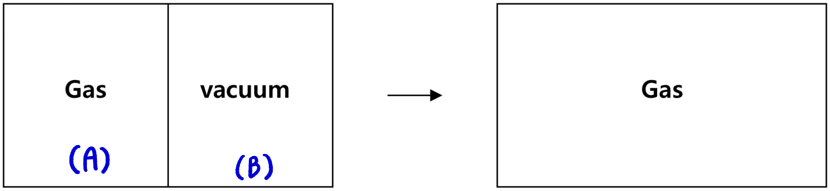
Thermodynamics HW #1

20190322 이은애

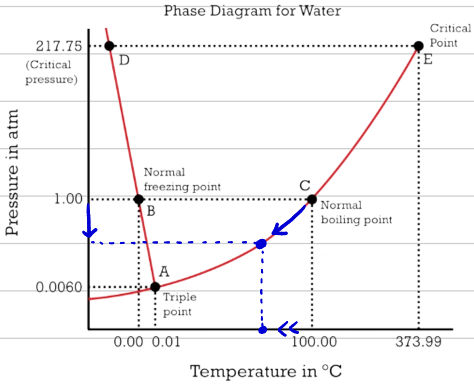
1. 왼쪽 그림과 같이 한쪽 box에 갇혀있던 ideal gas 입자들은 칸막이를 제거할 경우 진공 영역으로 퍼져 나가 통합된 전체 box 내에서 균일하게 분포를 하게 된다. 각 gas 입자들은 칸막이가 제거된 순간 옆에 빈 공간이 있으며 그리로 퍼져 나가야 할 운명이라는 것을 미리 알고 있었을까? (퍼져 나가야 할 어떤 force 같은 것을 느끼게 되는 걸까?) 이 문제에 대한 견해를 밝히시오.



기체 분자들은 운동에너지가 커서 분자 사이의 거리가 멀고, 분자들이 빠르고 끊임없이 자유롭게 움직인다. 그렇기 때문에 칸막이를 제거하기 전 (A)에 있는 기체 분자들 또한 무질서한 방향으로 계속적으로 움직이고 있을 것이다. 기체분자의 운동방향은 무질서하기 때문에 (A)에서 (B)로 향하는 분자의 운동도 존재할 것이다. 하지만 이 운동은 칸막이에서 탄성충돌이 일어나며 운동방향이 변해 (A)공간에만 갇혀있게 된다. 여기서 칸막이를 제거하게 되면 (A)에서 자유롭게 움직이던 분자들 중 (B)로 향하는 운동방향을 가진 분자들이 방해없이 움직이게 되면서 (B) part에 분자들이 퍼져나가게 된다.

기체분자는 자유롭게, 무질서하게 운동하고 있는 것일 뿐이기 때문에 칸막이가 제거되면서 (B)로 향하는 분자도 있지만 여전히 (A) 영역내에서 운동하는 분자도 존재할 것이고, (B)에 갔다가 다시 (A)로 향해 운동하는 분자도 있을 것이다. 이러한 기체 분자의 운동을 고려했을 때, 나는 각 입자들이 빈 공간에 퍼져나가야 할 운명, 즉 퍼져나가야할 어떤 force를 느낀다기보다는 그저 자유롭게 움직이는 과정 중의 하나일 뿐이라고 생각한다.

2. 높은 산에 올라가 냄비에 밥을 지으면 3층밥이 되는 경우가 많다. 그 이유를, H_2O의 P-T diagram을 이용하여, 물이 끓는다는 것의 의미와 함께 과학적으로 설명하시오. 또한 3층밥이 지어지는 것을 피하기 위한 대안을 제시하시오.



끓는다는 것은 액체가 열을받아 기체로 기화되는 과정에서 액체의 표면에서 증발이 일어나고, 액체의 내부에서 기화가 일어나 기포가 올라오는 것을 말한다. 액체가 끓기 시작하는 온도를 끓는 점이라 하는데, 이는 액체물질의 증기압이 외부압력과 같아지는 온도이므로 외부의 압력에 따라 변화한다.

고도에 따른 기압저하 때문에 높은 산에서의 기압은 1atm보다 낮아진다. 그리고 우리는 phase diagram을 통해 외부 압력이 낮아지면 A-E 곡선을 따라 끓는 점 또한 낮아진다는 것을 알 수 있다. 낮아진 끓는 점에서 끓기 때문에 냄비의 위쪽까지 열이 충분히 전달되지 않아 윗부분은 설익고, 이 설익은 부분을 익힌다고 오래 열을 가하면서 밥의 아랫부분은 타게된다. 그리고 열이 충분히, 그렇다고 과하지는 않게 전달된 중간부분은 잘 지어진 밥이되어 3층밥이 완성되는 것이다.

이러한 3층밥 형성을 막기 위해서는 끓는 점을 높여주기 위한 노력이 필요하다. 이에 대한 예시로는 냄비 뚜껑위에 돌을 올려서 외부 압력을 증가시켜 끓는점을 높이는 방법을 들 수 있다.

3. An ideal gas at 300 K has a volume of 15 liters at a pressure of 15 atm. Calculate (1) the final volume of the system, (2) the work done by the system, (3) the heat entering or leaving the system, (4) the change in the internal energy, and (5) the change in the enthalpy when the gas undergoes

   a. A reversible isothermal expansion to a pressure of 10 atm
   b. 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_0: 300K → T , P_0 : 15atm → P : 10atm , V_0 : 15L → V , $C_v = 1.5R$

a. A reversible isothermal expansion

1) T 일정 → $P_0V_0 = nRT_0 = PV$ $\therefore V = \frac{P_0V_0}{P} = \frac{15atm \cdot 15L}{10atm} = 22.5L$

2) $W = \int PdV = \int \frac{nRT_0}{V} dV = nRT_0 \cdot \ln\frac{V}{V_0} = P_0V_0 \cdot \ln\frac{V}{V_0}$

$= 15atm \cdot 15L \cdot \ln\frac{22.5L}{15L} = 91.2\ atm\cdot L = 9.24kJ$ ($\because$ 1atm·L = 101.325J)

3) isothermal ⇒ $dT=0$ 이므로 $\Delta U = 0$ $\therefore \Delta U = q - w = 0 \rightarrow q = w = 9.24kJ$

(q>0 이므로 entering)

4) $C_v = \left(\frac{dU}{dT}\right)_v$ $\therefore \Delta U = \int C_v dT = 0$ ($\because$ isothermal → dT=0)

5) $C_p = \left(\frac{dH}{dT}\right)_p$ $\therefore \Delta H = \int C_p dT = 0$ ($\because$ isothermal → dT=0)

b. A reversible adiabatic expansion

1) $C_v = 1.5R$ / $C_p = R + C_v = 2.5R$ $\therefore \gamma = \frac{C_p}{C_v} = \frac{5}{3}$

$P_0V_0^\gamma = PV^\gamma \rightarrow \therefore V = \left(\frac{P_0V_0^\gamma}{P}\right)^{\frac{1}{\gamma}} = 19.1L$

2) $\frac{P_0V_0}{T_0} = \frac{PV}{T} \rightarrow T = PV \cdot \frac{T_0}{P_0V_0} = 10atm \cdot 19.1L \cdot \frac{300K}{15atm \cdot 15L} = 255K$

Adiabatic (i.e. $q=0$) → $\therefore W = q - \Delta U = -\Delta U = -\int nC_v dT = -1.5nR \cdot \Delta T$

$= -1.5 \cdot \frac{15atm \cdot 15L}{300K} \cdot (-45K) = 50.6\ atm\cdot L = 5.13kJ$

3) Adiabatic → $\therefore q = 0$

4) $\Delta U = q - w = -w = -5.13kJ$

5) $\Delta H = \int nC_p dT = 2.5nR \cdot \Delta T = -84.4\ atm \cdot L = -8.5kJ$

4. One mole of a monatomic ideal gas, in the initial state T = 273 K, P = 1 atm, is subjected to the following three processes, each of which is conducted reversibly:

a. A doubling of its volume at constant pressure
b. Then a doubling of its pressure at constant volume
c. 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.

$P_0 = 1\text{atm}$, $T_0 = 273K$, one mole of a monoatomic gas → $V_0 = \frac{RT_0}{P_0} = 22.4L$

a. doubling of its volume at const. P

1) $W = \int PdV = P \cdot \Delta V = 1\text{atm} \cdot 22.4L = 22.4 \text{ atm}\cdot L = 2.3 kJ$

2) $q = \Delta U + W = nC_v \cdot \Delta T + W = 1mol \cdot 1.5R \cdot 273K + 2.3kJ = 5.7kJ$

($P_0V_0/T_0 = P_0V_1/T_1$, $V_1 = 2V_0$ ∴ $T_1 = 2T_0$ → $\Delta T = 2T_0 - T_0 = T_0$)

Then, $P_1 = 1\text{atm}$, $T_1 = 546K$, $V_1 = 44.8L$

b. doubling of its pressure at const. V

1) $W = \int PdV = 0$ (∵ $dV = 0$)

2) $q = \Delta U + W = \Delta U = nC_v \cdot \Delta T = 1mol \cdot 1.5R \cdot 546K = 6.8kJ$

($P_1V_1/T_1 = P_2V_1/T_2$, $P_2 = 2P_1$ ∴ $T_2 = 2T_1$ → $\Delta T = 2T_1 - T_1 = T_1$)

Then, $P_2 = 2\text{atm}$, $V_2 = 44.8L$, $T_2 = 1092K$

c. return to the initial state along the path $P = 6.643 \times 10^{-4} V^2 + 0.6667$

1) $W = \int PdV = \int_{V_2}^{V_0} (6.643 \times 10^{-4} V^2 + 0.6667) dV$

$= \left[\frac{1}{3} \times 6.643 \times 10^{-4} V^3 + 0.6667V\right]_{V_2}^{V_0} = -32.4 \text{ atm}\cdot L = -3.3kJ$

2) $P_0 = \frac{1}{2}P_2$, $V_0 = \frac{1}{2}V_2$, $\frac{P_0V_0}{T_0} = \frac{P_2V_2}{T_2}$ ∴ $T_0 = \frac{1}{4}T_2 = 273K$

→ $\Delta T = T_0 - T_2 = -819K$

$q = \Delta U + W = nC_v \Delta T + W = 1mol \cdot 1.5R \cdot (-819K) + (-3.3kJ)$

$= -10.2kJ - 3.3kJ = -13.5kJ$