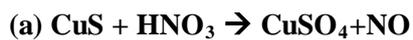


[1] H_2O , NH_3 , CH_4 에 대해 분자 내, 수소-중심원자-수소가 이루는 각도가 서로 다르다.
각도가 큰 것부터 나열하고, 그 이유를 분자 내 전자쌍 배열 및 분자구조로 설명하라. (5점
답)

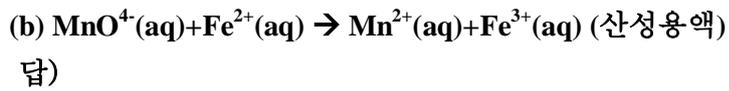
[2] 다음 서술이 맞으면 ○, 틀리면 ×하라. (맞으면 2점, 틀리면 1점 감점) (총 8점)

- (a) 라울의 법칙에서 양의 편차가 생기는 것은 용질과 용매분자간의 인력이 용매분자간의 인력보다 더 강할 때이다. ()
- (b) 헨리의 법칙은 용질의 증기압은 용질의 몰분율에 비례하는 것을 나타낸 식이다. ()
- (c) 수소결합이 강력한 이유는 수소원자가 근처의 산소원자들과 전자를 공유함으로써 약한 공유결합을 형성하기 때문이다. ()
- (d) 0°C 에서 표준상태에 있는 화학원소들은 엔탈피의 값이 0이다. ()

[3] 다음 산화환원반응을 완성하시오. (각 4점×2=총8점)



답)



[4] 아래 문제에 답하시오. (총 30점)

($R = 0.08206 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, $1 \text{ L atm} = 101.325 \text{ J}$)

(a) 1.00 mol의 단원자 이상기체가 일정(constant) 온도 $T = 293 \text{ K}$ 에서 2.0 atm에 1.0 atm으로 가역적으로(reversibly) 팽창한 후, 다시 가역적 단열 팽창을 통해 온도가 250 K 까지 내려갔다. 계속해서 일정온도 250 K를 유지하면서 얼마간 가역적으로 수축한 후 다시 가역적 단열과정을 통해 원래의 온도 300 K 를 회복하였다. 이 네 단계 과정을 P-V state diagram에 표시하라. 각 점에서의 압력과 부피를 atm과 L의 단위로 현실적으로 표시하라 (유효숫자는 두 자리로 고정). 그리고 이 시스템에 가해진 일에 해당하는 부분을 빗금으로 표시하라. (20점)

답)

(b) 위의 네 단계 과정을 거쳐서 원래 자리로 돌아오는 동안 시스템에 가해진 에너지, 일, 열을 J 단위로 구하여라. (10점)
답)

[5] 다음 반응에 대한 ΔH° 를 주어진 표를 이용하여 구하라. (15점)

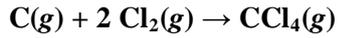


TABLE 7.3

AVERAGE BOND ENTHALPIES

	Molar Enthalpy of Atomization (kJ mol ⁻¹)†	Bond Enthalpy (kJ mol ⁻¹)‡								
		H—	C—	C=	C≡	N—	N=	N≡	O—	O=
H	218.0	436	413			391			463	
C	716.7	413	348	615	812	292	615	891	351	728
N	472.7	391	292	615	891	161	418	945		
O	249.2	463	351	728					139	498
S	278.8	339	259	477						
F	79.0	563	441			270			185	
Cl	121.7	432	328			200			203	
Br	111.9	366	276							
I	106.8	299	240							

† From Appendix D.

‡ From L. Pauling, *The Nature of the Chemical Bond*, 3rd ed. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1960.

© 2003 Thomson - Brooks/Cole

답)

[6] 아래 물음에 답하십시오 (총 7점)

(a) 분자량이 14,400 g/mol 인 단백질을 물에 녹여서 0.01 mol L⁻¹ 농도의 용액 1 L 를 만든 후 비이커에 담았다. 다른 빈 비이커에다가 앞에서 만든 용액 반을 부은 후 물을 더 넣어서 1 L 가 되게 하였다. 이 두 비이커를 25 °C 에 있는 아주 작은 밀폐된 용기에 넣으면 각 비이커에서 수증기가 증발할 것이다. 시간이 지나면 첫번째 비이커에 담긴 용액의 부피가 증가하게 되는데 그 이유는 무엇인가? (5점)

답)

(b) 시간이 충분히 흐르면 각각의 비이커에 담긴 용액의 농도와 부피는 어떻게 변하는가? 여기서 밀폐된 용기의 크기가 충분히 작아서 기체상태로 증발되는 물의 양은 거의 무시할 수 있다고 가정하라. (2점)

답)

[7] H₂O와 Ethanol은 물:에탄올=4:96의 혼합용액에서 azeotrope를 형성한다. 그 이유를 쓰시오(3 점). 물+에탄올 50% 혼합용액을 분별 증류하여 얻을 수 있는 용매 혹은 용액은 무엇인가? (2점)

답)

[8] You are stranded on a tropical island with no access to chemical literature resources, the internet (or no-rae-bang). Based on your knowledge of intermolecular forces, and molecular geometries, predict the order of normal boiling points for the series: SnCl_2 , SnCl_4 , and TeCl_2 . List these compounds in decreasing temperature with explanations (5점).

답)

[9] While cast away on your island, your favorite drink is “Moju,” which contains variable amounts of ethyl alcohol and water. Given that ethyl alcohol (specific heat capacity $2.44 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1}$) and water (heat capacity $4.18 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1}$) contribute independently to the heat properties of Moju, address the following: (총 7점)

a) Calculate the specific heat capacity of Moju $c_{(\text{Moju})}$ which is 45.0 % by weight in alcohol. Give your answer in $\text{JK}^{-1}\text{g}^{-1}$ (2점).

답)

b) A bartender takes an ice cube of mass 5.00 g from the freezer (-20°C) and drops it into 50.0 g of the solution from part (a) with a temperature of $+20^\circ\text{C}$. In order to not dilute the drink, the bartender pulls out the ice cube when its temperature reaches 0°C (assume none of the ice has melted). Calculate the temperature of “Moju” at this point in $^\circ\text{C}$. The heat capacity of ice is $2.40 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1}$ (5점).

답)

[10] Later on the island, you realize that you don't produce enough stomach acid to sufficiently digest your octopus stew. Since you are an *adventuresome chemist*, you resolve to synthesize HCl, from the pure elements of hydrogen and chlorine. Importantly you want to determine the heat of formation ΔH_f for $\frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HCl}(\text{g})$. Calculate this heat ΔH_f in kJ/mol given the following equations (25°C). (5점)



답)

[11] A mixture of H_2 and He at 300 K effuses from a very tiny hole in the vessel that contains it. What is the mole fraction of H_2 in the original gas mixture if 3.00 times as many He atoms as H_2 molecules escape from the orifice in unit time? If the same mixture is to be separated by a barrier-diffusion process, how many stages are necessary to achieve H_2 of 99.9% purity? (15점)

답)

[12] At 90°C the vapor pressure of toluene is 0.534 atm and the vapor pressure of benzene is 1.34 atm. Benzene (0.400 mol) is mixed with toluene (0.900 mol) to form an ideal solution. Compute the mole fraction of benzene in the vapor in equilibrium with this solution. (15점)

답)

2005년 1학기 일반화학 I 중간시험 (2005년 4월 20일 수요일)

(총 125점 만점)

[1] H_2O , NH_3 , CH_4 에 대해 분자 내, 수소-중심원자-수소가 이루는 각도가 서로 다르다.

각도가 큰 것부터 나열하고, 그 이유를 분자 내 전자쌍 배열 및 분자구조로 설명하라 (5점).

CH_4 , NH_3 , H_2O 의 순으로 각도가 작아진다. 고립-고립, 고립-결합, 결합-결합의 순으로 전자쌍간 반발이 줄어든다.

[2] 다음 서술이 맞으면 ○ 틀리면 × 하라. (맞으면 2점, 틀리면 1점 감점)

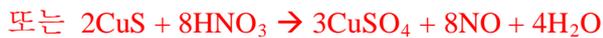
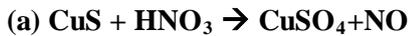
(a) 라울의 법칙에서 양의 편차가 생기는 것은 용질과 용매분자간의 인력이 용매분자간의 인력보다 더 강할 때이다. (x)

(b) 헨리의 법칙은 용질의 증기압은 용질의 몰분율에 비례하는 것을 나타낸 식이다. (○)

(c) 수소결합이 강력한 이유는 수소원자가 근처의 산소원자들과 전자를 공유함으로써 약한 공유결합을 형성하기 때문이다. (○)

(d) 0°C 에서 표준상태에 있는 화학원소들은 엔탈피의 값이 0이다. (x)

[3] 다음 산화환원반응을 완성하시오. (각 4점)



[4] 아래 문제에 답하시오. ($R = 0.08206 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, $1 \text{ L atm} = 101.325 \text{ J}$)

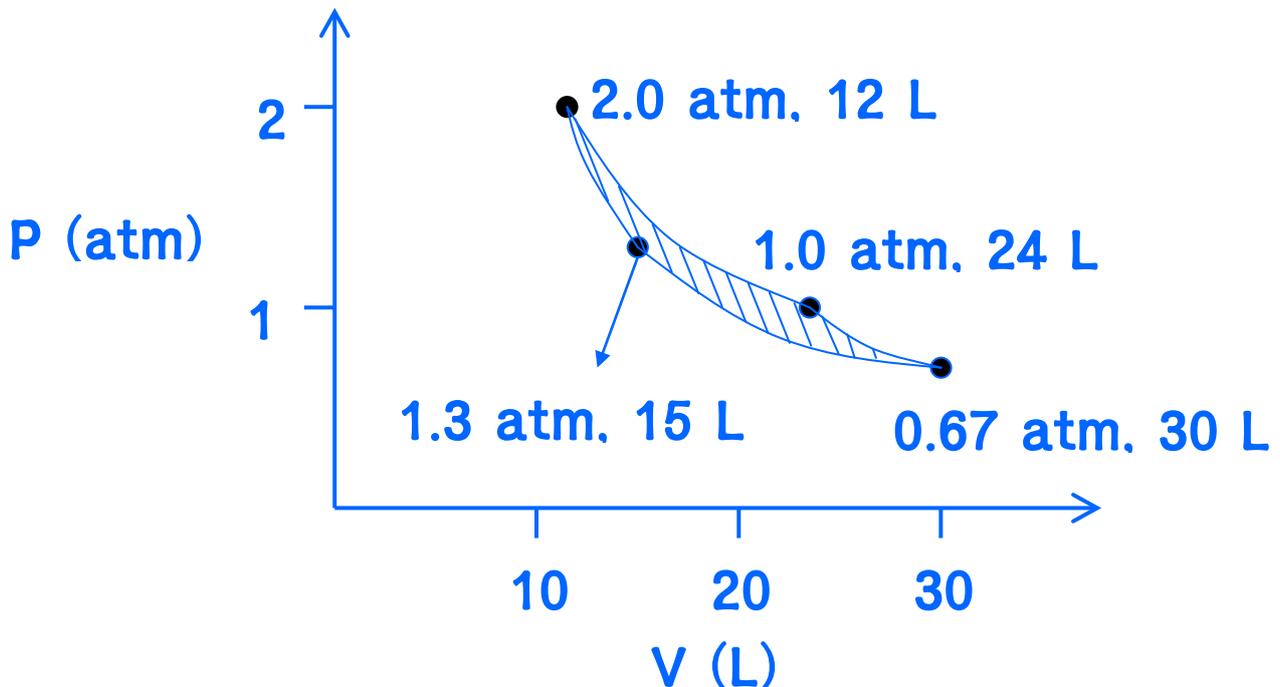
(a) 1.00 mol의 단원자 이상기체가 일정(constant) 온도 $T = 293 \text{ K}$ 에서 2.0 atm에 1.0 atm으로 가역적으로 (reversibly) 팽창한 후, 다시 가역적 단열 팽창을 통해 온도가 250 K 까지 내려갔다. 계속해서 일정온도 250 K를 유지하면서 얼마간 가역적으로 수축한 후 다시 가역적 단열과정을 통해 원래의 온도 293 K 를 회복하였다. 이 네 단계 과정을 P-V state diagram 에 표시하라. 각 점에서의 압력과 부피를 atm과 L의 단위로 현실적으로 표시하라 (유효숫자는 두 자리로 고정). 그리고 이 시스템에 가해진 일에 해당하는 부분을 빗금으로 표시하라 (20점)

답) 초기상태를 A라 하면 $T_A = 293 \text{ K}$, $P_A = 2.0 \text{ atm}$ 이 주어졌다. 따라서 $V_A = nRT_A / P_A = (1 \text{ mol}) \cdot (0.08206 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \cdot 293 \text{ K} / 2.0 \text{ atm} = 12 \text{ L}$.

항온 팽창 직후의 상태를 B라 하면, 항온이므로 $T_B = 293 \text{ K}$ 이고 문제에서 $P_B = 1.0 \text{ atm}$ 으로 주어져 있으므로, $V_B = (P_A / P_B) \cdot V_A = (2.0 \text{ atm} / 1.0 \text{ atm}) \cdot 12 \text{ L} = 24 \text{ L}$.

단열팽창 직후의 상태를 C라 하면, 문제에서 $T_C = 250 \text{ K}$ 로 주어져 있고, 단열이므로 $P_B V_B^\gamma = P_C V_C^\gamma$ 가 성립한다. 주어진 것이 온도를 포함한 식으로 바꾸면, $T_B V_B^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1}$ 이다. 따라서 $V_C = [(T_B / T_C) \cdot V_B^{\gamma-1}]^{1/(\gamma-1)} = [(293 \text{ K} / 250 \text{ K}) \cdot (24 \text{ L})^{5/3-1}]^{1/(5/3-1)} = 30 \text{ L}$. $P_C = nRT_C / V_C = (1 \text{ mol}) \cdot (0.08206 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \cdot 250 \text{ K} / 30 \text{ L} = 0.67 \text{ atm}$.

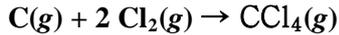
다시 항온 수축 직후의 상태를 D라 하면 항온이므로 $T_D = 250 \text{ K}$ 로 주어져 있다. 이 상태에서 단열수축 후 다시 A로 돌아가므로, D는 A에서 단열팽창 한 후의 상태와 같다. 따라서 앞에서 고려한 단열팽창과 마찬가지로 $T_A V_A^{\gamma-1} = T_D V_D^{\gamma-1}$ 가 성립하므로 $V_D = [(T_A / T_D) \cdot V_A^{\gamma-1}]^{1/(\gamma-1)} = [(293 \text{ K} / 250 \text{ K}) \cdot (12 \text{ L})^{5/3-1}]^{1/(5/3-1)} = 15 \text{ L}$. $P_D = nRT_D / V_D = (1 \text{ mol}) \cdot (0.08206 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \cdot 250 \text{ K} / 15 \text{ L} = 1.3 \text{ atm}$.



(b) 위의 네 단계 과정을 거쳐서 원래 자리로 돌아오는 동안 시스템에 가해진 에너지, 일, 열을 J 단위로 구하여라. (10점)

답) 온도가 변하지 않았으므로 $\Delta E = 0$, $w = w_{AB} + w_{BC} + w_{CD} + w_{DA} = -nRT_A \ln(V_B/V_A) - nC_V(T_C - T_B) + nRT_C \ln(V_C/V_D) + nC_V(T_A - T_D) = -nR(T_A - T_C) \ln(V_B/V_A) = -(1 \text{ mol}) \cdot (293 \text{ K} - 250 \text{ K}) \cdot (0.08206 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}) \cdot \ln(24 \text{ L} / 12 \text{ L}) = 2.445 \text{ L atm} = -248 \text{ J}$. $q = -w = 248 \text{ J}$.

[5] 다음 반응에 대한 ΔH° 를 주어진 표를 이용하여 구하라 (15점)



Molar Enthalpy of Atomization (kJ mol ⁻¹)†		Bond Enthalpy (kJ mol ⁻¹)‡								
		H—	C—	C=	C≡	N—	N=	N≡	O—	O=
H	218.0	436	413			391			463	
C	716.7	413	348	615	812	292	615	891	351	728
N	472.7	391	292	615	891	161	418	945		
O	249.2	463	351	728					139	498
S	278.8	339	259	477						
F	79.0	563	441			270			185	
Cl	121.7	432	328			200			203	
Br	111.9	366	276							
I	106.8	299	240							

† From Appendix D.

‡ From L. Pauling, *The Nature of the Chemical Bond*, 3rd ed. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1960.

© 2003 Thomson - Brooks/Cole

답) $\Delta H^\circ = \Delta H_f^\circ(\text{CCl}_4(\text{g})) - \Delta H_f^\circ(\text{C}(\text{g})) - 2\Delta H_f^\circ(\text{Cl}_2(\text{g}))$ 이므로 $\Delta H_f^\circ(\text{CCl}_4(\text{g}))$, $\Delta H_f^\circ(\text{C}(\text{g}))$, 그리고 $\Delta H_f^\circ(\text{Cl}_2(\text{g}))$ 를 구해야 한다. 이 중 $\text{Cl}_2(\text{g})$ 는 Cl의 가장 안정한 상태에 있으므로 $\Delta H_f^\circ(\text{Cl}_2(\text{g})) = 0$. 따라서 $\Delta H_f^\circ(\text{CCl}_4(\text{g}))$ 와 $\Delta H_f^\circ(\text{C}(\text{g}))$ 만 구하면 되는데 먼저 $\Delta H_f^\circ(\text{C}(\text{g}))$ 는 표에 나와있는 atomization 에너지로부터 쉽게 구할 수 있다. 즉 $\Delta H_f^\circ(\text{C}(\text{g})) = 716.7 \text{ kJ mol}^{-1}$.

$\Delta H_f^\circ(\text{CCl}_4(\text{g}))$ 를 구하려면 다음의 반응을 생각해야 한다.



그런데 이 반응은 두 가지 반응의 합으로 생각할 수 있다. 즉 Atomization 과정인 $\text{C}(\text{s, gr}) + 2 \text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{C}(\text{g}) + 4 \text{Cl}(\text{g})$ 와 화학결합이 생성되는



이 중 첫번째 반응에 대한 ΔH_1 은 표에 있는 atomization 에너지로부터 구할 수 있다. 즉, $\Delta H_1 = \Delta H_f^\circ(\text{C}(\text{g})) + 4 \Delta H_f^\circ(\text{Cl}(\text{g})) = 716.7 \text{ kJ mol}^{-1} + 4 * 121.7 \text{ kJ mol}^{-1} = 1203.5 \text{ kJ mol}^{-1}$.

두번째 반응에 대한 ΔH_2 는 표에 나와있는 bond enthalpy로부터 구할 수 있다. 4개의 C-Cl 결합이 형성되므로 $\Delta H_2 = 4 * (-328 \text{ kJ mol}^{-1}) = -1312 \text{ kJ mol}^{-1}$.

따라서 $\Delta H_f^\circ(\text{CCl}_4(\text{g})) = \Delta H_1 + \Delta H_2 = 1203.5 \text{ kJ mol}^{-1} - 1312 \text{ kJ mol}^{-1} = -108.5 \text{ kJ mol}^{-1}$.

최종적으로 $\Delta H^\circ = \Delta H_f^\circ(\text{CCl}_4(\text{g})) - \Delta H_f^\circ(\text{C}(\text{g})) - 2\Delta H_f^\circ(\text{Cl}_2(\text{g})) = -108.5 \text{ kJ mol}^{-1} - 716.7 \text{ kJ mol}^{-1} - 2 * 0 \text{ kJ mol}^{-1} = -825.2 \text{ kJ mol}^{-1}$.

[6] (a) 분자량이 14,400 g/mol 인 단백질을 물에 녹여서 0.01 mol L^{-1} 농도의 용액 1 L 를 만든 후 비이커에 담았다. 다른 빈 비이커에다가 앞에서 만든 용액 반을 부은 후 물을 더 넣어서 1 L 가 되게 하였다. 이 두 비이커를 $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 에 있는 아주 작은 밀폐된 용기에 넣으면 각 비이커에서 수증기가 증발할 것이다. 시간이 지나면 첫번째 비이커에 담긴 용액의 부피가 증가하게 되는데 그 이유는 무엇인가? (5점)

답) 두번째 비이커에 담긴 용액의 농도는 0.005 mol/liter 로 첫번째 비이커의 용액보다 농도가 묽다. 따라서 두번째 비이커의 증기압이 첫번째 비이커의 증기압보다 더 크다. 따라서 시간이 지난 후 변화량을 살펴보면 결국 두번째 비이커에서 증발된 물이 첫번째 비이커에 응축될 것이다.

그리고 이 과정은 두 용액의 농도가 같아질 때까지 계속된다.

(b) 시간이 충분히 흐르면 각각의 비이커에 담긴 용액의 농도와 부피는 어떻게 변하는가? 여기서 밀폐된 용기의 크기가 충분히 작아서 기체상태로 증발되는 물의 양은 거의 무시할 수 있다고 가정하라.(2점)

답) 첫번째 비이커가 가진 단백질의 양은 $(0.5 \text{ L}) \cdot (0.01 \text{ mol L}^{-1}) = 0.005 \text{ mol}$.

두번째 비이커가 가진 단백질의 양은 $(1 \text{ L}) \cdot (0.005 \text{ mol L}^{-1}) = 0.005 \text{ mol}$.

전체 단백질 양은 0.010 mol 이고 전체 용액의 부피는 1.5 L 이다. 따라서 최종 농도 = $(0.010 \text{ mol}) / (1.5 \text{ L}) = 0.0067 \text{ mol L}^{-1}$.

따라서 첫번째 비이커의 최종부피 = $(0.005 \text{ mol}) / (0.0067 \text{ mol L}^{-1}) = 0.75 \text{ L}$.

두번째 비이커의 최종부피도 마찬가지로 0.75 L .

[7] H_2O 와 Ethanol은 물:에탄올=4:96의 혼합용액에서 azeotrope를 형성한다. 그 이유를 쓰시오(3 점). 물+에탄올 50% 혼합용액을 분별 증류하여 얻을 수 있는 용매 혹은 용액은 무엇인가? (2점)

azeotrope를 형성하는 이유는 물-물, 에탄올-에탄올간의 인력이 물-에탄올사이의 인력보다 크기 때문이다.

(순수한 물)과 (4% water + 96% ethanol의 azeotropic mixture)를 얻는다.

[8] You are stranded on a tropical island with no access to chemical literature resources, the internet (or no-rae-bang). Based on your knowledge of intermolecular forces, and molecular geometries, predict the order of normal boiling points for the series: SnCl_2 , SnCl_4 , and TeCl_2 . List these compounds in decreasing temperature with explanations (5점).

Answer:

SnCl_2 , 925 K > TeCl_2 , 595 K > SnCl_4 385 K.

SnCl_4 : 무극성으로 제일 낮은 끓는점을 가짐.

SnCl_2 와 TeCl_2 : 결합의 극성은 전기음성도의 차이가 증가할수록 커진다.

(Sn-Cl의 전기음성도 차이가 Te-Cl의 전기음성도 차이보다 크다)

[9] While cast away on your island, your favorite drink is “Moju,” which contains variable amounts of ethyl alcohol and water. Given that ethyl alcohol (specific heat capacity $2.44 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1}$) and water (heat capacity $4.18 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1}$) contribute independently to the heat properties of Moju, address the following:

a) Calculate the specific heat capacity of Moju $c_{(\text{Moju})}$ which is 45.0 % by weight in alcohol. Give your answer in $\text{JK}^{-1}\text{g}^{-1}$ (2점)

Answer:

$$c_{(\text{Moju})} = (2.44 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1})(0.450) + (4.18 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1})(0.550)$$

$$c_{(\text{Moju})} = 3.40 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1}$$

b) A bartender takes an ice cube of mass 5.00 g from the freezer (-20°C) and drops it into 50.0 g of the solution from part (a) with a temperature of $+20^\circ\text{C}$. In order to not dilute the drink, the bartender pulls out the ice cube when its temperature reaches 0°C (assume none of the ice has melted). Calculate the temperature of “Moju” at this point in $^\circ\text{C}$. The heat capacity of ice is $2.40 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1}$. (5점)

Answer:

i. Ice: (-20°C , 5.00 g) \rightarrow Ice: (0°C , 5.00 g)

$$q_1 = m_1 \cdot c_{(\text{ice})} \Delta T_1$$

ii. Moju: ($+20^\circ\text{C}$, 50.0 g) \rightarrow Moju: (0°C , 50.0 g)

$$q_2 = m_2 \cdot c_{(\text{Moju})} \Delta T_2$$

$$q_1 + q_2 = 0$$

$$(5.00 \text{ g})(2.44 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1})(0^\circ\text{C} - (-20^\circ\text{C})) + (50.0 \text{ g})(3.40 \text{ JK}^{-1}\text{g}^{-1})(T_f - (20^\circ\text{C})) = 0$$

$$T_f = 18.6^\circ\text{C}$$

[10] Later on the island, you realize that you don't produce enough stomach acid to sufficiently digest your octopus stew. Since you are an *adventuresome chemist*, you resolve to synthesize HCl, from the pure elements of hydrogen and chlorine. Importantly you want to determine the heat of formation ΔH_f for $\frac{1}{2}\text{H}_2(\text{g}) + \frac{1}{2}\text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow \text{HCl}(\text{g})$. Calculate this heat ΔH_f in kJ/mol given the following equations (25°C): (5 점)

- 1 $\text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{H}(\text{g})$ (436.0 kJ)
- 2 $\text{Cl}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{Cl}(\text{g})$ (243.4 kJ)
- 3 $\text{H}(\text{g}) \rightarrow \text{H}^+(\text{g}) + \text{e}^-$ (1312.2 kJ)
- 4 $\text{Cl}(\text{g}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Cl}^-(\text{g})$ (-348.8 kJ)
- 5 $\text{H}^+(\text{g}) + \text{Cl}^-(\text{g}) \rightarrow \text{HCl}(\text{g})$ (-1395.4 kJ)

Answer:



$$\Delta H_f = -92.3 \text{ kJ/mol}$$

[11] A mixture of H_2 and He at 300 K effuses from a very tiny hole in the vessel that contains it. What is the mole fraction of H_2 in the original gas mixture if 3.00 times as many He atoms as H_2 molecules escape from the orifice in unit time? If the same mixture is to be separated by a barrier-diffusion process, how many stages are necessary to achieve H_2 of 99.9% purity? (15 점)

4.52

$$\frac{\text{rate (He)}}{\text{rate (H}_2)} = 3 = \frac{N(\text{He})}{N(\text{H}_2)} \sqrt{\frac{m(\text{H}_2)}{m(\text{He})}}$$

$$\frac{N(\text{He})}{N(\text{H}_2)} = 3 \sqrt{\frac{m(\text{He})}{m(\text{H}_2)}} = 3 \sqrt{1.986} = 4.227$$

$$X(\text{H}_2) = \frac{N(\text{H}_2)}{N(\text{H}_2) + N(\text{He})} = \frac{1}{1 + 4.23} = 0.191$$

The enrichment factor per stage is $\sqrt{1.986} = 1.409$. After n stages, the ratio is

$$\left(\frac{N(\text{H}_2)}{N(\text{He})}\right)_n = \left(\frac{N(\text{H}_2)}{N(\text{He})}\right)_0 (1.409)^n = \frac{1}{4.227} (1.409)^n$$

○ For 99.9% purity,

$$\frac{N(\text{H}_2)}{N(\text{He})} = \frac{99.9}{0.1} = 999$$

$$999 = \frac{1}{4.227} (1.409)^n$$

$$4223 = (1.403)^n$$

$$\log_{10} 4223 = n \log_{10} 1.403$$

$$n = 24.7 \quad \text{Thus 25 stages are required.}$$

[12] At 90°C the vapor pressure of toluene is 0.534 atm and the vapor pressure of benzene is 1.34 atm. Benzene (0.400 mol) is mixed with toluene (0.900 mol) to form an ideal solution. Compute the mole fraction of benzene in the vapor in equilibrium with this solution. (15점)

6.62 The vapor pressure is simply the vapor pressure that the component would have, if it were pure, multiplied by its mole fraction in the solution. Therefore, the vapor pressure of the toluene above this solution is

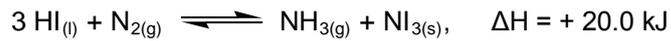
$$P_{\text{toluene}} = X_{\text{toluene}} P_{\text{toluene}}^{\circ} = \left(\frac{0.900}{0.400 + 0.900}\right) (0.534 \text{ atm}) = 0.370 \text{ atm}$$

at this temperature, and the vapor pressure of the benzene is 0.412 atm, by a similar calculation. The total pressure of the vapors above the solution is 0.782 atm, which is the sum of the partial pressures of the two volatile components of the solution. The mole fraction of benzene is

$$X_{\text{benzene}} = \frac{0.412 \text{ atm}}{0.782 \text{ atm}} = 0.527$$

[1] You are in charge and busy preparing a special series of chemical demonstrations to be made for people of all ages at the 엑스포과학공원. In preparation, you need to attend to and carefully test several experimental conditions. (각 3 점 x 6 개 = 총 18 점) (틀리면 부분점수 없음)

First, you are considering the following reaction in a container at equilibrium (25° C).



Because you are operating on a large scale and that there will be many spectators, you need to be sure which direction the reaction will shift: (i) to the left, (ii) to the right, or (iii) remain unchanged, under each of the following conditions (a – f):

a) A catalyst is added.

정답) (iii)

b) The volume is decreased (hint: think of the container as a piston).

정답) (iii)

c) The temperature is lowered.

정답) (i)

d) The total pressure is increased by adding He_(g).

정답) (iii)

e) Some N_{2(g)} is added.

정답) (ii)

f) Some HI_(l) is removed.

정답) (iii)

[2] Next, you are considering the following gaseous reaction that involves the production of extremely hazardous hydrogen fluoride (HF): (총 10 점)



From your General Chemistry knowledge, you know that this reaction is composed of these three equations listed below:



Calculate the equilibrium constant K_1 (for reaction i) in terms of K_2 , K_3 , and K_4 .

정답) $K_2^2 K_3^2 K_4$ (과정 6 점, 답 4 점)

[3] Lastly, you are worried about a 3-liter iron (Fe) container of 50.0 g mass that contains $\text{NO}_2(\text{g})$ (density = 2.054 g/L) at standard temperature and pressure (STP). The problem is that the NO_2 is corrosive has started to react with the inside wall of the iron container (!) and the total pressure has now fallen to 0.750 atm. However, at this point equilibrium has been attained. From your General Chemical knowledge you have decided that the reaction that has most likely occurred is the following: (총 15 점)



a) You must first calculate the equilibrium pressures of NO_2 and of N_2 . (5 점)

정답)



$$P_T = 0.750 = (1 - 6x) + 3x = 1 - 3x$$

$$x = 0.0833$$

$$P(\text{NO}_2) = 1 - (6)(0.0833) = 0.500 \text{ atm}$$

and...

$$P(\text{N}_2) = 3x = 0.250 \text{ atm}$$

(과정 2점, 답 3점)

b) Then, you must write the equilibrium expression K_p for the reaction as balanced above. (5 점)

정답)

$$K_p = P(\text{N}_2)^3 / P(\text{NO}_2)^6 \quad (\text{틀리면 부분점수 없음})$$

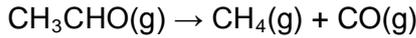
c) Finally you will calculate the numerical value of K_p for this reaction. (5 점)

정답)

$$K_p = P(\text{N}_2)^3 / P(\text{NO}_2)^6 = (0.250)^3 / (0.500)^6 = 1$$

(틀리면 부분점수 없음)

[4] 다음 acetaldehyde의 열분해반응에 대해 생각해 보자.



상기 반응식의 mechanism이 다음과 같이 제안되었다.

1. Initiation: $\text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \bullet\text{CH}_3 + \bullet\text{CHO}$ k_i
2. Propagation: $\text{CH}_3\text{CHO} + \bullet\text{CH}_3 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CH}_3\text{CO}\bullet$ k_p
Propagation: $\text{CH}_3\text{CO}\bullet \rightarrow \bullet\text{CH}_3 + \text{CO}$ k'_p
3. Termination: $\bullet\text{CH}_3 + \bullet\text{CH}_3 \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_3$ k_t

다음 물음에 답하라. (총20점)

(a) reaction intermediate는 어떤 것인가? (5점)

정답) (a) $\bullet\text{CH}_3$, $\text{CH}_3\text{CO}\bullet$

(b) 이러한 반응을 어떤 reaction 이라고 하는가? (5점)

정답) (b) chain reaction

(c) CH_4 의 생성속도식을 유도하라? (10점)

(각 스텝의 정반응만 고려하고, 반응종간체에 대한 steady state approximation을 적용)

정답)

(c)

The net rates of change of the intermediate are

$$\begin{aligned} d[\bullet\text{CH}_3]/dt &= k_i[\text{CH}_3\text{CHO}] - k_p[\bullet\text{CH}_3][\text{CH}_3\text{CHO}] + k'_p[\text{CH}_3\text{CO}\bullet] - 2k_t[\bullet\text{CH}_3]^2 \\ d[\text{CH}_3\text{CO}\bullet]/dt &= k_p[\bullet\text{CH}_3][\text{CH}_3\text{CHO}] - k'_p[\text{CH}_3\text{CO}\bullet] \end{aligned}$$

Applying the steady state approximation

$$d[\bullet\text{CH}_3]/dt = k_i[\text{CH}_3\text{CHO}] - k_p[\bullet\text{CH}_3][\text{CH}_3\text{CHO}] + k'_p[\text{CH}_3\text{CO}\bullet] - 2k_t[\bullet\text{CH}_3]^2 = 0$$

(이 과정 3점)

$$d[\text{CH}_3\text{CO}\bullet]/dt = k_p[\bullet\text{CH}_3][\text{CH}_3\text{CHO}] - k'_p[\text{CH}_3\text{CO}\bullet] = 0$$

(이 과정 3점)

Sum of the above two equations equals

$$k_i[\text{CH}_3\text{CHO}] - 2k_t[\bullet\text{CH}_3]^2 = 0$$

$$[\bullet\text{CH}_3] = (k_i/2k_t)^{1/2} [\text{CH}_3\text{CHO}]^{1/2}$$

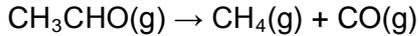
The rate of formation of product can now be expressed as

$$d[\text{CH}_4]/dt = k_p[\bullet\text{CH}_3][\text{CH}_3\text{CHO}] = k_p (k_i/2k_t)^{1/2} [\text{CH}_3\text{CHO}]^{3/2} \quad (\text{답: 4점})$$

$$\text{또는 } d[\text{CO}]/dt = k'_p[\bullet\text{CH}_3][\text{CH}_3\text{CHO}] = k_p (k_i/2k_t)^{1/2} [\text{CH}_3\text{CHO}]^{3/2}$$

처칠교수님 반(Q, R반)의 경우,

[4] 다음 acetaldehyde의 열분해반응에 대해 생각해 보자.



상기 반응식의 mechanism이 다음과 같이 제안되었다.

1. Initiation: $\text{CH}_3\text{CHO} \rightarrow \bullet\text{CH}_3 + \bullet\text{CHO}$ k_i
2. Propagation: $\text{CH}_3\text{CHO} + \bullet\text{CH}_3 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CH}_3\text{CO}\bullet$ k_p
Propagation: $\text{CH}_3\text{CO}\bullet \rightarrow \bullet\text{CH}_3 + \text{CO}$ k'_p
3. Termination: $\bullet\text{CH}_3 + \bullet\text{CHO} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$ k_t

다음 물음에 답하라. (총20점)

(a) reaction intermediate는 어떤 것인가? (5점)

정답) (a) $\bullet\text{CH}_3$, $\text{CH}_3\text{CO}\bullet$, $\text{CHO}\bullet$

(b) 이러한 반응을 어떤 reaction 이라고 하는가? (5점)

정답) (b) chain reaction

(c) CH_4 의 생성속도식을 유도하라? (10점)

(각 스텝의 정반응만 고려하고, 반응중간체에 대한 steady state approximation을 적용)

정답)

(c)

The net rates of change of the intermediate are

$$d[\bullet\text{CH}_3]/dt = k_i[\text{CH}_3\text{CHO}] - k_p[\bullet\text{CH}_3][\text{CH}_3\text{CHO}] + k'_p[\text{CH}_3\text{CO}\bullet] - k_t[\bullet\text{CH}_3][\bullet\text{CHO}] = 0$$

$$d[\text{CH}_3\text{CO}\bullet]/dt = k_p[\bullet\text{CH}_3][\text{CH}_3\text{CHO}] - k'_p[\text{CH}_3\text{CO}\bullet] = 0$$

$$d[\text{CHO}\bullet]/dt = k_i[\text{CH}_3\text{CHO}] - k_t[\bullet\text{CH}_3][\bullet\text{CHO}] = 0$$

Applying the steady state approximation

$$d[\bullet\text{CH}_3]/dt = k_i[\text{CH}_3\text{CHO}] - k_p[\bullet\text{CH}_3][\text{CH}_3\text{CHO}] + k'_p[\text{CH}_3\text{CO}\bullet] - k_t[\bullet\text{CH}_3][\bullet\text{CHO}] = 0$$

$$d[\text{CH}_3\text{CO}\bullet]/dt = k_p[\bullet\text{CH}_3][\text{CH}_3\text{CHO}] - k'_p[\text{CH}_3\text{CO}\bullet] = 0$$

$$d[\text{CHO}\bullet]/dt = k_i[\text{CH}_3\text{CHO}] - k_t[\bullet\text{CH}_3][\bullet\text{CHO}] = 0$$

(위의 과정 6점)

$$k_i[\text{CH}_3\text{CHO}] = k_t[\bullet\text{CH}_3][\bullet\text{CHO}]$$

The rate of disappearance of reactant can now be expressed as

$$d[\text{CH}_3\text{CHO}]/dt = k_t[\bullet\text{CH}_3][\bullet\text{CHO}] = k_i[\text{CH}_3\text{CHO}] \quad (\text{답 4점})$$

[5] NH₃ 합성의 평형상수는 900 K 에서 K_p = 3.7 x 10⁶ 값을 가진다. 이 반응의 ΔH° = -92 kJ 이라면, 550 K에서의 K_p값을 구하라. (총10점)

(Physical constant: R = 8.31 J mol⁻¹ K⁻¹)

정답)

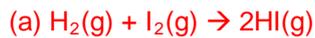
$$\text{from } \ln[K_2/K_1] = (-\Delta H^\circ/R) [1/T_2 - 1/T_1], K_p(550 \text{ K}) = 9.23 \times 10^{-3}$$

[과정(식): 6점, 답 4점]

[6] H₂(g), I₂(g), HI(g)가 처음 분압이 P(H₂) = 0.2000 atm, P(I₂) = 0.2000 atm, P(HI) = 0.2000 atm로 밀폐된 용기속에 혼합되어있다. (총10점)

(a) 600 K의 온도에서 평형에 도달했을 때의 각 기체의 분압을 구하라. (5점)
(단, 600 K에서 K_p = 81.0 이다.)

정답)



at Eq 0.2-x 0.2-x 0.2+2x

$$K_p = (0.2+2x)^2 / (0.2-x)^2 = 81, x = 0.145$$

따라서 P(H₂) = P(I₂) = 0.0550, P(HI) = 0.490 atm

[과정(식): 2점, 답 3점]

(b) 동일 온도에서 용기의 부피가 2배로 갑자기 늘어났다. 이 것이 다시 평형에 도달했을 때 각 기체의 분압을 구하라. (5점)

정답)

답:

(b) 이 경우는 각각의 분압이 1/2배라 다같이 감소할 것.

$$P(\text{H}_2) = P(\text{I}_2) = 0.0275, P(\text{HI}) = 0.245 \text{ atm}$$

[과정(식): 2점, 답 3점]

[7] Sodium D-line은 Na원자의 에너지레벨간의 전이에 의해 나오는 빛이다. 이 빛의 파장이 589.3 nm이며 가로등으로 많이 쓰이고 있다. 아래 물음에 답하시오. (총 20점)

(Physical Constants: $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

$h = 6.6261 \times 10^{-34} \text{ J s}$, $c = 2.9979 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$, $1 \text{ eV} = 1.6022 \times 10^{-19} \text{ J}$, $R = 8.31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

(a) 빛의 방출에 관련된 에너지변화를 J로 나타내어라. (5점)

정답)

$$(a) \epsilon_{\text{photon}} = hc/\lambda = [(6.6261 \times 10^{-34} \text{ J s})(2.9979 \times 10^8 \text{ m s}^{-1})] \div [(589.3 \times 10^{-9} \text{ m})] = 3.37 \times 10^{-19} \text{ J}$$

[과정(식): 2점, 답 3점]

(b) 가로등이 1000 J s^{-1} 의 에너지를 방출하려면 1초에 몇 몰의 Na atom이 필요한가? (5점)

정답) The energy change per mole is

$$\Delta E = [(3.371 \times 10^{-19} \text{ J})(6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1})] = 203 \text{ kJ/mol}$$

$$1000 \text{ J s}^{-1} \div (203 \text{ kJ/mol}) = 4.93 \times 10^{-3} \text{ mol s}^{-1}$$

Thus 4.93×10^{-3} mole is needed.

[과정(식): 2점, 답 3점]

(c) Na원자의 광전자 스펙트럼을 파장이 $9.89 \times 10^{-10} \text{ m}$ 인 X-ray를 사용하여 얻어보니 전자의 운동에너지가 181.6 eV, 1190.1 eV, 그리고 1223.1 eV에서 피크를 가짐을 알 수 있었다. 각 피크에 해당하는 Na원자의 전자결합에너지를 구하고 어느 오비탈에 해당하는지를 기술하라. (10점)

정답)

(ϵ_{photon}

$$= hc/\lambda = [(6.6261 \times 10^{-34} \text{ J s})(2.9979 \times 10^8 \text{ m s}^{-1})] \div [(9.89 \times 10^{-10} \text{ m})(1.6022 \times 10^{-19} \text{ J eV}^{-1})] = 1253.6 \text{ eV}$$

[과정(식): 2점, 답 2점]

$$\text{Binding Energy} = 1253.6 \text{ eV} - 181.6 \text{ eV} = 1072 \text{ eV} \quad [1\text{점}] \quad (\text{for } 2s \quad [1\text{점}])$$

$$= 1253.6 \text{ eV} - 1190.1 \text{ eV} = 63.5 \text{ eV} \quad [1\text{점}] \quad (\text{for } 2p \quad [1\text{점}])$$

$$= 1253.6 \text{ eV} - 1223.1 \text{ eV} = 30.5 \text{ eV} \quad [1\text{점}] \quad (\text{for } 3s \quad [1\text{점}])$$

[8] 아래 물음에 답하시오. (총 10점)

(a) 2주기 원소(Li, Be, B, C, N, O, F, Ne)의 제 1이온화에너지를 낮은 원소에서 높은 원소의 순으로 나열하라. (5점)

정답)

(a) Li-B-Be-C-O-N-F-Ne

(틀리면 부분점수 없음)

(b) 2주기 원소의 제 2 이온화에너지를 낮은 원소에서 높은 원소의 순으로 나열하라. (5점)

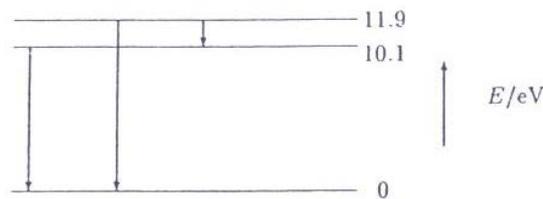
정답)

(b) Be-C-B-N-F-O-Ne-Li

(틀리면 부분점수 없음)

[9] In a Franck-Hertz experiment on H atoms, the first two excitation thresholds occur at 10.1 eV and 11.9 eV. Three optical emission lines are associated with these levels. Sketch an energy-level diagram for H atoms based on this information. Identify the three transitions associated with these emission lines. Calculate the wavelength of each emitted line. (총10점)

15.22 The three emission lines connect each possible pair of levels (see diagram).



The corresponding wavelengths of emitted light are given by

$$\lambda = \frac{hc}{\Delta E} = \frac{12.3982 \times 10^{-7} \text{ m}}{V_{\text{thr}}[\text{V}]}$$

(recall Example 15.3). Substituting $V_{\text{thr}} = 10.1, 11.9,$ and 1.8 V (the last of these is the voltage difference between the two excited states) gives wavelengths of

$$\lambda = 1.23 \times 10^{-7} \text{ m}, \quad 1.04 \times 10^{-7} \text{ m}, \quad 6.9 \times 10^{-7} \text{ m}$$

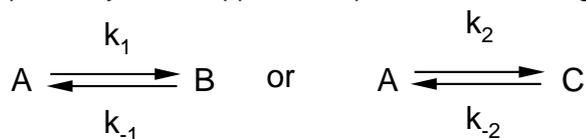
which can be written as 123, 104, and 690 nm.

Energy-level diagram: [3점]

계산식 : [4점]

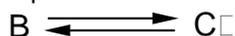
답 : [3점]

[10] In some reactions there is a competition between kinetic control and thermodynamic control over product yields. Suppose compound A can undergo two elementary reactions to stable products:



For simplicity we assume first-order kinetics for both forward and reverse reactions. We take the numerical values $k_1 = 1 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$, $k_{-1} = 1 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$, $k_2 = 1 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$, and $k_{-2} = 1 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$. (총10점)

(a) Calculate the equilibrium constant for the equilibrium



From this value, give the ratio of the concentration of B to that of C at equilibrium. This is an example of thermodynamic control. (5점)

정답) [과정: 2점, 답: 3점]

(b) In the case of kinetic control, the products are isolated (or undergo additional reaction) before the back reactions can take place. Suppose the back reactions in the preceding example (k_{-1} and k_{-2}) can be ignored. Calculate the concentration ratio of B to C reached in this case. (5점)

정답) [과정: 2점, 답: 3점]

13.54 (a) At equilibrium, $\frac{[B]}{[A]} = \frac{k_1}{k_{-1}}$ and $\frac{[C]}{[A]} = \frac{k_2}{k_{-2}}$. Dividing the second expression by the first gives

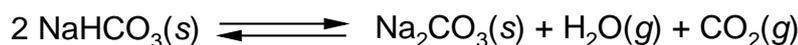
$$\frac{[C]}{[B]} = \frac{k_2 k_{-1}}{k_{-2} k_1} = \frac{(1 \times 10^9)(1 \times 10^2)}{(1 \times 10^4)(1 \times 10^8)} = 0.1 = K$$

The ratio of [B] to [C] is the inverse of this, or 10.

(b) If k_{-1} and k_{-2} can be ignored, then B forms at a rate k_1/k_2 times that of C. In this case,

$$\frac{[B]}{[C]} = \frac{k_1}{k_2} = \frac{1 \times 10^8}{1 \times 10^9} = 0.1$$

[11] The total pressure of the gases in equilibrium with solid sodium hydrogen carbonate at 110°C is 1.648 atm, corresponding to the reaction



(NaHCO_3 is used in dry chemical fire extinguishers because the products of this decomposition reaction smother the fire.) (총10점)

(a) Calculate the equilibrium constant at 110°C . (5점)

정답) [과정: 2점, 답: 3점]

(b) What is the partial pressure of water vapor in equilibrium with $\text{NaHCO}_3(\text{s})$ at 110°C if the partial pressure of $\text{CO}_2(\text{g})$ is 0.800 atm? (5점)

정답) [과정: 2점, 답: 3점]

9.44 (a) The partial pressures of the two product gases (H_2O and CO_2) must equal each other and add up to 1.648 atm; hence they both equal 0.824 atm. Inserting the two partial pressures in the equilibrium expression gives the value of the equilibrium constant:

$$P_{\text{H}_2\text{O}} P_{\text{CO}_2} = (0.824)(0.824) = 0.679 = K$$

(b) $P_{\text{H}_2\text{O}} = K/P_{\text{CO}_2} = 0.697 / 0.800 = 0.849 \text{ atm}$

[12] Calculate the entropy change that results from mixing 54.0 g of water at 273 K with 27.0 g of water at 373 K in a vessel whose walls are perfectly insulated from the surroundings. Consider the specific heat of water to be constant over the temperature range from 273 K to 373 K and to have the value $4.18 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1}$. (10점)

정답)

8.46) Although the process is carried out in an insulated vessel so that there is no heat exchange with the environment and consequently no entropy change for the environment, the system increases in entropy because the process is irreversible. Let us find a two-step reversible process leading to the same final state.

Step 1 : 54.0 g $\text{H}_2\text{O}(l)$ at $0^\circ\text{C} \rightarrow 54.0 \text{ g H}_2\text{O}(l)$ at t_f .

Step 2: 27.0 g $\text{H}_2\text{O}(l)$ at $100^\circ\text{C} \rightarrow 27.0 \text{ g H}_2\text{O}(l)$ at t_f .

Because $q_{total} = 0$,

$$54.0 \text{ g} \times 4.18 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} (t_f - 0) + 27.0 \text{ g} \times 4.18 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} (t_f - 100) = 0$$

$$t_f = 33.33^\circ\text{C} = 306.48 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \Delta S_1 &= n_1 c_V \ln \frac{306.48}{273.15} \\ &= \frac{54.0 \text{ g}}{18.02 \text{ g mol}^{-1}} (4.18 \text{ J K}^{-1} \text{ g}^{-1} \times 18.02 \text{ g mol}^{-1}) \ln \frac{306.48}{273.15} \\ &= 25.99 \text{ J K}^{-1} \end{aligned}$$

$$\Delta S_2 = n_2 c_V \ln \frac{306.48}{373.15} = -22.21 \text{ J K}^{-1}$$

$$\Delta S_{\text{sys}} = \Delta S_1 + \Delta S_2 = 3.8 \text{ J K}^{-1}$$

$T_f = 306.48 \text{ K}$: [2점]

ΔS_1 : [3점] -과정 1점, 답 2점

ΔS_2 : [3점] -과정 1점, 답 2점

ΔS_{sys} : [2점]