



CHƯƠNG 6 NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC





6.1

TRẠNG THÁI CÂN BẰNG VÀ QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG

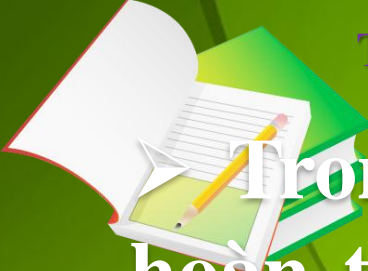




KHÁI NIỆM

❖ **Trạng thái cân bằng** của một hệ là trạng thái mà các thông số trạng thái của hệ có giá trị hoàn toàn xác định, ngược lại khi các thông số trạng thái đang thay đổi tức là hệ ở trạng thái không cân bằng.

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



Trong thực tế, không có quá trình nào là hoàn toàn cân bằng vì trong quá trình biến đổi bao giờ trạng thái cân bằng trước cũng bị phá hủy.

➤ Tuy vậy, nếu quá trình diễn ra vô cùng chậm để hệ có đủ thời gian thiết lập một trạng thái cân bằng mới thì quá trình đó có thể coi là gần cân bằng.

Ví dụ: nén khí trong xy lanh, nếu nén thật chậm ta có một quá trình cân bằng, ngược lại nếu nén nhanh ta có một quá trình không cân bằng.

➤ Nếu hệ là một *khối khí* xác định thì mỗi trạng thái cân bằng của nó được xác định bởi hai trong ba thông số là **p, V, T**.

Mỗi *trạng thái* cân bằng được biểu diễn bởi một *điểm* trong mặt phẳng (OPV)

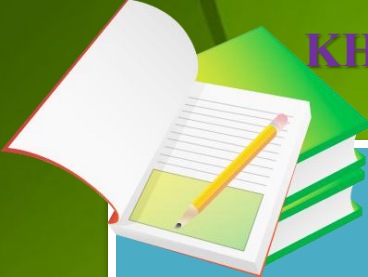
Một *quá trình* cân bằng được biểu diễn bởi một *đường liên tục* trong mặt phẳng (OPV).



6.2

KHÁI NIỆM VỀ NĂNG LƯỢNG, CÔNG VÀ NHIỆT LƯỢNG





6.2.1. NĂNG LƯỢNG

Khái niệm

Năng lượng của một hệ là đại lượng vật lý có thể dùng để chỉ mức độ vận động của hệ (động năng), mức độ tương tác của hệ với môi trường ngoài (thế năng) và khả năng tương tác lẫn nhau của các hạt tạo thành hệ (nội năng).

Thông thường các đối tượng nghiên cứu xem là đứng yên và bỏ qua các trường ngoài.



Động năng và thế năng của hệ bằng không.



Năng lượng = Nội năng

➤ Đơn vị của nội năng là đơn vị năng lượng (Joule) hay của đơn vị nhiệt lượng (calory).

Hệ ở trạng thái xác định

Hệ thay đổi trạng thái

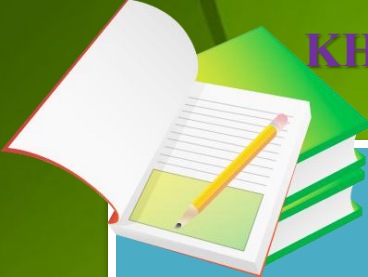
U có giá trị xác định

U thay đổi

Nội năng phụ thuộc
vào trạng thái của hệ

Nội năng không phụ
thuộc quá trình biến đổi

Nội năng là hàm đơn trị của trạng thái.



6.2.2. CÔNG

Khái niệm

(Với khối khí đứng yên)

Lực tác dụng lên chất khí được xem là thực hiện một công nếu làm thể tích chất khí thay đổi.



Khái niệm công gắn liền với quá trình biến đổi thể tích!

**Công mà hệ thực hiện được khi đi theo các
qui trình khác nhau là khác nhau.**



**Công không những phụ thuộc vào trạng
thái đầu và trạng thái cuối mà nó còn phụ
thuộc vào qui trình đường đi.**



Công là hàm của quá trình



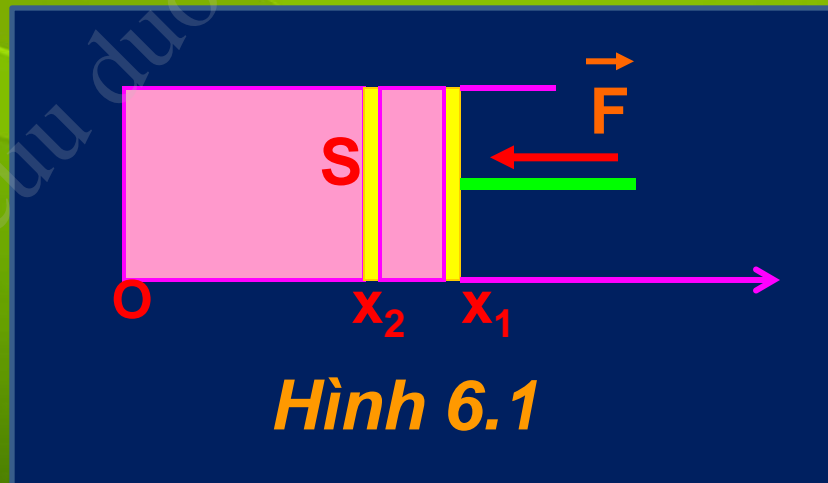
6.2.2.1. Quy ước

- Công A có giá trị dương nếu hệ nhận công.
- Công A có giá trị âm nếu hệ sinh công.
- Với những công nguyên tố, ta biểu diễn là δA
- Công là một hình thức trao đổi năng lượng giữa hai hệ, nên công cũng được tính theo đơn vị của năng lượng (Joule hoặc Calory).

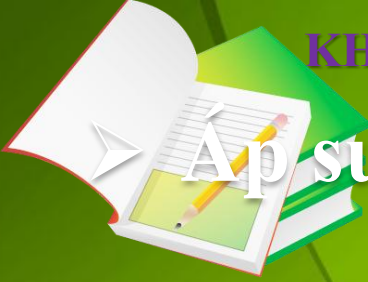
6.2.2.2. Biểu thức tính công trong một quá trình cân bằng

❖ Công nhỏ δA :

Bài toán: Xét một khối khí trong một xy lanh, pít tông có thể di chuyển tự do không ma sát, chọn trục Ox như hình vẽ.



Hình 6.1



Áp suất bên ngoài tác dụng lên pít tông:

$$p = F/S$$

➤ Trong quá trình cân bằng, áp suất này là áp suất của khối khí trong xy lanh và công mà khối khí nhận được δA (dương). Công đó là công mà ta đã mất đi để nén pít tông.

Vì

$$dx = x_2 - x_1 < 0$$

nên công nhỏ:

$$\delta A = - Fdx = - pSdx = - pdV > 0$$

➤ Vậy:

$$\delta A = - pdV$$

(6.1)

❖ Công lớn A:

❖ Bài toán: Cho một quá trình biến đổi hữu hạn, trong đó thể tích của hệ thay đổi từ V_1 đến V_2 .

❖ Phương pháp tính công: Chia nhỏ quá trình thành nhiều quá trình nhỏ liên tiếp để tính công vi phân δA mà hệ nhận được trong từng quá trình nhỏ, sau đó lấy tổng.

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} \delta A$$



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

(6.2)

6.2.2. NHIỆT LƯỢNG

- Giả sử có hai vật, gồm một vật nóng và một vật lạnh tiếp xúc nhau.
- Năng lượng được truyền từ vật nóng sang vật lạnh mà thể tích của hai vật vẫn không thay đổi, điều này có nghĩa là không có sự thực hiện công.
- Vậy hai vật vẫn trao đổi năng lượng với nhau nhưng không phải qua công mà là qua nhiệt lượng. Nói cách khác, nhiệt lượng là một dạng trao đổi khác của năng lượng khi công không được thực hiện.

Nhiệt lượng chỉ tồn tại khi có một quá trình biến đổi xảy ra.



Sự trao đổi nhiệt không những phụ thuộc vào trạng thái đầu và cuối mà còn phụ thuộc vào đường đi.



Nhiệt lượng không phải là hàm của trạng thái mà là hàm của quá trình.



6.2.3.1. Quy ước

- Một nhiệt lượng Q *dương* có ý nghĩa là có một luồng nhiệt *chảy vào* hệ thống, nói cách khác nếu hệ *nhận* nhiệt thì Q được coi là *dương*.
- Một nhiệt lượng Q *âm* có ý nghĩa là có một luồng nhiệt *chảy ra* khỏi hệ thống, nói cách khác nếu hệ *nhả* nhiệt thì Q được coi là *âm*.
- Đơn vị: theo đơn vị năng lượng (Joule hoặc Calory).

6.2.3.2. Biểu thức tính nhiệt lượng trong một quá trình cân bằng

❖ Nhiệt lượng nhỏ δQ :

- Gọi δQ là nhiệt lượng hệ nhận vào để nhiệt độ tăng dT .
- Thực nghiệm: δQ tỉ lệ với dT và tỉ lệ khối lượng M của hệ

$$\delta Q = cMdT \quad (8.3)$$

c là hệ số tỉ lệ, được gọi là nhiệt lượng riêng của hệ (J/kg)



- Nhiệt dung riêng phân tử C là:

$$C = \mu \cdot c$$

- Vậy nhiệt lượng mà hệ nhận được:

$$\delta Q = \frac{M}{\mu} C dT \quad (6.4)$$



❖ Nhiệt lượng lớn Q:

❖ Bài toán: Xét một quá trình nung nóng hệ trong đó nhiệt độ thay đổi từ T_1 đến T_2 .

❖ Phương pháp tính: Tương tự như trong trường hợp công.

Ta tính được:

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} \delta Q = \int_{T_1}^{T_2} \frac{M}{\mu} C dT$$

Vậy:

$$Q = \frac{M}{\mu} C \Delta T \quad (6.5)$$



- ❑ Nhiệt lượng là hàm của quá trình, nghĩa là ứng với T như nhau, nhưng với quá trình khác nhau thì nhiệt lượng nhận được khác nhau.
- ❑ Hai quá trình quan trọng là quá trình *đẳng tích* và quá trình *đẳng áp*.



Quá trình đẳng tích

$C = C_v$: nhiệt dung phân tử đẳng tích.

$$\delta Q = \frac{M}{\mu} C_v dT \quad (6.6)$$

$$Q = \frac{M}{\mu} C_v \Delta T \quad (6.7)$$



Quá trình đẳng áp

$C = C_p$: nhiệt dung phân tử đẳng áp.

$$\delta Q = \frac{M}{\mu} C_p dT \quad (6.8)$$

$$Q = \frac{M}{\mu} C_p \Delta T \quad (6.9)$$



6.3

NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC



6.3.1. PHÁT BIỂU VÀ BIỂU THỨC

6.3.3.1/ Phát biểu

Độ biến thiên nội năng (năng lượng) của một hệ trong một quá trình biến đổi bằng tổng công và nhiệt lượng mà hệ nhận vào trong quá trình đó.



6.3.3.2/ Biểu thức

Nếu quá trình nhỏ, độ biến thiên nội năng:

$$dU = \delta A + \delta Q \quad (6.10)$$

Quá trình hữu hạn:

$$\Delta U = A + Q \quad (6.11)$$



➤ Chu trình khép kín là quá trình mà trạng thái cuối trùng với trạng thái đầu.

➤ Nội năng là hàm trạng thái.



$$U_1 = U_2$$

➤ Vậy độ biến thiên nội năng (năng lượng) của một hệ trong một quá trình biến đổi bằng tổng công và nhiệt lượng mà hệ nhận vào trong quá trình đó.

$$\Delta U = A + Q = 0 \Rightarrow A = -Q$$

NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

Hệ nhận công ($A > 0$)



Toả nhiệt ($Q < 0$)



**Môi trường bên ngoài
nhận nhiệt lượng
 $Q' = -Q > 0$**

Hệ nhận nhiệt ($Q > 0$)



Sinh công ($A < 0$)



**Môi trường bên ngoài
nhận được công
 $A' = -A > 0$**

6.3.3.3/ Động cơ vĩnh cửu loại một

Xét một động cơ nhiệt hoạt động theo một chu trình kín, kết thúc chu trình thì độ biến thiên nội năng của hệ $\Delta U = 0$.

Động cơ vĩnh cửu loại một: là động cơ có khả năng sinh ra công mà không cần nhận năng lượng ở đầu vào.



Nguyên lý thứ nhất

Nếu động cơ sinh công ($A < 0$) thì phải nhận một lượng nhiệt từ bên ngoài ($Q > 0$).

Không thể có động cơ có thể sinh ra công mà không cần nhận năng lượng.

Không thể nào chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại một !!!

6.3.2. ỨNG DỤNG NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC ĐỂ NGHIÊN CỨU CÁC QUÁ TRÌNH BIẾN ĐỔI CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

6.3.2.1/ Quá trình đẳng tích ($V = \text{const}$)

Xét quá trình hơi nóng hoặc làm lạnh khối khí trong một bình kín có hệ số giãn nở không đáng kể.



❖ Công hệ nhận được:

- Từ công thức (8.2): $A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$
- Do $V = \text{const}$ nên $dV = 0$.
- Công mà hệ nhận trong quá trình đẳng tích:

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = 0 \quad (6.12)$$



❖ Độ biến thiên nội năng

- Từ công thức (5.11), ta có độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$



❖ Nhiệt lượng hệ nhận được

- Theo nguyên lý thứ nhất, ta có:

$$\Delta U = A + Q$$

$$Q = \Delta U - A = \Delta U$$

- Theo (6.7) thì:

$$Q = \frac{M}{\mu} C_v \Delta T \quad (6.13)$$

- Từ biểu thức $Q = \Delta U$, suy ra nhiệt dung riêng phân tử đẳng tích:

$$C_v = \frac{iR}{2} \quad (6.14)$$

6.3.2.2/ Quá trình đẳng áp ($P = \text{const}$)

Xét quá trình hơi nóng hoặc làm lạnh khối khí trong một bình kín có hệ số giãn nở không đáng kể.

❖ Độ biến thiên nội năng

Từ công thức (5.11), độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$



❖ Công hệ nhận được:

- Từ công thức (6.2): $\mathbf{A} = - \int_{V_1}^{V_2} \mathbf{p} dV$
- Do $P = \text{const}$ nên:

$$\mathbf{A} = - \int_{V_1}^{V_2} \mathbf{p} dV = -\mathbf{p} (V_2 - V_1)$$

- Công mà hệ nhận trong quá trình đẳng áp:

$$\mathbf{A} = \mathbf{p} (V_1 - V_2) \quad (6.15)$$



❖ Nhiệt lượng hệ nhận được

- Theo nguyên lý thứ nhất, ta có:

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

$$Q = \frac{M}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T + \frac{M}{\mu} RT_2 - \frac{M}{\mu} RT_1$$

$$Q = \frac{M}{\mu} \frac{iR}{2} \Delta T + \frac{M}{\mu} R(T_2 - T_1)$$

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

- Nhiệt lượng mà hệ nhận được trong quá trình đẳng áp:

$$Q = \frac{M}{\mu} \left(\frac{i}{2} + 1 \right) R \Delta T \quad (6.16)$$

- So sánh công thức (6.16) với công thức (6.9):

$$Q = \frac{M}{\mu} C_P \Delta T$$

- Nhiệt dung phân tử đẳng áp:

$$C_P = \frac{iR}{2} + R = C_V + R$$

- Từ (6.16) suy ra được phương trình Maier:

$$C_P - C_V = R \quad (6.17)$$

- Tỉ số:

$$\frac{C_P}{C_V} = \gamma = \frac{i+2}{i} = 1 + \frac{2}{i}$$

- Vậy, hệ số Poisson:

$$\gamma = \frac{i+2}{i} = 1 + \frac{2}{i} \quad (6.18)$$

6.3.2.3/ Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$)

Định nghĩa

Để cho một quá trình có thể là đẳng nhiệt thì nhiệt lượng từ bên ngoài cung cấp cho hệ cũng như là nhiệt lượng mà hệ nhả ra cho môi trường xung quanh phải diễn ra rất chậm sao cho hệ luôn luôn ở trạng thái cân bằng nhiệt trong suốt quá trình đó.

Ví dụ: Quá trình nén hoặc giãn rất chậm một khối khí trong trường hợp môi trường có nhiệt độ không đổi.

❖ Công hệ nhận được:

▪ Từ công thức (6.2):
$$\mathbf{A} = - \int_{V_1}^{V_2} p dV$$



$$pV = p_1 V_1 = p_2 V_2 = \text{const}$$

▪ Nên

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

▪ Công mà hệ nhận trong quá trình đẳng nhiệt:

$$\mathbf{A} = -\frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (6.19)$$



❖ Độ biến thiên nội năng

- Từ công thức (6.11), độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$

- Do $T = \text{const}$ nên $\Delta T = 0$.

- Vậy:

$$\Delta U = 0 \quad (6.20)$$



❖ Nhiệt lượng hệ nhận được

- Theo nguyên lý thứ nhất, ta có:

$$Q = \Delta U - A = -A$$

$$Q = \frac{M}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (6.21)$$



8.3.2.4/ Quá trình đoạn nhiệt

Định nghĩa

Quá trình đoạn nhiệt là một quá trình mà trong đó không có sự truyền nhiệt vào trong cũng như mất nhiệt ra khỏi hệ nhiệt động đang xét. Nói cách khác, quá trình đoạn nhiệt là một quá trình hoàn toàn cách nhiệt ($Q = 0$).

Ví dụ: quá trình nén hoặc giãn khí trong một bình có vỏ cách nhiệt tốt.

- 
- Theo nguyên lý thứ nhất, ta có:

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

- Vì: $\delta Q = 0 \rightarrow dU = \delta A$ (*)

- Mà: $U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} RT$

- Và: $pV = \frac{M}{\mu} RT$

- Vậy:

$$U = \frac{i}{2} pV \rightarrow dU = \frac{i}{2} (pdV + Vdp) \quad (**)$$

■ Theo (6.1) thì: $\delta A = -pdV$

■ Vậy theo (*) và (*) thì:

$$\frac{i}{2}(pdV + Vdp) = -pdV$$

➔
$$\left(\frac{i}{2} + 1\right)pdV + \frac{i}{2}Vdp = 0$$

γ là hệ số Poisson có được từ công thức (6.18).

■ Nên: $\gamma pdV + Vdp = 0$

■ Chia hai vế cho pV :

$$\gamma \frac{dV}{V} + \frac{dp}{p} = 0$$



- Tích phân hai vế:

$$\ln V^\gamma + \ln p = \text{const}$$



$$\ln(pV^\gamma) = \text{const}$$

- Do đó, phương trình Poisson đối với quá trình đoạn nhiệt

$$pV^\gamma = \text{const}$$

(6.22)

- 
- Từ phương trình trạng thái của khí lý tưởng ta có thể rút ra áp suất p .

$$P = \frac{M}{V\mu} RT$$

- Thay p vào phương trình Poisson (6.22)

- Ta có
$$\frac{M}{\mu} RT V^{\gamma-1} = \text{const}$$

- Suy ra phương trình:

$$TV^{\gamma-1} = \text{const}$$

(6.23)



Độ biến thiên nội năng

Từ công thức (5.11):

$$\Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$

❖ Công hệ nhận được:

$$\begin{aligned} A &= \Delta U - Q = \Delta U = \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R T_1 - \frac{M}{\mu} \frac{i}{2} R T_2 \\ &= \frac{i}{2} (p_2 V_2 - p_1 V_1) \end{aligned}$$

- Mà: $1 + \frac{2}{i} = \gamma \rightarrow \frac{i}{2} = \frac{1}{\gamma - 1}$
- Vậy công mà hệ nhận được trong quá trình đoạn nhiệt

$$A = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{\gamma - 1} \quad (6.24)$$

8.3.2.4/ Quá trình đa biến (polytropic)

Định nghĩa

Quá trình đa biến là quá trình mà áp suất và thể tích khí lý tưởng liên hệ với nhau bằng hệ thức:

$$pV^n = \text{const} \quad (6.25)$$

- n có thể lấy giá trị từ $-\infty$ đến $+\infty$.
- Tất cả các quá trình mà ta vừa xét ở trên là những trường hợp riêng của quá trình đa biến, được nêu trong bảng 6.1.



Bảng 6.1

n	Quá trình
0	Đẳng áp
1	Đẳng nhiệt
γ	Đoạn nhiệt
$\pm\infty$	Đẳng tích

- 
- Từ (6.25) ta có thể suy ra quá trình đẳng tích như sau:

$$p_1 V_1^n = p_2 V_2^n \quad (6.26)$$

(các chỉ số 1 và 2 chỉ hai trạng thái tùy ý nào đó)

- Từ (6.26), lấy căn bậc n:

$$p_1^{\frac{1}{n}} V_1 = p_2^{\frac{1}{n}} V_2$$

- Khi $n \rightarrow \pm\infty$, ta được $V_1 = V_2$, nghĩa là quá trình biến đổi từ trạng thái 1 sang trạng thái 2 là quá trình đẳng tích.