

2.1 An monatomic ideal gas at 300 K has a volume of 15 liters at a pressure of 15 atm. Calculate

- The final volume of the system
- The work done by the system
- The heat entering or leaving the system
- The change in the internal energy
- The change in the enthalpy when the gas undergoes
 - A reversible isothermal expansion to a pressure of 10 atm
 - A reversible adiabatic expansion to a pressure of 10 atm

The constant-volume molar heat capacity of the gas, c_v , has the value 1.5 R.

$$T = 300 \text{ K}, V_1 = 15, P_1 = 15 \text{ atm}, R = 0.08206 \quad PV = nRT \quad n = \frac{RT}{PV} = 9.15 \text{ mol}$$

i. a) isothermal expansion 0.13 n, R, T constant $\therefore PV = nRT$ ok $P_1 V_1 = P_2 V_2$

$$P_1 V_1 = 15 \cdot 15 = 10 \cdot V_2 \quad V_2 = \frac{15^2}{10} = 22.5 \text{ L ok}$$

$$b) \Delta U = q + w = - \int P dV \quad \int P dV = - \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1} \text{ ok}$$

$$\therefore V_1 = 15, V_2 = 22.5 \quad 9.15 \text{ mol} \cdot 8.314 \text{ J/K} \cdot \text{mol} \times 300 \text{ K} \cdot \ln \frac{22.5}{15} = -925 \text{ J}$$

$$c) \Delta U = q + w = 0 \quad \therefore q = -w = 925 \text{ J}$$

d) $\Delta U = 0$ because isothermal expansion

$$e) \Delta H = \Delta U + \Delta(PV) = 0 + \Delta(nRT) = 0 \quad \therefore 0$$

ii a) adiabatic expansion 0.13

$$P_1 V_1^{\frac{5}{3}} = P_2 V_2^{\frac{5}{3}} \quad \therefore (15)^{\frac{5}{3}} = 10 \cdot V_2^{\frac{5}{3}} \quad V_2 = 19.13 \text{ L}$$

$$b) PV = nRT \quad \therefore \frac{P_1 \cdot V_1}{n \cdot R} = \frac{10 \cdot 19.13}{9.15 \cdot 0.08206} = 255 \text{ K}$$

$$q = 0 \quad \therefore \Delta U = W = n C_V \Delta T$$

$$= 9.15 \text{ mol} \cdot \frac{3}{2} \cdot 8.314 \text{ J/K} \cdot \text{mol} \cdot (255 - 300) \text{ K} = -5135 \text{ J}$$

$$c) q = 0$$

$$d) \Delta U = W = -5135 \text{ J}$$

$$e) \Delta H = n C_P \Delta T = 9.15 \times 2.5 \times 8.314 \times (255 - 300) \text{ K} = -8549 \text{ J}$$

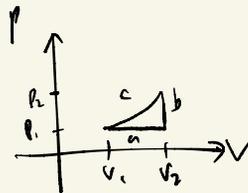
2.2 One mole of a monatomic ideal gas, in the initial state $T = 273 \text{ K}$, $P = 1 \text{ atm}$, is subjected to the following three processes, each of which is conducted reversibly:

- A doubling of its volume at constant pressure,
 - Then a doubling of its pressure at constant volume,
 - Then a return to the initial state along the path $P = 6.643 \times 10^{-4} V^2 + 0.6667$.
- Calculate the heat and work effects which occur during each of the three processes.

$$pV = nRT$$

$$\therefore V_1 = 0.08206 \times 273 = 22.4 \text{ l}$$

$$V_2 = 2V_1 = 44.8 \text{ l}$$



$$\begin{aligned} \text{a). } W &= \int p dV = \int_{V_1}^{V_2} p dV = PV_2 - PV_1 = 22.4 \text{ atm} \cdot \text{l} \\ &= 22.4 \times 101.325 = 2270 \text{ J} \end{aligned}$$

$$PV_2 = nRT = 44.8$$

$$\frac{44.8}{0.08206} = T = 546 \text{ K}$$

$$\begin{aligned} \Delta U &= \int nC_v dt = (546 - 273) \cdot \frac{3}{2} \cdot 8.314 = 3404 \text{ J} \\ q &= \Delta U + W = 5674 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\text{b) } W = \int p dV = 0 \quad (\text{constant volume})$$

$$q = \int nC_v dT \quad PV_2 = nRT = 89.6 \quad T = \frac{89.6}{0.08206} = 1092 \text{ K}$$

$$\therefore n \cdot \frac{3}{2} \cdot 8.314 \cdot (1092 - 546) = 6809 \text{ J}$$

$$\text{c) } W = \int p dV = \int_{V_2}^{V_1} p dV = \int_{44.8}^{22.4} (6.643 \times 10^{-4} V^2 + 0.6667) dV$$

$$= -32.4 \text{ atm} \cdot \text{l} = -32.4 \times 101.325 = -3278 \text{ J}$$

$$\Delta U = \int_{1092}^{273} nC_v dt = -10213 \text{ J}$$

$$q = \Delta U + W = -13491 \text{ J}$$

3.1 The initial state of 1 mole of a monatomic ideal gas is $P = 10 \text{ atm}$ and $T = 300 \text{ K}$.

Calculate the change in the entropy of the gas for

- An isothermal decrease in the pressure to 5 atm
- A reversible adiabatic expansion to a pressure of 5 atm
- A constant-volume decrease in the pressure to 5 atm

$$P_1 = 10 \text{ atm} \quad n = 1 \\ T_1 = 300 \text{ K} \quad V_1 = \frac{nRT_1}{P_1} = \frac{0.08206 \cdot 300}{10} = 2.46 \text{ L}$$

a). $P_1 V_1 = P_2 V_2$

$$P_2 V_2 = P_1 V_1 \quad \therefore V_2 = 4.92 \text{ L}$$

$$\Delta S = \frac{q}{T} \quad \Delta U = 0 \rightarrow q = w = \int p \, dV = nRT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) = 4.714 \cdot 300 \ln 2 = 1929 \text{ J}$$

$$\therefore \Delta S = \frac{1929}{300} = 6.43 \text{ J/K}$$

b) Reversible adiabatic
 $\rightarrow q_{\text{rev}} = 0 \rightarrow \Delta S = 0$

c) $V_2 = V_1 \quad P_2 = 5$

$$\therefore P_2 V_2 = nRT_2 \quad T_2 = \frac{5 \cdot 2.46}{0.08206} = 150 \text{ K}$$

$$\Delta S = \frac{q_v}{T} = \int \frac{nC_v}{T} dT = nC_v \ln \frac{T_2}{T_1} = -8.64 \text{ J/K}$$

- 3.4 Calculate the change in the enthalpy and the change in entropy when 1 mole of SiC is heated from 25°C to 1000°C. The constant-pressure molar heat capacity of SiC varies with temperature as

$$c_p = 50.79 + 1.97 \times 10^{-3} T - 4.92 \times 10^{-6} T^2 + 8.20 \times 10^{-9} T^3 \text{ J/mole} \cdot \text{K}$$

$$25^\circ\text{C} \rightarrow 298\text{K} \quad 1000^\circ\text{C} \rightarrow 1273\text{K}$$

$$\Delta H = \int n C_p dT = \int_{298}^{1273} (50.79 + 1.97 \times 10^{-3} T - 4.92 \times 10^{-6} T^2 + 8.20 \times 10^{-9} T^3) dT = 42744 \text{ J}$$

constant pressure

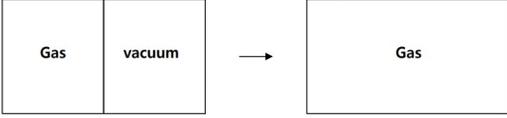
$$\Delta S = \frac{q_p}{T} = \frac{\Delta H + w}{T} = \frac{\Delta H}{T}$$

$$\therefore \Delta S = \int \frac{n C_p}{T} dT = \int_{298}^{1273} (50.79 \cdot T^{-1} + 1.97 \times 10^{-3} - 4.92 \times 10^{-6} T + 8.20 \times 10^{-9} T^2) dT$$

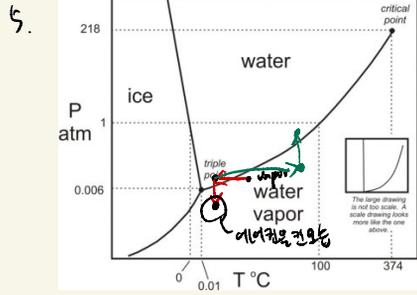
$$= 59.1 \text{ J/K}$$

5. 늦가을 자동차를 운전하면 유리창에 김 서림이 문제가 된다. 자동차 유리창에 김이 서리는 이유는 H₂O의 PT diagram를 이용하여 과학적으로 설명하시오. 이를 제거하기 위해 냉난방 장치를 이용할 경우 창 쪽으로 더운 공기가 나오게 하는 것이 현명한 가, 아니면 에어컨 바람이 나오게 하는 것이 현명한 가? 근거를 대고 설명하시오.

6. 왼쪽 그림과 같이 한쪽 box에 갇혀있던 ideal gas 입자들은 칸막이를 제거할 경우 진공 영역으로 퍼져 나가 통합된 전체 box 내에서 균일하게 분포를 하게 된다. 각 gas 입자들은 칸막이가 제거된 순간 옆에 빈 공간이 있으며 그리로 퍼져 나가야 할 운명이라는 것을 미리 알고 있었을까? 퍼져 나가야 할 어떤 force 같은 것을 느끼게 되는 걸까? 이 문제에 대한 견해를 밝히시오.



6. 칸막이가 없게되면 공간이 확장된다. 약 기체가 존재할 수 있는 공간의 경계가 증가하는 것이다. 엔트로피는 통계학적 관점에서 보기에 공간의 경계의 수의 증가는 곧 엔트로피의 증가이다. 식으로 보면 $S = k \log W$ 이다. 분할된 엔트로피가 증가하는 방향으로 자발적으로 일어나므로 엔트로피가 증가하는 방향으로 입자들이 확산된다. force 같은 것은 입자가 느끼지않으면 그것은 엔트로피 증가를 원해서 일어나는 것 같다.



물의 상평형선은 위와 같다. 잠열의 양이 높기 때문에 액체가 기체 상태로 확장할 때.

김 서림이 생기는 이유는 낮은 과냉각 온도보다 상대습도를 증가시켜 차가워진 유리창에서 수증기가 응축 현상이 일어나는 것이다. 자동차내부의 온도를 낮추기 위해 에어컨을 켜면 에어컨 근처에서 수증기가 응축된다. 이에 H₂O의 용량은 더 떨어진다. 그러면 다시 기체 상태로 되게 된다. 현역 히터는 김 서림을 잘 A 쉽게 만들 수 있지만 금방 다시 차가워지기 때문이다. 김 서림이 생기기 쉬운 상황과는 다르다.

7. "Microscopically reversible, macroscopically irreversible"이라는 표현이 전달하고자 하는 의미가 무엇일지 각자 이해한 대로 의미를 설명하시오.

위 예과 같은 상황에서 입자 하나에 대해 미시적으로 보으면 입자 하나는 지극히 정돈된 상태이지만 전체적으로 볼 때는 무질서한 상태이다.

그러나 거시적 관점에서 모든 입자가 움직여 놓 전체를 채우는 것은 다시 한 번 정돈된 상태로 돌아갈 수 있는 비가역 상태가 보인다.

여기서 Microscopically reversible, macroscopically irreversible 은 통계학적인 관점에서 미시적 관점에서는 정돈된 상태를 갖는 입자들의 움직임이 거역 불가능하지만 거시적 관점에서는 무질서하게 작동한다고 생각된다.