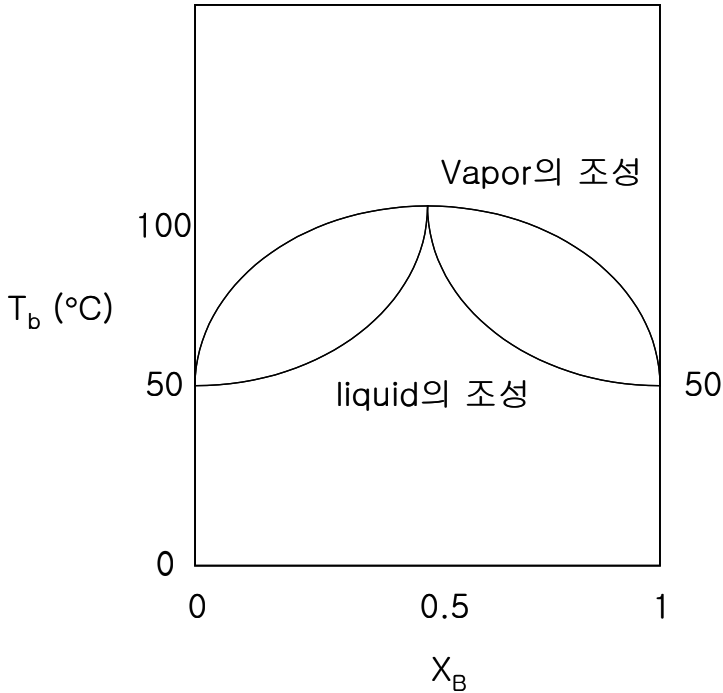
But the total pressure above the unknown was 0.980 atm. By Dalton's law

$$P_{\text{unknown}} = 0.980 - 0.835 = 0.145 \text{ atm}$$

[9] 순수한 액체 A와 B의 끓는점은 똑같이 50 °C 이고 이 둘은  $X_B = 0.5$ 에서 끓는점이 100 °C 인 azeotrope를 형성한다고 하자 (실제로는 이러한 상황은 존재하지 않는다). (총 15점)

(a) A와 B의 혼합 용액의 끓는 점( $T_b$ )을 B의 mole fraction ( $X_B$ ) 에 대해 plot하라. Vapor의 조성 and liquid의 조성에 해당하는 곡선이 어떤 것인지 그림에 표시하시오. (5점).

답)



(b) 이 혼합용액이 이상 용액으로부터 deviation을 보이는 이유는 무엇인가? (5점)

답) A와 B 사이의 인력이 A와 A 사이의 인력과 B와 B 사이의 인력보다 강하기 때문.

(c) A가 0.75 mol, B가 0.25 mol 섞여있는 혼합용액을 분별 증류하면 결국 두 가지의 용액으로 분리되는데, 이 중 한가지 물질로만 이루어진 순수한 물질이 몇 mol인가? 그리고 그 물질은 A 인가 B 인가? (5점)

답) 시작점에서의  $X_B = 0.25$  이다. 따라서, 분별 증류 후에는  $X_B = 0$  인 (즉  $X_A = 1$  인) 순수 물질과  $X_B = 0.5$ 인 Azeotrope 으로 분리된다. Azeotrope의  $n_B/(n_A+n_B) = 0.50$ 이고  $n_B = 0.25$  mol 이므로 azeotrope의  $n_A = 0.25$  mol 이다. A의 처음 몰수는 0.75 mol 이므로 순수한 A 는  $0.75 \text{ mol} - 0.25 \text{ mol} = 0.50 \text{ mol}$  이다. 이 순수한 물질은 A 이다.

[10] 300 K에서 순수한 벤젠(benzene,  $C_6H_6$ )의 증기압은 0.1355 atm이고 순수한 헥센(n-hexane,  $C_6H_{14}$ )의 증기압은 0.2128 atm이다. 벤젠 (몰질량 =  $78.11 \text{ g mol}^{-1}$ ) 과 헥센 (몰질량 =  $86.18 \text{ g mol}^{-1}$ ) 각각을 50.0g 씩 섞어서 두개의 혼합용액을 만들었고, 이 용액이 이상적인 행동을 한다고 가정하자.

(총10점)

(a) 300 K에서 가지는 용액의 전체 증기압을 구하라 (5점)

(b) 300 K에서 용액과 평형을 이루는 증기에서 벤젠의 mole fraction을 구하라. (5점)

답: (a)  $X_b = 0.525$ ,  $X_h = 0.475$

$$\text{thus, } P = P_b + P_h = 0.525 \times 0.1355 + 0.475 \times 0.2128 = 0.172 \text{ atm}$$

$$(b) X_b \text{ in the vapor} = P_b/P = (0.525 \times 0.1355)/0.172 = 0.413$$

[11] 아래 문제에 답하십시오. (총15점)

(a) 298 K, 1 기압에 있는 2.00 mol 의 아르곤 기체에 일정부피 (constant volume)에서 열이 전달되자 최종 온도가 338 K가 되었다. 아르곤은 단원자 기체이며 이상기체에 가깝다고 가정할 때, 전달된 열은 몇 joule이며  $\Delta E$ 는 얼마인가? (5점) ( $R = 8.315 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ )

답) 단원자 이상기체의 경우  $c_v = (3/2)R = 12.47 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ .

$$\text{일정부피이므로 } q_v = n c_v \Delta T = 2.00 \text{ mol} \times (12.47 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times (338 \text{ K} - 298 \text{ K}) = 998 \text{ J.}$$

$$\text{또한 } \Delta E = q_v + w = q_v = 998 \text{ J.}$$

(b) 만약 똑 같은 양의 열이 일정압력 (constant pressure)에서 전달되었다면 최종 온도  $T_f$ 와  $\Delta E$ 는 얼마인가? (5점)

답) 단원자 이상기체의 경우  $c_p = (5/2)R = 20.79 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ .

$$\text{일정압력이므로 } q_p = n c_p \Delta T = 2.00 \text{ mol} \times (20.79 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times \Delta T = 998 \text{ J.}$$

$$\text{즉 } \Delta T = 24 \text{ K, 따라서 } T_f = 298 \text{ K} + 24 \text{ K} = 322 \text{ K.}$$

$$\text{또한 } \Delta E = n c_v \Delta T = 2.00 \text{ mol} \times (12.47 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \times 24 \text{ K} = 599 \text{ J.}$$

(c) 위 (b)에서 기체에 가해진 일은 얼마인가? (5점)

답)  $\Delta E = q_p + w$  이다. 즉  $599 \text{ J} = 998 \text{ J} + w$ .  $w = -399 \text{ J}$ . 부호가 음수이므로 기체가 399 J의 일을 외부에 행했다.

[12]  $27.0^\circ\text{C}$ , 10.0 기압 상태의 이상기체 2.00몰이 다음과 같이 1.00 기압으로 팽창할 때 각각의 경우에 대해서 이 기체의 work(w)와 heat(q) 및 내부 에너지 변화(E)를 구하십시오. (단원자 분자로 간주하십시오) (총20점)

(a) 등온 가역 팽창할 때. (isothermal reversible expansion) (5점)

(b) 단열 가역 팽창할 때. (adiabatic reversible expansion) (5점)

(c) 외부 압력 1.00 기압에 거슬러 갑자기 팽창 (비가역 단열 irreversible adiabatic) 할 때.

(10점)



[12] 27.0°C, 10.0 기압 상태의 이상기체 2.00몰이 다음과 같이 1.00 기압으로 팽창할 때 각각의 경우에 대해서 이 기체의 work(w)와 heat(q) 및 내부 에너지 변화(E)를 구하시오 (단원자 분자로 간주하시오)

- (i) 등온 가역 팽창할 때.
- (ii) 단열 가역 팽창할 때.
- (iii) 외부 압력 1.00 기압에 거슬러 갑자기 팽창 (비가역, 단열) 할 때.

정답

$$\begin{aligned}
 \text{(i)} \quad w &= -nRT \ln \frac{V_2}{V_1} = -nRT \ln \frac{P_1}{P_2} \\
 &= -2 \times 8.314 \times 300 \times \ln 10 (J) = -11.5 (kJ) \\
 \Delta E &= 0 \text{ (온도변화가 없으므로)} \\
 q &= \Delta E - w = +11.5 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(ii)} \quad V_1 &= \frac{nRT_1}{P_1} = \frac{2 \times 0.082 \times 300}{10.0} = 4.92 L \\
 P_1 V_1^\gamma &= P_2 V_2^\gamma \text{를 이용하여 } V_2 \text{를 구하자} \\
 \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma &= \frac{P_1}{P_2} \quad \therefore V_2 = 4.92 \times \left(\frac{10}{1}\right)^{\frac{1}{1.67}} \\
 &= 19.5 L
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_2 &= \frac{P_2 V_2}{nR} = \frac{1.00 \times 19.5}{2.00 \times 0.082} = 119 K \\
 q &= 0
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta E &= C_V (T_2 - T_1) = 2 \times \frac{3}{2} R \times (119 - 300) \\
 &= -4510 J = -4.51 \text{ kJ} \\
 w &= \Delta E - q = \Delta E = -4.51 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{(iii)} \quad \Delta E &= w = -P_{\text{ext}} (V_2 - V_1) \text{인데 이식에서 } T_2 \text{를 구해야 한다.} \\
 \Delta E &= C_V (T_2 - T_1) = -P_{\text{ext}} (V_2 - V_1) \\
 n \times \frac{3}{2} R (T_2 - 300) &= -1.00 \times \left( \frac{nRT_2}{P_2} - \frac{nRT_1}{P_1} \right) \\
 \frac{3}{2} \times (T_2 - 300) &= -T_2 + 30 \\
 \therefore T_2 &= 192 K \\
 \Delta E = w &= 2 \times \frac{3}{2} \times 8.314 (192 - 300) \\
 &= -2690 J \\
 &= -2.69 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

[13] Bomb calorimeter로 25.0°C 1.00 기압의 메탄 기체  $1.00 \times 10^{-3}$  mol을 O<sub>2</sub> 기체와 반응시켜서 이산화 탄소와 물로 완전 연소 시켰다. 이때 측정된 열량은 895 Joule이었다. 다음 물음에 답하시오. (총 10 점)

(a) 이 연소 반응 식을 쓰시오. (2 점)

(b) 이 반응에 대한 내부 에너지 변화 ( $\Delta E_{\text{반응}}$ )을 구하시오 (kJ/mol단위로). (3 점)

(c) 이 반응에 대한 엔탈피 변화 ( $\Delta H_{\text{반응}}$ )을 구하시오 (kJ/mol 단위로). (5 점)

정답



(ii) Bomb calorimeter 로 측정된 열량은  $\Delta E$  이므로,

$$\Delta E = 895 \text{ J} \times 1000 \text{ mol}^{-1} = 895 \text{ kJ mol}^{-1}$$

(iii)  $\Delta H = \Delta E + (\Delta n_{\text{gas}})RT$

$$= \Delta E + (-2 \text{ mol}) \times 8.314 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 298 \text{ K}$$

$$= 890 \text{ kJ/mol}$$

[14] 다음 사항 중 옳은 것은 O 표 틀린 것은 X 표 하시오. (각 2 점 = 총 10 점)

(a) Raoult 의 법칙에서 심하게 positive deviation 을 하는 것은 maximum-boiling azeotrope 를 형성할 수 있다.

(b) 일반적으로 휘발성 A-B 두 가지 혼합물로 이루어진 비이상 용액의 경우에, A 가 B 에 비하여 상대적으로 양이 아주 적을 때에는 A 의 증기압이 Raoult 의 법칙을 따른다.

(c) 액체의 표면에 있는 분자는 액체 속에 있는 분자에 비하여 intermolecular potential energy 가 더 높으며 이러한 에너지 차이로 인해서 표면 장력이 생긴다.

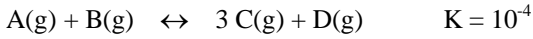
(d) 높은 온도에서는 낮은 온도일 때 보다 분자의 운동이 활발하기 때문에 소리의 전파 속도가 커진다

(e) H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>는 영어로 phosphorous acid이라고 한다.

정답

(1) X (minimum-boiling 이 옳다) (2) X (Henry's law 를 따른다) (3) O (4) O (5) X (phosphoric acid 가 옳다)

[1] 다음 반응에 대해 답하라. (각 5점×2 = 10점)



평형이 이루어진 후에 온도를 일정한 상태에서 시스템의 부피를 갑자기 3배로 늘리는 경우에 대한 다음 물음에 답하라.

- (a) 부피의 변화는 K의 값에 영향을 미치는가? 영향을 미친다면 커지는가 작아지는가?  
 (b) 부피의 변화는 평형에 영향을 미치는가? 영향을 미친다면 반응은 정반응으로 진행되는가 역반응으로 진행되는가?

(답)

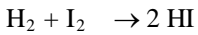
- (a) 부피 변화에 따라 K 는 변하지 않는다.  
 (b) 평형에 영향을 미친다. 부피 변화는 mass action equation을 다음과 같이 변화시킨다.

$$K = \frac{P_C^3 P_D}{P_A P_B} \longrightarrow Q = \frac{P_C^3 P_D}{9P_A P_B}$$

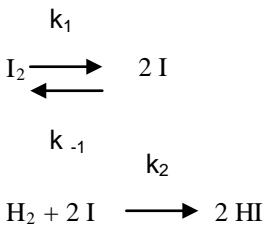
부피가 3배가 되면 압력은 1/3로 줄고 Le Châtelier's principle에 의해 압력이 증가하는 방향 즉 정방향의 반응이 일어난다.

- 1) “변하지 않음” 변화 있으니 “원상태의 k값 회복” 정답처리  
 2) “영향 없음” 오답, 역반응 2점 처리, “정반응” 정답처리

[2] 다음에 답하라. (10점)



상기 반응에 대하여 다음과 같은 mechanism이 제안되었다.



Steady-state approximation에 의해서 반응속도를 구하고 몇 차 반응인지 논하라.

(답)

I는 intermediate이고 그 생성 속도와 소모 속도는 같다.

$$k_1 [I_2] = k_{-1} [I]^2 + k_2 [H_2] [I]^2$$

$$[I]^2 = \frac{k_1 [I_2]}{k_{-1} + k_2 [H_2]}$$

$$\therefore \text{rate} = k_2 [H_2] [I]^2 = \frac{k_1 k_2 [H_2] [I_2]}{k_{-1} + k_2 [H_2]} \quad (6\text{점})$$

(i).  $k_{-1} \ll k_2 [H_2]$  즉 수소의 농도가 크거나 step 2의 속도가 빠르면

$$\text{rate} = k_1 [I_2]$$

I<sub>2</sub>에 대해서 1차 반응 (2점)

(ii)  $k_2 \ll k_{-1}$  즉 step 2의 속도가 느리면

$$\text{rate} = k_2 [\text{H}_2][\text{I}]^2 = \frac{k_1 k_2 [\text{H}_2][\text{I}_2]}{k_{-1}}$$

H<sub>2</sub>와 I<sub>2</sub> 각각에 대해서 1차 반응 전체적으로 2차 반응으로 된다. (2점)

[3] Consider a reaction:  $A \rightarrow \text{“Products”}$ , rate =  $-d[A]/dt$

- (a) The following is the concentration of A as a function of time which has been Measured experimentally.

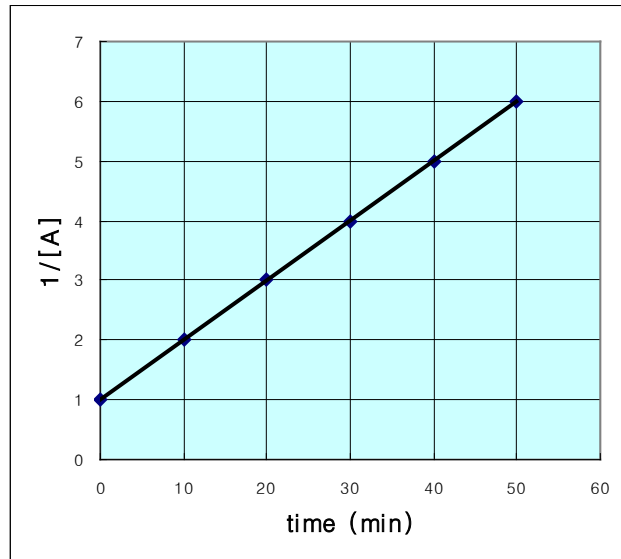
Time (min)	[A], M
0	1.00
10	0.500
20	0.333
30	0.250
40	0.200
50	0.167

What is the order of the reaction? (5점)

- (b) What is the numerical rate constant of this reaction (unit: M/min)? (5 점)

**[3] (Answer)**

- (a) This is the second order reaction as we can see by the following plot of  $1/[A]$  versus time.



(b) What is the rate constant?

From the slope, or from the half-life which is  $1/\{k[A]\}$

$$k = 0.10 \text{ M}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

- 1) 채점기준:  $-1/2d[A]/dt = k[A]^2$ 으로 풀면 (-1점)
- 2) 계산과정에서 계산실수 (-2점)
- 3) 단위실수 (-2점)
- 4) 식은 틀리고 답만 맞으면 (-4점)
- 5) 불필요한말 (-2점)

[4] How many electrons can have the following quantum numbers in a given atom: (각 1점 x 5 = 5점)

- a)  $n = 3, l = 2, m_l = 0$
- b)  $n = 5, l = 3$
- c)  $n = 2, l = 2, m_l = 0, m_s = +1/2$
- d)  $n = 3, l = 1, m_s = +1/2$
- e)  $n = 3, l = 3, m_s = +1/2$

**Problem 2 (Answer)**

- a) 2
- b) 14
- c) 0
- d) 3
- e) 0

[5] A silver cathode is used in a photoelectric cell. 350 nm light strikes the cathode surface causing an electrical current. What voltage is required to cause the current to drop to zero (stopping potential) given that  $\text{Ag}(s) \rightarrow \text{Ag}^+(s) + e^-$  is 3.000 eV? (10점)

$$1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J}, h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}, c = 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

**Problem 3: (Answer)**

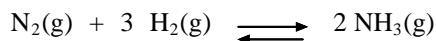
$$\epsilon = qV = hv - \Phi$$

$$V = (hv - \Phi) / q$$

$$V = [(6.626 \times 10^{-34} \text{ Js} \cdot 3 \times 10^8 \text{ ms}^{-1} / 350 \times 10^{-9} \text{ m}) - (3.0000 \text{ eV} \cdot 1.602 \times 10^{-19} \text{ J/eV})] / 1.602 \times 10^{-19} \text{ J/eV}$$

$$\text{Voltage} = 0.545 \text{ V}$$

[6] 암모니아 합성반응의 평형상수는 25°C에서  $6.78 \times 10^5$  이다.



전체압력이 1.00 기압이고, 전체 계의 H:N 비율이 3:1일 때 25°C에서  $\text{N}_2(\text{g})$ ,  $3 \text{H}_2(\text{g})$  및  $\text{NH}_3(\text{g})$ 의 평형분압을 계산하라. (10점)

답) 전체압력이 1.00 기압이므로,  $P(\text{N}_2) + P(\text{H}_2) + P(\text{NH}_3) = 1.00$ .

전체 계의 H:N의 비율이 3:1 이므로,  $P(\text{H}_2) = 3 P(\text{N}_2)$  (2점)

( $\text{NH}_3$  자체는 이 비율을 유지하므로 나머지만 고려해 주면 됨)

$P(\text{N}_2) = m$  라고 놓으면  $P(\text{H}_2) = 3m$ ,  $P(\text{NH}_3) = 1.00 - 4m$  (2점)

평형상수가  $6.78 \times 10^5$  이므로,  $6.78 \times 10^5 = (1.00 - 4m)^2 / [(m)(3m)^3] = (1.00 - 4m)^2 / (27(m)^4)$  (3점)

27을 양변에 곱하고 루트를 취하면,  $4.278 \times 10^3 = (1.00 - 4m) / (m^2)$

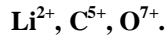
이 이차방정식을 풀면 해가 두 개가 나온다. 0.0148 과 -0.0158.

이 중 음수해는 의미가 없으므로 답은 0.0148이다. 따라서

$P(\text{N}_2) = 0.0148 \text{ atm}$ ,  $P(\text{H}_2) = 0.0445 \text{ atm}$ ,  $P(\text{NH}_3) = 0.941 \text{ atm}$  이다. (3점)

[7] 아래에 답하시오. (총 10점)

(a) 수소원자의 1s 오비탈 전자의 핵으로부터의 평균 거리를  $r_0$ 라 할 때, 다음 이온들의 1s 오비탈 전자의 핵으로부터의 평균 거리를  $r_0$ 로 나타내고 작은 것부터 큰 순서대로 나열하시오. (5점)



답) 전자의 핵으로부터의 평균거리는  $Z$ 에 반비례한다. 따라서  $r(\text{Li}^{2+}) = r_0/3, r(\text{C}^{5+}) = r_0/6, r(\text{O}^{7+}) = r_0/8$  이고 작은 것부터 큰 순서대로 나열하면  $\text{O}^{7+}, \text{C}^{5+}, \text{Li}^{2+}$  이다. (순서 틀리면 부분점수 없음)

(b) 수소원자의 다음 오비탈 전자의 핵으로부터의 평균 거리를 작은 것부터 큰 순서대로 나열하시오. (5점)

1s, 2s, 2p, 3s, 3p, 3d.

답) 평균거리는  $n^2$  에 비례하지만 같은  $n$  일 때에는  $l$  이 클수록 작다 (543페이지 참조). 따라서 작은 것부터 큰 순서는 1s, 2p, 2s, 3d, 3p, 3s 이다. (순서 틀리면 부분점수 없음)

[8] 298K 10.0 기압의 이상기체 1 몰을 1.00 기압까지 등온가역 팽창 (isothermal reversible expansion) 시킬 때 다음을 계산하시오. 기체 주위의 압력과 온도는 각각 1 기압, 298K 이었다.

기체상수:  $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ . (각 5 점× 3= 총 15 점)

(1) 기체의 일( $w$ ), 열( $q$ ) 및 내부에너지 변화( $\Delta E$ )

$$w = -nRT \ln(V_2/V_1) = nRT \ln(P_2/P_1) = -8.314 \times 298 \times \ln 10 = -5.7 \text{ kJ}$$

$$\Delta E = 0$$

$$q = \Delta E - w = 5.7 \text{ kJ}$$

(2) 기체의 엔트로피 변화

$$\Delta S = nR \ln(V_2/V_1) = nR \ln(P_2/P_1) = 19.14 \text{ K}^{-1}$$

$$\text{또는 } \Delta S = q/T = 19.14 \text{ K}^{-1}$$

(3) 주위의 엔트로피 변화

$$\Delta S_{\text{주위}} = -q/T = -19.14 \text{ K}^{-1}$$

(1) 다 맞고 부호만 반대로 쓰면, (답은 맞고) 3/5

(2) 거꾸로 쓰면 3/5, 식만 맞게 쓰면 2 점

(3) 단위틀리거나 안쓰면 -1

식은 맞으나 계산잘못되었으면 (-점)

[9]. 물은 증발열이 40.66 kJ/mol이다. 물을 압력이 2.00 기압으로 고정되어 있는 압력솥에 넣고 끓일 때 물의 비등점을 계산하시오. 기체상수:  $R = 8.314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$ . (10 점)

$$\ln(2.00/1.00) = -(40660/8.314) [1/T - 1/373]$$

$$T = 393 \text{ K (또는 } 121^\circ\text{C)}$$

답과 식 맞으면 10 점

van't hoff 식만 있고 답 틀리면 5 점

비등점 등 문제에 직접적인 설명만 있으면 3 점

불필요한, 잘못된 풀이 및 백지 0 점

[10]. 다음 사항 중 옳은 것은 (O) 틀린 것은 (X) 하시오. (각 2 점  $\times$  5 = 총 10 점)

- (a) 298K, 10 기압의 이상기체를 1 기압이 될 때까지 등온가역 팽창시키면 기체 주위의 엔트로피는 증가한다. (X)
- (b) 온도가 298K 이고, 압력이 10 기압인 이상기체 1 몰을 온도가 298K 이고 압력이 1 기압은 최종상태로 변화시킨다. 이 때 비가역적으로 변화시키든지 가역적으로 변화시키든지 상관없이 기체의 엔트로피변화는 똑같다. (O)
- (c) 주어진 상태에 있는 계의 절대 엔트로피는 정의할 수 있지만 엔탈피는 절대값을 정의할 수 없다. (O)
- (d) 수소원자의 3s orbital 전자의 각운동량은 3p orbital 전자에 비해서 더 크다. (X)
- (e) 2s orbital 은 radial node 가 있지만 1s orbital 은 없다. (O)

[11].  $^{24}\text{Cr}$ 은 transition metal의 하나로 d-orbital을 갖고 있다. 다음 물음에 답하라. (3+3+4= 총10점)

- (4) Cr의 electron configuration (전자배치)를 쓰시오. (3점)
- (5)  $\text{Cr}^+$ 의 전자배치를 쓰라. (3점)
- (6) 3d-orbital이 갖고 있는 node(2점) 는 무엇이며 몇 개인가(2점)? (4점)

- 답: (1)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^1$  or  $[\text{Ar}]3d^5 4s^1$   
 (2)  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5$  or  $[\text{Ar}]3d^5$   
 (3) angular node, 2개

[12] The power output of a laser is measured by its wattage, the number of joules of energy it radiates per second ( $1\text{W} = 1 \text{ J s}^{-1}$ ). A 10-W laser produces a beam of green light with a wavelength of 520 nm ( $5.2 \times 10^{-7} \text{ m}$ ). 연습문제 15-20 (10 점)

- (a) Calculate the energy carried by each photon. (5점)
- (b) calculate the number of photons emitted by the laser per second. (5점)

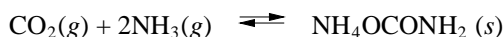


15.20 (a) The energy carried by a photon is the product of Planck's constant and its frequency  $E = h\nu$ . In this case  $E = 3.8 \times 10^{-19}$  J.

(b) The power of the laser is 10 W, which is  $10 \text{ J s}^{-1}$ . Hence:

$$\frac{10 \text{ J}}{1 \text{ s}} \times \left( \frac{1 \text{ photon}}{3.82 \times 10^{-19} \text{ J}} \right) = 2.6 \times 10^{19} \frac{\text{photon}}{\text{s}}$$

[13] Carbon dioxide reacts with ammonia to give ammonium carbamate, a solid. The reverse reaction also occurs: 13-52(10점)



The forward reaction is first order in  $\text{CO}_2(\text{g})$  and second order in  $\text{NH}_3(\text{g})$ . Its rate constant is  $0.238 \text{ atm}^{-2}\text{s}^{-1}$  at  $0.0^\circ\text{C}$  (expressed in terms of partial pressures rather than concentrations). The reaction in the reverse direction is zero order, and its rate constant, at the same temperature, is  $1.60 \times 10^{-7} \text{ atm s}^{-1}$ . Experimental studies show that, at all stages in the progress of this reaction, the net rate is equal to the forward rate minus the reverse rate. Compute the equilibrium constant of this reaction at  $0.0^\circ\text{C}$ . (10점)

13.52 The forward rate of the reaction and the reverse rate of the reaction are

$$\text{rate}_f = k_f P_{\text{CO}_2} P_{\text{NH}_3}^2 \quad \text{and} \quad \text{rate}_r = k_r$$

The net rate is the forward rate minus the reverse rate. At equilibrium the net rate is zero. Hence

$$k_f P_{\text{CO}_2} P_{\text{NH}_3}^2 = k_r$$

and

$$\frac{k_f}{k_r} = \frac{1}{P_{\text{CO}_2} P_{\text{NH}_3}^2}$$

But the expression on the right is the equilibrium constant, so  $K = k_f/k_r$ . Substitution of the two  $k$ 's gives  $K = 1.49 \times 10^6$ .

[14] A sample of ammonium carbamate placed in a glass vessel at  $25^\circ\text{C}$  undergoes the reaction



The total pressure of gases in equilibrium with the solid is found to be  $0.115 \text{ atm}$ . (총 10점)

(a) Calculate the partial pressures of  $\text{NH}_3$  and  $\text{CO}_2$ . (5점)

(b) Calculate the equilibrium constant at  $25^\circ\text{C}$ . (5점)

9.40 (a) Both gases come only from the volatilization of the ammonium carbamate; hence their partial pressures are related:  $P_{\text{NH}_3} = 2P_{\text{CO}_2}$ . Also, the sum of the two partial pressures is known:  $P_{\text{NH}_3} + P_{\text{CO}_2} = 0.115 \text{ atm}$ . These two equations in two unknowns are easily solved to give

$$P_{\text{NH}_3} = 0.0767 \text{ atm} \quad \text{and} \quad P_{\text{CO}_2} = 0.0383 \text{ atm}$$

(b) Inserting the two partial pressures in the equilibrium expression gives the value of the equilibrium constant:

$$P_{\text{NH}_3}^2 P_{\text{CO}_2} = (0.0767)^2 (0.0383) = 2.25 \times 10^{-4} = K$$

[15] One mole of a monatomic ideal gas begins in a state with  $P = 1.00 \text{ atm}$  and  $T = 300 \text{ K}$ . It is expanded reversibly and adiabatically until the volume has doubled; then it is expanded irreversibly and isothermally into a vacuum until the volume has doubled again; then it is heated reversibly at constant volume to  $400 \text{ K}$ . Finally, it is compressed reversibly and isothermally until a final state with  $P = 1.00 \text{ atm}$  and  $T = 400 \text{ K}$  is reached. Calculate  $\Delta S_{\text{sys}}$  for this process. (Hint: There are two ways to solve this problem—an easy way and a hard way.) 8-44(10점)

8.44 The easy way to solve this is to remember that  $S$  is a function of state, so the easiest way to calculate  $\Delta S$  is to consider a different path between the same two states: a constant pressure heating.

$$\Delta S = nC_P \ln \frac{T_2}{T_1} = (1.00 \text{ mol}) \times \frac{5}{2} (8.3145 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \ln \frac{400}{300} = 5.98 \text{ J K}^{-1}$$

The same answer is found, with much more work, by adding  $\Delta S$  for the four steps given.

[16] 다음 괄호 안을 채우시오. (각 2점×5 = 총 10점)

광전효과는 빛의 성질 중 ( ) 을 입증하는 실험이었다. 금속표면에 빛을 주면 전자가 방출되고 이러한 전자의 최대 운동에너지를 측정하여 금속의 ( ) 을 측정할 수 있다. 광전효과를 원자에 적용하여 원자에 빛을 주고 나오는 전자의 운동에너지를 측정하면 원자 내 전자의 ( ) 를 측정할 수 있다.

Bohr의 수소이론에서는 전자의 각운동량이 양자화 되어있다는 가정에서 출발하여 수소의 방출스펙트럼을 성공적으로 설명하였다. 이러한 가정은  $mvr = nh/(2\pi)$  라고 표시할 수 있다. De Broglie는 전자의 파동성을 생각하여 Bohr의 전자궤도 circle에서 전자가 가지는 파장  $\lambda$  은 원주와 ( ) 관계식을 가져야 소멸되지 않음을 인식하고, ( ) 로 표시되는 De Broglie 파장에 대한 식을 제시하였다.

답) 입자성, work function, binding energy (or 원자내 전자의 에너지 준위),  $n\lambda = 2\pi r$ ,  $\lambda = h/(mv)$  or  $h/p$

[17] Bohr 모델에 의해 단전자 원자에 대한 방출 스펙트럼을 해석하면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\nu = (3.29 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}) Z^2 (1/n_f^2 - 1/n_i^2),$$

Z는 원자번호,  $n_f$ 와  $n_i$ 는 전이에 관계된 양자번호이다.

위 식을 이용하여 He의 2차 이온화 에너지 (second ionization energy; kJ/mol의 단위로)를 구하라. (10점)

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}, N_A = 6.022 \times 10^{23}$$

답)  $\text{He}^+ \rightarrow \text{He}^{2+} + e$  에서의 에너지를 구하면 된다.

이온화가 되면  $n_i = \infty$  따라서

$$\begin{aligned} \text{Second IP} &= (6.626 \times 10^{-34} \text{ Js}) (3.29 \times 10^{15} \text{ s}^{-1}) \times 4 \times (6.022 \times 10^{23} / \text{mol}) \times 10^{-3} \text{ kJ/J} \text{ (7점)} \\ &= 5249 \text{ kJ/mol. (3점)} \end{aligned}$$

단위 쓰지 않으면 -1점