

CHƯƠNG 2: NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT CỦA NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Tóm tắt lý thuyết:

1. Nguyên lý thứ nhất:

$\Delta U = U_2 - U_1 = A + Q$, trong đó: ΔU là độ biến thiên nội năng, A và Q là công và nhiệt mà hệ nhận được trong quá trình biến đổi.

$A > 0, Q > 0$ – thực sự nhận công hoặc nhiệt;

$A < 0, Q < 0$ – hệ sinh công hoặc tỏa nhiệt (nhận công và nhiệt âm);

$A' = -A; Q' = -Q$ là công mà nhiệt mà hệ thực sự sinh (tỏa) ra.

$$Q = \Delta U + A'$$

2. Công trong quá trình cân bằng

$$A = \int_1^2 \delta A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

3. Nhiệt trong quá trình cân bằng

$$c = \frac{\delta Q}{m dT} - \text{nhiệt dung riêng} \left(\frac{\text{J}}{\text{kg.K}} \right) \rightarrow \delta Q = m c dT;$$

$$C = \mu c = \frac{\mu}{m} \frac{\delta Q}{dT} - \text{nhiệt dung mol} \left(\frac{\text{J}}{\text{mol.K}} \right) \rightarrow \delta Q = \frac{m}{\mu} C dT.$$

4. Khảo sát các quá trình cân bằng

a) Quá trình đẳng tích $V = \text{const}$

$$\text{- Công: } A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = 0$$

$$\text{- Nhiệt: } Q = \int \delta Q = \frac{m}{\mu} C_v \int_{T_1}^{T_2} dT = \frac{m}{\mu} C_v (T_2 - T_1) = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T$$

$$\text{- Độ biến thiên nội năng: } \Delta U = A + Q = Q = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T$$

$$\text{Mặt khác: } U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R T \rightarrow \Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T \rightarrow \Delta U = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$

$$\rightarrow C_v = \frac{i}{2} R - \text{nhiệt dung mol đẳng tích.}$$

b) Quá trình đẳng áp $p = \text{const}$

$$\text{- Công: } A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_1 - V_2)$$

$$\text{- Nhiệt: } Q = \int \delta Q = \int_{T_1}^{T_2} \frac{m}{\mu} C_p dT = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T$$

$$\text{- Độ biến thiên nội năng: } \Delta U = A + Q = p(V_1 - V_2) + \frac{m}{\mu} C_p \Delta T$$

$$\text{Mặt khác: } pV = \frac{m}{\mu} R T \rightarrow p(V_1 - V_2) = \frac{m}{\mu} R (T_1 - T_2) = - \frac{m}{\mu} R \Delta T$$

$$\text{Suy ra: } \Delta U = \frac{m}{\mu} (C_p - R) \Delta T = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T \rightarrow C_p - R = \frac{i}{2} R \rightarrow C_p = \frac{i+2}{2} R - \text{nhiệt dung mol đẳng áp.}$$

$$C_p - C_v = R - \text{hệ thức Mayer,}$$

$$\frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i} = \gamma - \text{hệ thức Poisson.}$$

γ - là hệ số Poisson hay chỉ số đoạn nhiệt.

c) Quá trình đẳng nhiệt $T = \text{const}$

- Công: $A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$, mặt khác: $pV = \frac{m}{\mu} RT \rightarrow p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} \rightarrow A = - \frac{m}{\mu} RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_1}{V_2} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{p_2}{p_1}$

- Độ biến thiên nội năng: $\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T = 0$

- Nhiệt: $\Delta U = A + Q = 0 \rightarrow Q = -A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2}$

d) Quá trình đoạn nhiệt $Q = 0$

- Công & độ biến thiên nội năng: $\Delta U = Q + A = A \rightarrow A = \Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT$

Từ đó suy ra: $dU = \delta A = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R dT$

Mặt khác: $\delta A = -p dV \rightarrow -p dV = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R dT = \frac{m}{\mu} C_v dT$

Từ PTTT: $p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} \rightarrow -p dV = -\frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} dV$

So sánh hai biểu thức: $-RT \frac{dV}{V} = C_v dT \rightarrow \frac{dT}{T} + \frac{R}{C_v} \frac{dV}{V} = 0 \rightarrow \frac{dT}{T} + \frac{C_p - C_v}{C_v} \frac{dV}{V} \rightarrow \frac{dT}{T} + (\gamma - 1) \frac{dV}{V} = 0$

Thích phân 2 vế: $\ln T + (\gamma - 1) \ln V = \text{const} \rightarrow \ln(TV^{\gamma-1}) = \text{const} \rightarrow TV^{\gamma-1} = \text{const}$

Từ phương trình trạng thái có thể suy ra thêm được các phương trình tương đương:

$$p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} \rightarrow \begin{cases} pV^\gamma = \text{const} \\ Tp^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{const} \end{cases}$$

- Tính công: $A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$

Ta có: $pV^\gamma = p_1 V_1^\gamma \rightarrow p = \frac{p_1 V_1^\gamma}{V^\gamma} \rightarrow A = -p_1 V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma} = \frac{p_1 V_1^\gamma}{\gamma - 1} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}) \rightarrow A = \frac{p_1 V_1}{\gamma - 1} \left[\left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{1-\gamma} - 1 \right]$

Hoặc: $p_2 V_2^\gamma = p_1 V_1^\gamma \rightarrow A = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\gamma - 1}$

Hoặc: $p_1 V_1 = \frac{m}{\mu} RT_1 \rightarrow A = \frac{m}{\mu} \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1 \right)$

Các bài tập cần làm: 8.1, 8.2, 8.4, 8.5, 8.9, 8.10, 8.12, 8.14, 8.16, 8.17, 8.24, 8.25, 8.27, 8.29, 8.31, 8.34

MỘT SỐ BÀI TẬP ĐẶC TRƯNG

Bài 8.4. Một bình kín chứa 14g khí Nito ở áp suất 1at và nhiệt độ 27°C . Sau khi hơi nóng, áp suất trong bình lên tới 5at. Hỏi:

- Nhiệt độ của khí sau khi hơi nóng;
- Thể tích của bình;
- Độ tăng nội năng của khí.

Tóm tắt:

$m = 14\text{g}; N_2; \mu = 28(\text{g/mol}); p_1 = 1\text{at} = 9,81 \cdot 10^4 (\text{N/m}^2); t_1 = 27^\circ\text{C} \rightarrow T_1 = 300\text{K}; p_2 = 5\text{at}$

- $T_2 = ?$
- $V = ?$
- $\Delta U = ?$

Bài giải:

a) Quá trình đẳng tích: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \rightarrow T_2 = T_1 \frac{p_2}{p_1} = 300 \cdot \frac{5}{1} = 1500\text{K}$

b) Phương trình trạng thái khí lý tưởng: $pV = \frac{m}{\mu}RT \rightarrow V = \frac{m}{\mu p_1}RT_1 = \frac{14}{28} \cdot \frac{8,31 \cdot 300}{9,81 \cdot 10^4} = 0,0127 \text{m}^3 = 12,7(\text{lit})$

c) $V = \text{const} \rightarrow A = 0 \rightarrow$

$$\Delta U = Q = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T = \frac{14}{28} \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot (1500 - 300) = 12465(\text{J}) = 12,465(\text{kJ})$$

Bài 8.9. 6,5g Hidro ở nhiệt độ 27°C , nhận được nhiệt nên thể tích giãn nở gấp đôi, trong điều kiện áp suất không đổi. Tính:

a) Công mà khối khí sinh ra;

b) Độ biến thiên nội năng của khối khí;

c) Nhiệt lượng đã cung cấp cho khối khí.

Tóm tắt:

$$m = 6,5\text{g} = 6,5 \cdot 10^{-3}(\text{kg}); t_1 = 27^\circ\text{C} \rightarrow T_1 = 300\text{K}; \frac{V_2}{V_1} = 2; p = \text{const}$$

a) $A' = ?$

b) $\Delta U = ?$

c) $Q = ?$

Bài giải:

a) $A' = -A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p(V_2 - V_1) = p(2V_1 - V_1) = pV_1 = \frac{m}{\mu}RT_1 = \frac{6,5}{2} \cdot 8,31 \cdot 300 = 8102(\text{J})$

b) $\Delta U = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} R \cdot (T_2 - T_1)$, mặt khác do quá trình đẳng áp nên: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \rightarrow T_2 = T_1 \frac{V_2}{V_1} = 2T_1$

từ đó: $\Delta U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} R \cdot (T_2 - T_1) = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} R \cdot (2T_1 - T_1) = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} R \cdot T_1 = \frac{6,5}{2} \cdot \frac{5}{2} \cdot 8,31 \cdot 300 = 20255(\text{J})$

c) Theo nguyên lý 1: $Q = \Delta U + A' = 20255 + 8102 = 28357(\text{J})$

Bài 8.14. 10g khí Oxy ở áp suất 3at và nhiệt độ 10°C được đun nóng đẳng áp và giãn nở đến thể tích 10 lít. Tìm:

a) Nhiệt lượng cung cấp cho khối khí;

b) Độ biến thiên nội năng của khối khí;

c) Công do khí sinh ra khi giãn nở.

Tóm tắt:

$$m = 10\text{g} = 10^{-2}\text{kg}; p = 3\text{at}; t_1 = 10^\circ\text{C} \rightarrow T_1 = 283\text{K}; V_2 = 10(\text{lit}) = 10^{-2}\text{m}^3$$

a) $Q = ?$

b) $\Delta U = ?$

c) $A' = ?$

Bài giải:

a) $Q = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T = \frac{m}{\mu} \frac{i+2}{2} R (T_2 - T_1) = \frac{i+2}{2} \left(pV_2 - \frac{m}{\mu} RT_1 \right) = (\text{thay số})$
 $= \frac{5+2}{2} \left(3,9,81 \cdot 10^4 \cdot 10 \cdot 10^{-3} - \frac{10}{32} \cdot 8,31 \cdot (273 + 10) \right) = 7728(\text{J})$

b) $\Delta U = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T = \frac{i}{2} \left(pV_2 - \frac{m}{\mu} RT_1 \right) = \frac{i}{i+2} Q = \frac{5}{7} \cdot 7728 = 5520(\text{J})$

c) $A' = Q - \Delta U = 7728 - 5520 = 2208(\text{J})$

Bài 8.31. Một khối khí (*lưu ý nguyên tử - sách bài tập cho thiếu dữ kiện này*) thực hiện 1 chu trình như trên hình vẽ, trong đó 1-2 và 3-4 là 2 quá trình đẳng nhiệt ứng với nhiệt độ T_1 và T_2 , 2-3 và 4-1 là 2 quá trình đoạn nhiệt. Cho biết:

$$V_1 = 2 \text{ lít}, T_1 = 400\text{K}, V_2 = 5 \text{ lít}, p_1 = 7\text{at}, V_3 = 8 \text{ lít}.$$

Tìm:

a) p_2, p_3, p_4, V_4, T_2 ;

b) Công do khối khí thực hiện trong từng quá trình và trong cả chu trình;

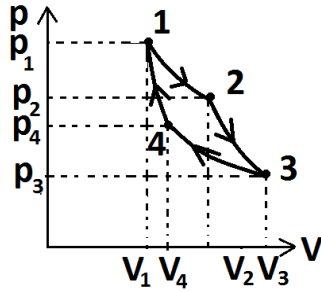
c) Nhiệt mà khối khí nhận được (hoặc tỏa ra) trong từng quá trình đẳng nhiệt.

$i = 5; V_1 = 2(\text{lit}) = 2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3; T_1 = 400\text{K}; V_2 = 5(\text{lit}) = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3; p_1 = 7\text{at}; V_3 = 8(\text{lit}) = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$

a) $p_2 = ?; p_3 = ?; p_4 = ?; V_4 = ?; T_2 = ?$

b) $A = ?;$

c) $Q = ?.$



a) $1 \rightarrow 2$ đẳng nhiệt: $p_2 V_2 = p_1 V_1 \rightarrow p_2 = \frac{V_1}{V_2} p_1 = \frac{2}{5} \cdot 7 = 2,8(\text{at})$

Khí lưỡng nguyên tử: $\gamma = \frac{i+2}{i} = \frac{7}{5} = 1,4$

$2 \rightarrow 3$ đoạn nhiệt:

$$p_2 V_2^\gamma = p_3 V_3^\gamma \rightarrow p_3 = p_2 \left(\frac{V_2}{V_3} \right)^\gamma = 2,8 \cdot \left(\frac{5}{8} \right)^{1,4} = 1,45(\text{at})$$

Mặt khác: $T_2 V_2^{\gamma-1} = T_3 V_3^{\gamma-1} \rightarrow T_3 = T_2 \left(\frac{V_2}{V_3} \right)^{\gamma-1} = 400 \left(\frac{5}{8} \right)^{1,4-1} = 331(\text{K})$

Quá trình $4 \rightarrow 1$ đoạn nhiệt: $T_4 p_4^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_1 p_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \rightarrow p_4 = p_1 \left(\frac{T_1}{T_4} \right)^{\frac{\gamma}{1-\gamma}} = 7 \left(\frac{400}{331} \right)^{\frac{1,4}{1-1,4}} = 3,6(\text{at})$

Quá trình $3 \rightarrow 4$ đẳng nhiệt: $p_4 V_4 = p_3 V_3 \rightarrow V_4 = \frac{p_3}{p_4} V_3 = \frac{1,45}{3,6} \cdot 8 = 3,2(\text{lit})$

b) Công mà khối khí thực hiện:

- trong quá trình $1 \rightarrow 2$ (đẳng nhiệt):

$$A'_{12} = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} p V \frac{dV}{V} = p_1 V_1 \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = 7 \cdot 9,8 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \ln \frac{5}{2} = 1258(\text{J})$$

- Trong quá trình đoạn nhiệt $2 \rightarrow 3$:

$$p V^\gamma = p_2 V_2^\gamma \rightarrow p = \frac{p_2 V_2^\gamma}{V^\gamma} \rightarrow A'_{23} = -A_{23} = p_2 V_2^\gamma \int_{V_2}^{V_3} \frac{dV}{V^\gamma} = \frac{p_2 V_2^\gamma}{\gamma-1} (V_2^{1-\gamma} - V_3^{1-\gamma}) \rightarrow A'_{23} = \frac{p_2 V_2}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_3}{V_2} \right)^{1-\gamma} \right]$$

Thay số:

$$A'_{23} = \frac{p_2 V_2}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_3}{V_2} \right)^{1-\gamma} \right] = \frac{2,8 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{1,4-1} \left[1 - \left(\frac{8}{5} \right)^{1-1,4} \right] = 588(\text{J})$$

- Trong quá trình đẳng nhiệt $3 \rightarrow 4$:

$$A'_{34} = \int_{V_3}^{V_4} p dV = \int_{V_3}^{V_4} p V \frac{dV}{V} = p_3 V_3 \int_{V_3}^{V_4} \frac{dV}{V} = p_3 V_3 \ln \frac{V_4}{V_3} = 1,45 \cdot 9,8 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot \ln \frac{3,2}{8} = -1043(\text{J})$$

- Trong quá trình đoạn nhiệt $4 \rightarrow 1$:

$$p V^\gamma = p_4 V_4^\gamma \rightarrow p = \frac{p_4 V_4^\gamma}{V^\gamma} \rightarrow A'_{41} = -A_{41} = p_4 V_4^\gamma \int_{V_4}^{V_1} \frac{dV}{V^\gamma} = \frac{p_4 V_4^\gamma}{\gamma-1} (V_4^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}) \rightarrow A'_{41} = \frac{p_4 V_4}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_4} \right)^{1-\gamma} \right]$$

Thay số:

$$A'_{41} = \frac{p_4 V_4}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_4} \right)^{1-\gamma} \right] = \frac{3,6 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 3,2 \cdot 10^{-3}}{1,4-1} \left[1 - \left(\frac{2}{3,2} \right)^{1-1,4} \right] = -588(\text{J})$$

Cả chu trình: $A' = 1258 + 588 - 1043 - 588 = 219(\text{J})$

c) Khí chỉ nhận (tỏa) nhiệt trong 2 quá trình đẳng nhiệt:

$Q_{12} = A'_{12} = 1258(\text{J})$ và $Q_{34} = -A'_{34} = -1043(\text{J})$ suy ra: $Q = Q_{12} + Q_{34} = 1258 - 1043 = 215(\text{J})$

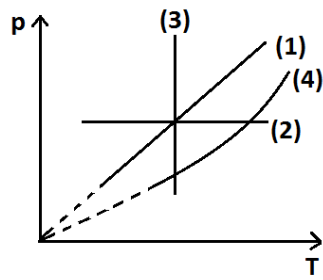
Bài 8.34. Vẽ các đồ thị của những quá trình đẳng tích, đẳng áp, đẳng nhiệt và đoạn nhiệt của giãn đồ:

a) $T, p;$

b) $T, V;$

c) $T, U;$

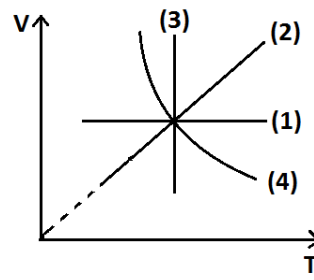
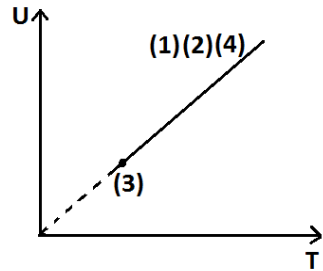
d) $V, U.$



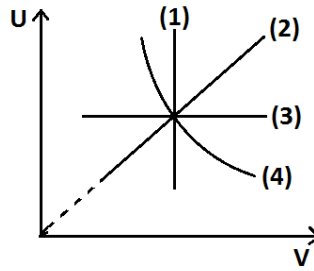
- a)
- (1): Đẳng tích: $p = \text{const. } T$
- (2): Đẳng áp: $p = \text{const}$
- (3): Đẳng nhiệt: $T = \text{const}$
- (4): Đoạn nhiệt:

$$p = T^{\frac{\gamma}{\gamma-1}}$$

- c)
- (1): Đẳng tích: $U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT$
- (2): Đẳng áp: $U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT$
- (3): Đẳng nhiệt: $U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT_0$
- (4): Đoạn nhiệt: $U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT$



- b)
- (1): Đẳng tích: $V = \text{const}$
- (2): Đẳng áp: $V = \text{const. } T$
- (3): Đẳng nhiệt: $T = \text{const}$
- (4): Đoạn nhiệt: $V = T^{\frac{1}{1-\gamma}}$



- c)
- (1): Đẳng tích: $V = \text{const}$
- (2): Đẳng áp: $U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \left(\frac{V}{\text{const}} \right)$
- (3): Đẳng nhiệt: $U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT_0 = \text{const}$
- (4): Đoạn nhiệt: $U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R V^{1-\gamma}$