



# Chương 5: Nguyên lý I nhiệt động học

Chu Tiến Dũng



*Bộ môn Vật lý – Khoa Khoa học Cơ bản – Trường Đại học Giao thông Vận tải*

# §1. Khái niệm cơ bản



## 1. Năng lượng (hay nội năng)

- Vật chất luôn luôn vận động và năng lượng của một hệ là đại lượng xác định mức độ vận động của vật chất ở trong hệ đó.

- Năng lượng là hàm trạng thái

❖ **Tổng quát:** Năng lượng của một hệ gồm động năng ứng với chuyển động có hướng (chuyển động cơ) của cả hệ, thế năng của hệ trong trường lực và phần năng lượng ứng với vận động bên trong của hệ (nội năng của hệ):  $W = W_d + W_t + U$

✓ Tùy theo tính chất của chuyển động và tương tác của các phân tử cấu tạo nên vật, ta có thể chia nội năng  $U$  thành các phần sau đây:

1. Động năng chuyển động hỗn loạn của các phân tử (tịnh tiến và quay)
2. Thế năng gây bởi lực tương tác giữa các phân tử
3. Động năng và thế năng chuyển động dao động của các nguyên tử trong phân tử
4. Năng lượng các vỏ điện tử của các nguyên tử và ion, năng lượng trong hạt nhân nguyên tử

➤ Trong nhiệt động học, năng lượng  $W$  của hệ đúng bằng nội năng  $U$  của hệ

# §1. Khái niệm cơ bản

➤ **Năng lượng:  $W$  [J]**



❖ **Joule** là đơn vị đo năng lượng được sử dụng trong Hệ đo lường quốc tế SI.  
Về mặt đơn vị:  $1 J = 1 N.m = 1 Kg.(m/s)^2$



❖ **Calories** là đơn vị dùng để **đo nhiệt lượng** do một vật chất hấp thụ hay tỏa ra.  
Trong nhiệt hoá học:  $1 cal = 4,184 J$   
Theo bảng Ca-lo quốc tế:  $1 cal = 4,1868 J$



❖ **Kilôwatt giờ** (ký hiệu: kWh) là đơn vị tiêu chuẩn được sử dụng trong sản xuất và **tiêu thụ điện năng**.  
Theo định nghĩa:  $1 kWh = 3,6 \times 10^6 J$



❖ **BTU** là đơn vị nhiệt Anh, được hiểu đơn giản là lượng năng lượng cần thiết để 1 pound (454 gram) nước tăng lên 1 độ F (Fahrenheit) và 143 BTU có thể làm tan chảy 1 (pound) băng.  
- Đơn vị này được sử dụng để mô tả giá trị nhiệt (năng lượng) của nhiên liệu hay công suất của máy sưởi, lò sấy, lò nướng và điều hòa nhiệt độ.  
Ta có quy ước:  $1 BTU \approx 1055 J = 0,293 Wh = 251,9958 cal$



# §1. Khái niệm cơ bản



## 2. Công A và Nhiệt lượng Q

- Công và Nhiệt lượng đều là các đại lượng **đo mức độ trao đổi năng lượng** giữa các hệ => ***A và Q là hàm quá trình***
  - **Công A** là phần năng lượng trao đổi liên quan đến **chuyển động có trật tự (có hướng)** của các phần tử của hệ
  - **Nhiệt lượng Q** là phần năng lượng trao đổi liên quan đến **chuyển động hỗn loạn (vô hướng)** của các phần tử của hệ
- ✓ **Công A và Nhiệt lượng Q có thể chuyển hóa lẫn nhau:** Công có thể chuyển hóa thành Nhiệt lượng, nhưng chỉ một phần Nhiệt lượng được biến thành Công

## §2. Nguyên lý I của Nhiệt động học



### 1. Phát biểu

- *Biểu thức:*

$$\Delta U = A + Q \quad (4-16)$$

- *Phát biểu:* Độ biến thiên nội năng của một hệ trong **một quá trình** biến đổi vĩ mô có giá trị bằng tổng của công  $A$  và nhiệt lượng  $Q$  mà hệ nhận được trong **quá trình** biến đổi đó.

- *Nhận xét:*

a) Nếu  **$A$  và  $Q$**  là công và nhiệt lượng mà **hệ nhận được** thì  **$A' = -A$  và  $Q' = -Q$**  là công và nhiệt lượng mà **hệ sinh ra**

b) Từ (4-16), ta có:  **$Q = \Delta U - A = \Delta U + A'$**

$\Rightarrow$  Nhiệt lượng truyền cho hệ trong một quá trình có giá trị bằng tổng của độ biến thiên nội năng của hệ và công do hệ sinh ra trong quá trình đó

c) Các đại lượng  **$\Delta U$ ,  $A$  và  $Q$**  là các **đại lượng đại số**, có thể dương, có thể âm hay bằng 0

- Nếu  $A > 0$  và  $Q > 0$  thì  $\Delta U > 0$ : hệ thực sự nhận công và nhiệt từ bên ngoài thì nội năng của hệ tăng
- Nếu  $A < 0$  và  $Q < 0$  thì  $\Delta U < 0$ : hệ thực sự sinh công và tỏa nhiệt ra bên ngoài thì nội năng của hệ giảm

d) Trong **quá trình biến đổi vi mô**: (4-16)  $\Rightarrow$   **$dU = \delta A + \delta Q$**

## §2. Nguyên lý I của Nhiệt động học

### 2. Ý nghĩa

- Nguyên lý I là sự tổng quát hóa của định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng: mọi quá trình trao đổi năng lượng đều được thực hiện dưới dạng hoặc trao đổi công A, hoặc trao đổi nhiệt Q, hoặc cả hai
- Nguyên lý I khẳng định: « Không thể chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại 1 » - loại động cơ có hiệu suất lớn hơn 1

### 3. Các hệ quả

#### a) Hệ cô lập

- Hệ không trao đổi công và nhiệt lượng với bên ngoài:  $A = Q = 0 \Rightarrow \Delta U = A + Q = 0 \Rightarrow U_2 = U_1$  (hay  $U = \text{const}$ )

Vậy: Nội năng của một hệ cô lập được bảo toàn

- Hệ cô lập gồm 2 vật trao đổi nhiệt lượng cho nhau:  $Q = Q_1 + Q_2 = 0 \Rightarrow Q_1 = -Q_2 = Q_2'$

Vậy: Trong một hệ cô lập gồm 2 vật chỉ trao đổi nhiệt lượng cho nhau, nhiệt lượng do vật này tỏa ra bằng nhiệt lượng mà vật kia thu vào và ngược lại.

#### b) Hệ là một máy làm việc tuần hoàn (hệ biến đổi theo chu trình)

- Do nội năng U là hàm trạng thái, nên sau một chu trình:  $\Delta U = 0 \Rightarrow A + Q = 0 \Rightarrow Q = -A = A'$  và  $A = -Q = Q'$

Vậy: Trong một chu trình, nhiệt lượng mà hệ nhận được có giá trị đúng bằng công do hệ sinh ra và ngược lại

- **Chu trình** là một chuỗi các quá trình biến đổi kín mà ở đó trạng thái đầu và trạng thái cuối trùng nhau



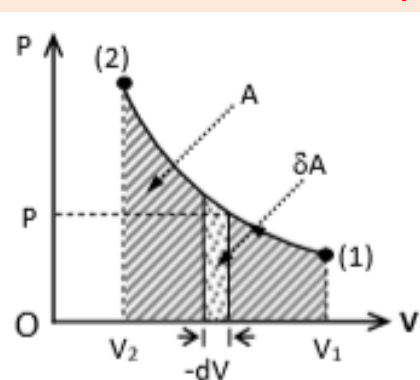
# §3. Khảo sát các quá trình cân bằng

## 1. Đại lượng đo mức độ trao đổi năng lượng trong các quá trình

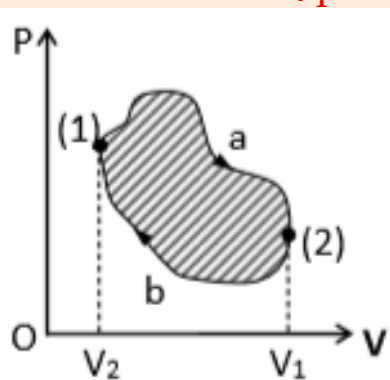
### a) Độ biến thiên nội năng $\Delta U$ [J]

$$\begin{array}{ccc} (1) & \longrightarrow & (2) \\ (P_1, V_1, T_1) & & (P_2, V_2, T_2) \\ U_1 = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot T_1 & & U_2 = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot T_2 \\ \Rightarrow \Delta U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot (T_2 - T_1) \end{array}$$

### b) Công $A$ [J] $A = \int \delta A = - \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV \Rightarrow A' = -A = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$



Quá trình nén khí (1)(2)  
 $A < 0$



Chu trình thuận 1a2b1  
 $A' > 0$

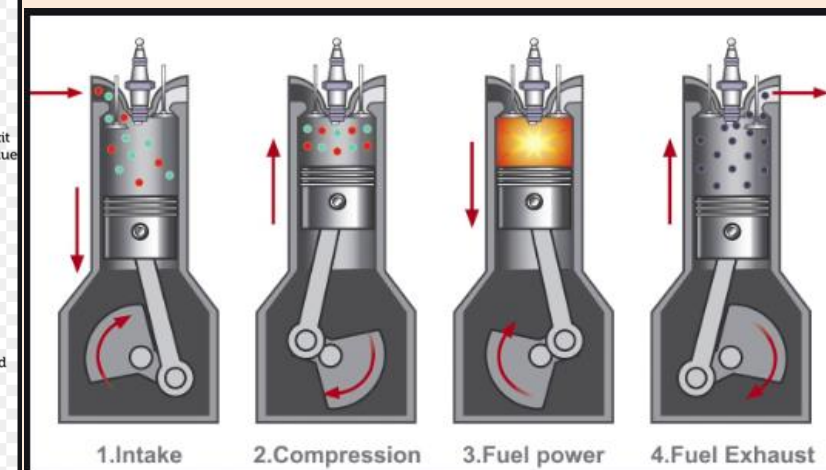
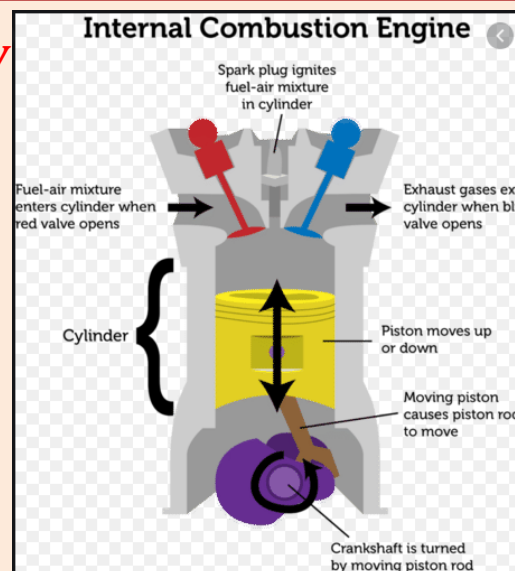
### c) Nhiệt lượng $Q$ [J]

- **Nhiệt dung riêng  $c$**  của một chất là đại lượng vật lý có giá trị bằng nhiệt lượng cần cung cấp cho **một đơn vị khối lượng chất** đó để nhiệt độ của nó tăng thêm một độ:

$$c = \frac{\delta Q}{m \cdot dT} \left[ \frac{J}{kg \cdot K} \right]$$

- **Nhiệt dung phân tử  $C$**  của một chất là đại lượng đo bằng nhiệt lượng cần cung cấp cho một kmol chất đó để nhiệt độ của nó tăng thêm một độ:

$$C = \frac{\delta Q}{\frac{m}{\mu} \cdot dT} \left[ \frac{J}{kmol \cdot K} \right] \Rightarrow Q = \int \delta Q = \int_{T_1}^{T_2} \frac{m}{\mu} \cdot C_x \cdot dT$$



## §3. Khảo sát các quá trình cân bằng

### 2. Biểu thức tính công A trong các quá trình cân bằng

$$\diamond \text{ Tổng quát: } A = \int \delta A = - \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV \Rightarrow A' = -A = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

a) Quá trình đẳng tích: *do*  $V = \text{const}$  nên  $dV = 0 \Rightarrow A = 0$  hay  $A' = -A = 0$

b) Quá trình đẳng áp: *do*  $P = \text{const}$  nên  $A = - \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV = -P \int_{V_1}^{V_2} dV = -P(V_2 - V_1)$  hay  $A' = -A = P(V_2 - V_1)$  (\*)

- Mặt khác, ta biết:  $PV_2 = \frac{m}{\mu}RT_2$  và  $PV_1 = \frac{m}{\mu}RT_1$  nên  $A = -P(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} \cdot R(T_1 - T_2)$  hay  $A' = P(V_2 - V_1) = \frac{m}{\mu} \cdot R(T_2 - T_1)$  (\*\*)

c) Quá trình đẳng nhiệt: *do*  $T = \text{const}$  và từ phương trình trạng thái khí lý tưởng:  $PV = \frac{m}{\mu}RT \Rightarrow P = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{RT}{V}$

Ta có:  $A' = -A = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{\mu}RT \frac{dV}{V} = \frac{m}{\mu}RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{m}{\mu}RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{\mu}RT \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}$  do  $P_1V_1 = P_2V_2 \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$

Và:  $A = \frac{m}{\mu}RT \cdot \ln \frac{V_1}{V_2} = \frac{m}{\mu}RT \cdot \ln \frac{P_2}{P_1}$

d) Quá trình đoạn nhiệt: *do*  $Q = 0$  nên  $\Delta U = A + Q = A$

$$\text{mà } \Delta U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$$

$$A = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot (T_2 - T_1) \text{ hay } A' = -A = -\Delta U = \frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot (T_1 - T_2)$$



# §3. Khảo sát các quá trình cân bằng



Quá trình	PT của quá trình	Đồ thị	A'	Q	ΔU
<b>Đẳng tích</b> ( $V_1 = V_2$ )	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$		0	$\frac{m}{\mu} \cdot C_V \cdot (T_2 - T_1)$ với $C_V = \frac{i}{2} \cdot R$	$\frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$
<b>Đẳng áp</b> ( $P_1 = P_2$ )	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$		$P(V_2 - V_1)$ $\frac{m}{\mu} \cdot R(T_2 - T_1)$	$\frac{m}{\mu} \cdot C_P \cdot (T_2 - T_1)$ với $C_P = \frac{i+2}{2} \cdot R$	$\frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$
<b>Đẳng nhiệt</b> ( $T_1 = T_2$ )	$P_1 V_1 = P_2 V_2$		$\frac{m}{\mu} RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$ $\frac{m}{\mu} RT \cdot \ln \frac{P_1}{P_2}$	$Q = A'$ (do $\Delta U = A + Q$ )	0
<b>Đoạn nhiệt</b> ( $Q = 0$ ) $\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{i+2}{i}$	$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$ $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$ $T_1 P_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_2 P_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$		$A' = -\Delta U$ (do $\Delta U = A + Q$ )	0	$\frac{m}{\mu} \cdot \frac{i}{2} \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$