

Chương 8

Nguyên lý thứ nhất nhiệt động lực học

Bài giảng Vật lý đại cương

Tác giả: PGS. TS Đỗ Ngọc Uẩn

Viện Vật lý kỹ thuật

Trường ĐH Bách khoa Hà nội

§ 1. KHÁI NIỆM NĂNG LƯỢNG-CÔNG VÀ NHIỆT

1. NĂNG LƯỢNG:

- Đặc trưng cho **mức độ vận động** của vật chất trong hệ. \rightarrow **trạng thái xác định, năng lượng xác định.**

\Rightarrow Năng lượng là hàm của trạng thái.

- Hệ không chuyển động, không đặt trong trường lực \rightarrow Năng lượng của hệ đúng **bằng nội năng** của hệ: $W = U$

2. CÔNG VÀ NHIỆT:

Khối khí đẩy pít tông -> sinh công -> nội năng giảm -> **trao đổi năng lượng**; **Nén**: nhận công.

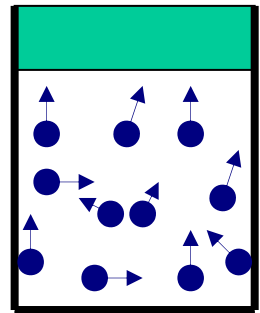
- Nung nóng khối khí, giữ $V = \text{const}$

-> Chuyển động hỗn loạn tăng -> T tăng

-> **trao đổi năng lượng**: nhận nhiệt.

- Sự tương đương giữa **công** và **nhiệt**:

$$4,18\text{j} \Leftrightarrow 1\text{calo}$$



• Công và nhiệt là những đại lượng **đo mức độ** trao đổi năng lượng. Chúng không phải là năng lượng. Chúng không phải là hàm trạng thái mà là **hàm của quá trình**.

Công liên quan đến chuyển động có trật tự
Nhiệt liên quan đến chuyển động hỗn loạn

§2. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC

Trong cơ học: Độ biến thiên năng lượng của hệ bằng công mà hệ trao đổi trong quá trình đó:

$$\Delta W = W_2 - W_1 = A \rightarrow \text{Nhiệt?}$$

1. PHÁT BIỂU NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC:

Độ biến thiên năng lượng của hệ trong quá trình biến đổi bằng tổng công và nhiệt hệ nhận được trong quá trình đó

$$\Delta W = W_2 - W_1 = A + Q$$

A, Q - Công và nhiệt hệ nhận được.

$\Rightarrow A' = -A, Q' = -Q$ Công và nhiệt hệ sinh & toả ra.

- Hệ đứng yên thì $W=U$ (nội năng)
- \Rightarrow Trong quá trình biến đổi, độ biến thiên nội năng của hệ bằng tổng công và nhiệt hệ nhận được trong quá trình đó:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = A + Q$$

Đối với quá trình biến đổi vô cùng nhỏ:

$$dU = \delta A + \delta Q$$

2. Ý NGHĨA NGUYÊN LÝ I NĐLH:

- Nếu $A > 0, Q > 0 \Rightarrow \Delta U = U_2 - U_1 > 0$ **nội năng tăng**, Hệ nhận công và nhiệt. Công sinh ra $A' < 0$ & nhiệt toả ra $Q' < 0$.
- Nếu $A < 0, Q < 0 \Rightarrow U_2 < U_1 \Rightarrow$ **Nội năng giảm**, Hệ sinh công $A' > 0$ & toả nhiệt $Q' > 0$.
- Nếu $A = 0$ & $Q = 0 \Rightarrow U_2 = U_1$ Nội năng bảo toàn
- Định luật bảo toàn và chuyển hoá năng lượng:
Năng lượng không tự sinh ra và cũng không tự mất đi, nó chỉ chuyển hoá từ dạng này sang dạng khác, truyền từ hệ này sang hệ khác.

3. HỆ QUẢ CỦA NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG LỰC HỌC:

” Không tồn tại động cơ vĩnh cửu loại I: Giả sử hệ thực hiện một chu trình kín và trở lại trạng thái ban đầu; Tức $U_2=U_1 \rightarrow \Delta U = 0 \Rightarrow A=-Q$ hay $-A = Q$; Như vậy hệ nhận công thì toả nhiệt, sinh công thì phải nhận nhiệt.

Trong một hệ cô lập gồm 2 vật trao đổi nhiệt, nhiệt lượng do vật này toả ra bằng nhiệt lượng do vật kia thu vào:

$$\Delta U = 0 \Rightarrow Q_1 = -Q_2.$$

§3. ỨNG DỤNG NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT ĐỘNG LỰC HỌC

1. Trạng thái cân bằng, quá trình cân bằng

a. Định nghĩa: *Trạng thái cân bằng của hệ là trạng thái trong đó mọi thông số trạng thái không biến đổi theo thời gian.* Trạng thái cân bằng bị phá vỡ nếu chịu tác động từ bên ngoài.

Quá trình cân bằng là quá trình biến đổi gồm một chuỗi liên tiếp các trạng thái cân bằng

Thực tế không có quá trình CB; **QT biến đổi rất chậm:** Trạng thái CB được thiết lập trong toàn hệ trước khi chuyển sang trạng thái CB tiếp theo

é QT giả cân bằng

b. Công mà hệ nhận được trong quá trình CB

Áp suất tác dụng lên pít tông

$$p = F/S$$

Công khối khí nhận được:

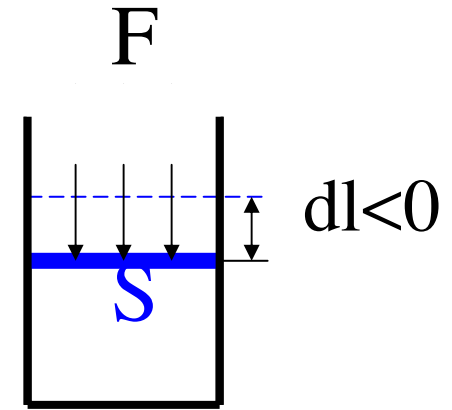
$$\delta A = -F \cdot dl = -pSdl$$

$$S \cdot dl = dV \quad \Rightarrow \quad \delta A = -pdV$$

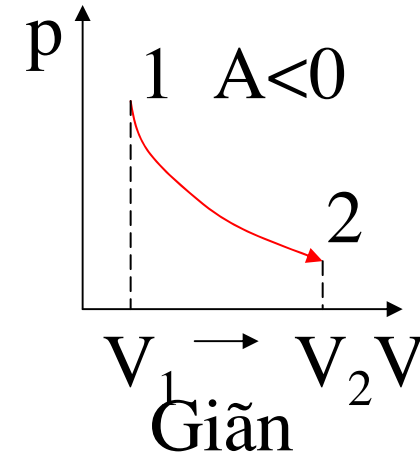
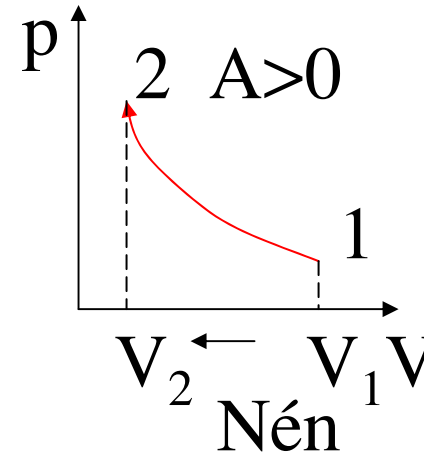
Công hệ nhận được trong quá trình $V_1 \Rightarrow V_2$

$$A = \int_1^2 dA = \int_{V_1}^{V_2} -pdV$$

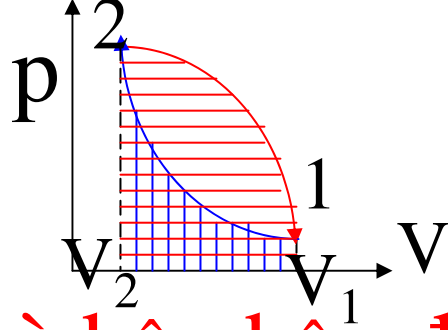
A bằng diện tích dưới đường cong.



Nén chậm



Trong chu trình A bằng tổng đại số $A_{\text{giãn}} + A_{\text{nén}}$



c. Nhiệt mà hệ nhận được trong quá trình CB

Nhiệt dung: *riêng c của một chất là đại lượng vật lý có giá trị bằng lượng nhiệt cần thiết mà một đơn vị khối lượng nhận được để nhiệt độ của nó tăng thêm 1 độ.*

$$c = \frac{\delta Q}{m \cdot dT} \quad \text{Đv} \quad \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

Nhiệt dung phân tử (1 mol): $C = \mu \cdot c \quad \text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$

Nhiệt hệ nhận được:

$$\delta Q = \frac{m}{\mu} C dT$$

$C = C_v$ trong quá trình đẳng tích

$C = C_p$ trong quá trình đẳng áp

2. QUÁ TRÌNH ĐẲNG TÍCH

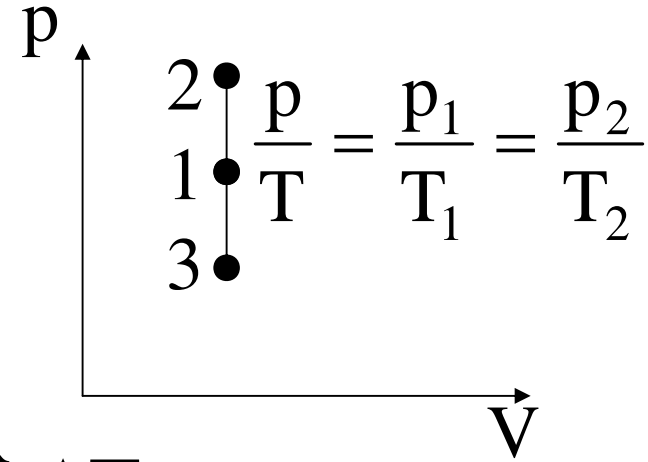
- $V = \text{const}$
- $P/T = \text{const}$ (ĐL Gay-Lussac)
- Công $A = p(V_1 - V_2) = 0$
- $\Rightarrow \Delta U = Q$
- Biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T$$

- Nhiệt nhận được:
- $$Q = \frac{m}{\mu} C_v \Delta T$$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

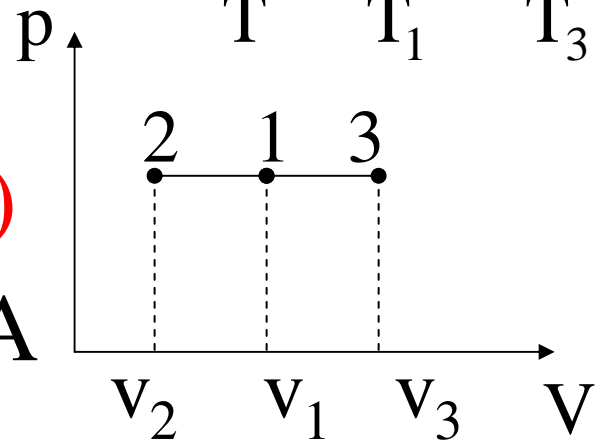
$$C_v = \frac{iR}{2}$$



3. QUÁ TRÌNH ĐẲNG ÁP

$$\frac{V}{T} = \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_3}{T_3}$$

- $p = \text{const}$
- $V/T = \text{const}$ (ĐL Gay-Lussac)
- Công nhận được: $A = -p(V_2 - V_1)$
- Nhiệt hệ nhận được: $Q = \Delta U - A$



$$Q = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T + p(V_2 - V_1)$$

$$p\Delta V = \frac{m}{\mu} R\Delta T$$

$$Q = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T + \frac{m}{\mu} R\Delta T$$

$$Q = \frac{m}{\mu} \left(\frac{iR}{2} + R \right) \Delta T = \frac{m}{\mu} (C_V + R) \Delta T = \frac{m}{\mu} C_P \Delta T$$

Hệ số Poisson

$$\Rightarrow R = C_P - C_V \quad C_P = \frac{i+2}{2} R$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i}$$

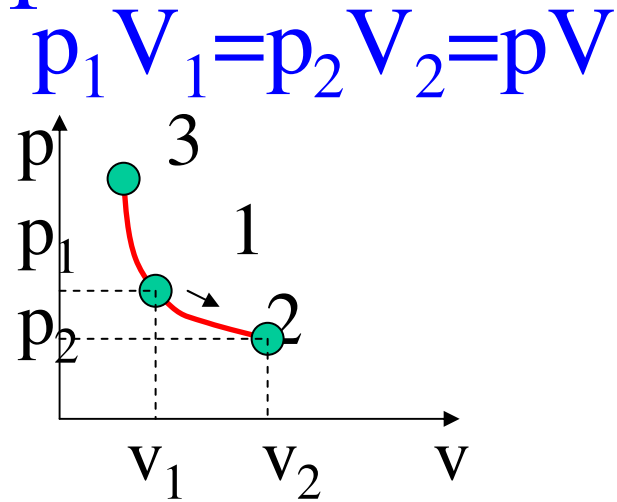
4. QUÁ TRÌNH ĐẲNG NHIỆT

- $T = \text{const} \Rightarrow T_1 = T_2 = T$
- $pV = \text{const}$ (ĐL Boyle-Mariotte)
- $\Delta U = 0 \Rightarrow A = -Q$ hay $Q = -A$
- Công nhận được:

$$p = p_1 V_1 / V \quad A = \int_{V_1}^{V_2} -p dV = \int_{V_1}^{V_2} -p_1 V_1 \frac{dV}{V}$$

$$A = -p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = -\frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_1}{V_2}$$

$$Q = -A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$



5. QUÁ TRÌNH ĐOẠN NHIỆT

- $\delta Q=0$ hay $Q=0$
- p tăng do $V \downarrow$ & $T \uparrow$
- $dU = \delta A$ (Nguyên lý I NĐH)

$$\begin{aligned}
 dU &= \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} dT = \frac{m}{\mu} C_V dT; \\
 \delta A &= -pdV \quad pV = \frac{m}{\mu} RT \quad \Rightarrow C_V dT = -RT \frac{dV}{V} \\
 \frac{R}{C_V} &= \frac{C_P - C_V}{C_V} = \gamma - 1 \quad \frac{dT}{T} + \frac{R}{C_V} \frac{dV}{V} = 0 \\
 \ln T + (\gamma - 1) \ln V &= \text{const} \\
 \ln(TV^{\gamma-1}) &= \text{const} \\
 \mathbf{TV^{\gamma-1}} &= \mathbf{const} \\
 \mathbf{pV^\gamma} &= \mathbf{const} \\
 \mathbf{T \cdot p^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}} &= \mathbf{const} \quad \gamma > 1
 \end{aligned}$$

$$\delta Q=0 \rightarrow pV^\gamma = \text{const}$$

Đoạn nhiệt dốc hơn

• Về mặt toán học:
 $PV^\gamma = \text{const} \ \& \ \gamma > 1$

• Về phương diện vật lý: Trong QT đoạn nhiệt
 $p \downarrow$ do $V \uparrow$ & $T \downarrow$ còn khi $p \uparrow$ do $V \downarrow$ & $T \uparrow$

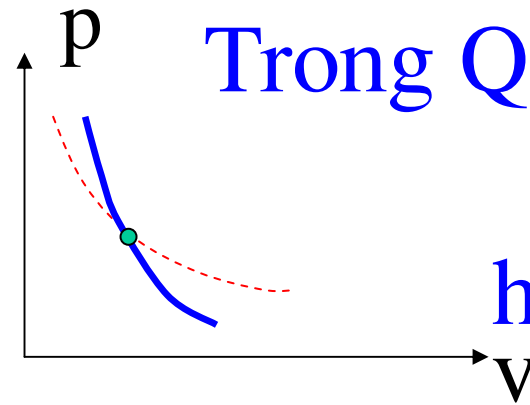
• Độ biến thiên nội năng
trong QT đoạn nhiệt:

$$T = \text{const} \rightarrow pV = \text{const}$$

Trong QT đẳng nhiệt:

$p \downarrow$ do $V \uparrow$

hay $p \uparrow$ do $V \downarrow$



$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T$$

Công mà hệ nhận được trong QT đoạn nhiệt:

Công $A_{\text{nhận}}$ trong
qt đoạn nhiệt

$V_1 \rightarrow V_2$:

$$A = \Delta U - Q = \Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T$$

Công do hệ sinh ra: $A' = -A$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} (-pdV)$$

$$pV^\gamma = p_1 V_1^\gamma \Rightarrow p = p_1 \frac{V_1^\gamma}{V^\gamma}$$

$$A = -p_1 V_1^\gamma \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^\gamma} = \frac{p_1 V_1^\gamma (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma})}{\gamma - 1}$$

Nhân vào

và thay $p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$

$$A = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\gamma - 1}$$

$$p_1 V_1 = \frac{m}{\mu} RT_1$$

$$A = \frac{p_1 V_1 (T_2 - T_1)}{(\gamma - 1)T_1}$$