

PHẦN 2. NHIỆT HỌC

Trong phần cơ học ta đã nghiên cứu dạng chuyển động cơ. Khi nghiên cứu chuyển động đó ta chưa chú ý đến những quá trình xảy ra bên trong vật, chưa xét đến những quá trình liên quan đến cấu tạo của vật.

Ta cũng đã biết một vật được cấu tạo bởi vô số các phân tử chuyển động hỗn loạn không ngừng. Những hiện tượng ‘nhiệt’ là những hiện tượng có liên quan chặt chẽ đến chuyển động hỗn loạn của các phân tử. Vì vậy chuyển động hỗn loạn của các phân tử còn gọi là chuyển động nhiệt.

Nhiệt học là bộ môn nghiên cứu những hiện tượng dựa trên cơ sở là sự hiểu biết về cấu tạo của vật chất. Đối tượng nghiên cứu là một hệ gồm một số rất lớn các phân tử chuyển động. Nhiệm vụ của nó là nghiên cứu mối liên hệ giữa những tính chất vĩ mô của một hệ vật chất (VD: T, p, ...) với những tính chất và định luật chuyển động của các phân tử cấu tạo nên hệ đó.

Để nghiên cứu chuyển động nhiệt người ta dùng các phương pháp thống kê và phương pháp nhiệt động.

Phương pháp thống kê: Phương pháp này phân tích quá trình xảy ra đối với từng phân tử, nguyên tử riêng biệt cấu tạo nên vật, rồi dựa vào các quy luật thống kê để tìm quy luật chung cho cả tập hợp phân tử và các tính chất của vật.

Phương pháp nhiệt động: Là phương pháp dựa trên cơ sở là những nguyên lý cơ bản rút ra từ thực tiễn để giải thích các hiện tượng nhiệt mà không chú ý đến cấu tạo phân tử của vật. Phương pháp này nghiên cứu các hiện tượng trên quan điểm về sự biến đổi năng lượng trong các hiện tượng đó.

Chương 1. MỞ ĐẦU

1.1. THÔNG SỐ TRẠNG THÁI VÀ PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI. ÁP SUẤT VÀ NHIỆT ĐỘ

1.1.1. Thông số trạng thái và phương trình trạng thái

Khi ta nghiên cứu một vật và thấy tính chất của vật thay đổi ta nói trạng thái của vật đã thay đổi. Trạng thái của vật được xác định bởi một tập hợp các tính chất, mỗi tính chất lại được đặc trưng bởi một đại lượng vật lý. Như vậy trạng thái của một vật được xác định bởi một tập hợp xác định các đại lượng Vật lý. Các đại lượng này gọi là các thông số trạng thái của hệ.

Hệ thức giữa các thông số trạng thái của một vật gọi là phương trình trạng thái của vật đó.

Ví dụ.

Để xác định trạng thái của một khối khí ta có ba thông số trạng thái đó là: áp suất p , thể tích V , nhiệt độ tuyệt đối T . Ba thông số trên gọi là các thông số nhiệt.

Thực nghiệm chứng tỏ rằng trong ba thông số đó chỉ có hai thông số độc lập, nghĩa là tìm được phương trình trạng thái dạng tổng quát của một khối khí:

$$f(p, V, T) = 0 \quad (1.1)$$

1.1.2. Khái niệm áp suất và nhiệt độ.

a, Áp suất

Áp suất là đại lượng vật lý có giá trị bằng lực nén vuông góc lên một đơn vị diện tích.

$$p = \frac{F}{\Delta S} \quad (1.2)$$

Còn đối với chất khí, áp suất chất khí là lực mà các phân tử khí tác dụng lên thành bình.

Đơn vị của áp suất:

- Trong hệ SI là N/m^2 hay Pascal (Pa).
- Ngoài ra còn có các đơn vị khác: at, atm, mmHg, tor, bar.
 - Atmôphe vật lý (at): $1at = 9,81 \cdot 10^4 N/m^2 = 736mmHg$,
 - Atmôphe kỹ thuật (atm): $1atm = 1,033at = 1,013 \cdot 10^5 N/m^2$.

b, Nhiệt độ

Nhiệt độ là một trong những khái niệm cơ bản của Vật lý phân tử và nhiệt học. *Nhiệt độ là đại lượng đặc trưng cho tính chất vĩ mô của vật, thể hiện mức độ nhanh chậm của chuyển động hỗn loạn của các phân tử cấu tạo nên vật.*

Để có thể định nghĩa nhiệt độ một cách định lượng, chúng ta cần có một thang đo và gán cho thang đó các con số khác nhau ứng với mức độ nóng lạnh khác nhau. Dụng cụ để đo nhiệt độ gọi là nhiệt kế.

Hai thang nhiệt độ được sử dụng phổ biến trong Vật lý là:

- **Thang nhiệt độ Celcius (thang nhiệt độ bách phân)**

Trong thang nhiệt độ này, nhiệt độ bắt đầu sự đóng băng của của nước tinh khiết được quy ước là $0^\circ C$ còn nhiệt độ sôi của nước ở $760mmHg$ được gán cho giá trị $100^\circ C$.

Sử dụng nhiệt kế thủy ngân, thì độ chênh lệch độ cao cột thủy ngân được chia làm 100 vạch (nên có tên gọi là thang nhiệt bách phân 100 phần), mỗi vạch ứng với $1^\circ C$ trong thang nhiệt độ Celcius.

Trong thang nhiệt độ Celcius nhiệt độ có thể âm, bằng không, dương.

Nhiệt độ thấp nhất trong thang Celcius bằng $-273,16^\circ C$.

Kí hiệu nhiệt độ trong thang Celcius là $t^\circ C$

- **Thang nhiệt độ Kelvin (thang nhiệt độ tuyệt đối).**

Trong thang nhiệt độ này, nhiệt độ của vật được kí hiệu là: $T K$.

Một độ chia trong thang Kelvin cũng bằng một độ chia trong thang Celcius, nhưng không độ tuyệt đối $0K$ trong thang Kelvin thì tương ứng với $-273,16^{\circ}C$ trong thang nhiệt Celcius. Khi $T=0K$ các phân tử ngừng chuyển động nhiệt hỗn loạn. Vậy trong thang độ Kelvin không có nhiệt độ âm. Do đó thang nhiệt độ này còn được gọi là thang nhiệt độ tuyệt đối.

Mối liên hệ giữa thang nhiệt độ Kelvin và thang nhiệt độ Celcius:

$$TK = 273,16 + t^{\circ}C. \quad (1.3)$$

Trong tính toán đơn giản ta thường lấy:

$$TK = 273 + t^{\circ}C.$$

1.2. CÁC ĐỊNH LUẬT THỰC NGHIỆM VỀ CHẤT KHÍ

Các định luật thực nghiệm ta tìm hiểu trong bài này là định luật Boiler–Mariot, định luật Gay – Lussac. Đây là các định luật được tìm ra nhờ con đường thực nghiệm. Cụ thể người ta xét quá trình biến đổi trạng thái của một khối khí nhất định trong đó một thông số có giá trị được giữ không đổi. Quá trình đó gọi là đẳng quá trình. Chúng ta có ba đẳng quá trình đó là đẳng nhiệt, đẳng tích và đẳng áp được nghiên cứu bởi Boiler – Mariot và Gay – Lussac.

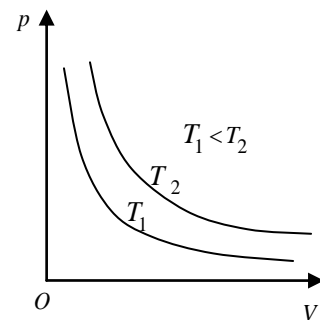
1.2.1. Định luật Boiler – Mariot

Boiler (1669), Mariot (1676) cùng nghiên cứu quá trình đẳng nhiệt của các chất khí. Hai ông giữ nhiệt độ của một khối khí nhất định không đổi ($T = const$) và đã tìm ra hệ thức liên hệ giữa áp suất p và thể tích V :

$$pV = const. \quad (1.4)$$

Như vậy: Trong quá trình đẳng nhiệt của một khối khí, thể tích tỷ lệ nghịch với áp suất, hay nói cách khác tích số của thể tích và áp suất một khối khí là một hằng số.

Đường biểu diễn sự biến thiên áp suất theo thể tích khi T không đổi gọi là đường đẳng nhiệt.



Hình 1-1

Họ đường đẳng nhiệt

Trong hệ trục OpV đường đẳng nhiệt là đường Hypebol. Ứng với các nhiệt độ khác nhau ta có các đường đẳng nhiệt khác nhau. Đường nằm trên ứng với nhiệt độ cao hơn.

1.2.2. Định luật Gay – Lussac

a, Quá trình đẳng tích

Trên thực tế định luật về quá trình đẳng tích đã được tìm ra bởi Sácơ nhưng ông không công bố nên định luật về quá trình đẳng tích được gọi là định luật Gay – Lussac và nhiều sách còn gọi là định luật Sácơ thứ hai:

Trong quá trình đẳng tích của một khối khí nhất định, áp suất tỉ lệ với nhiệt độ tuyệt đối.

$$\frac{P}{T} = const. \quad (1.5)$$

Đường biểu diễn sự biến thiên của áp suất theo nhiệt độ tuyệt đối khi thể tích được giữ không đổi là đường đẳng tích.

Trong hệ trục OpT đường đẳng tích là đường thẳng có đường kéo dài đi qua gốc O.

b, Quá trình đẳng áp

Định luật về quá trình đẳng áp là định luật Gay – Lussac còn gọi là định luật Sácơ thứ nhất:

Trong quá trình đẳng áp của một khối khí nhất định thể tích tỉ lệ với nhiệt độ tuyệt đối.

$$\frac{V}{T} = const. \quad (1.6)$$

Đường biểu diễn sự phụ thuộc của thể tích vào nhiệt độ tuyệt đối khi áp suất không đổi là đường đẳng áp.

Trong hệ trục OVT đường đẳng áp là đường thẳng có đường kéo dài đi qua gốc tọa độ O.

1.2.3. Giới hạn ứng dụng của các định luật Boiler – Mariot và Gay – Lussac

Các định luật trên đều được rút ra từ thực nghiệm. Trong quá trình nghiên cứu các nhà bác học đã sử dụng chất khí ở nhiệt độ và áp suất thông thường.

Vì vậy các định luật trên chỉ áp dụng cho các khối khí ở nhiệt độ và áp suất thông thường của phòng thí nghiệm. Nếu áp suất khí quá cao hoặc nhiệt độ khí quá thấp, thì chất khí không còn tuân theo các định luật đó nữa.

1.3. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

1.3.1. Khí lý tưởng

Mẫu khí lý tưởng là mẫu khí được xây dựng để đảm bảo cho các định luật Boyle – Mariott, Gay – Lussac được nghiệm đúng. Đó là mẫu khí trong đó:

- Các phân tử khí lý tưởng được coi là các chất điểm chuyển động hỗn loạn và không tương tác với nhau bằng các lực hút phân tử trừ khi chúng va chạm với nhau hoặc va chạm với thành bình.
- Va chạm giữa các phân tử và va chạm với thành bình được xem là va chạm hoàn toàn đàn hồi.
- Kích thước riêng của các phân tử không đáng kể so với khoảng cách giữa chúng.

Nhiều chất khí ở áp suất và nhiệt độ phòng có thể coi là khí lý tưởng.

1.3.2. Phương trình trạng thái của khí lý tưởng

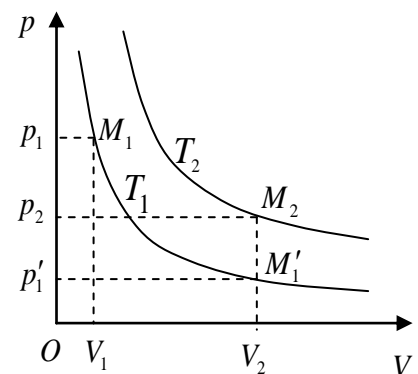
a, Thiết lập

Xét một $kmol$ khí lý tưởng có khối lượng μ .

Lúc đầu, khối khí ở trạng thái: $M_1(p_1, V_1, T_1)$.

Sau đó, khối khí biến đổi sang trạng thái:

$M_2(p_2, V_2, T_2)$.



Hình 1-2

Giả sử khí biến đổi từ trạng thái đầu sang trạng thái cuối theo hai giai đoạn:

- **Giai đoạn 1:**

Quá trình đẳng nhiệt (nhiệt độ T_1 không đổi). Khí biến đổi từ $M_1 \rightarrow M_1'(p_1', V_2, T_1)$. Theo định luật Boiler – Mariot:

$$p_1 \cdot V_1 = p_1' \cdot V_2. \quad (1.7)$$

- **Giai đoạn 2:**

Quá trình đẳng tích (thể tích V_2 không đổi). Khí biến đổi từ $M_1' \rightarrow M_2'(p_2, V_2, T_2)$. Theo định luật Gay – Lussac:

$$\frac{p_1'}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow p_1' = \frac{T_1 \cdot p_2}{T_2}. \quad (1.8)$$

Thay (1.8) vào (1.7) ta có:

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 \frac{T_1}{T_2}, \quad (1.9)$$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}. \quad (1.10)$$

Vậy đối với 1 kmol khí đã cho ta có hệ thức:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{const}. \quad (1.11)$$

Xét 1 kmol khí ở điều kiện tiêu chuẩn ta có:

$$\frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = 8,31 \cdot 10^3 \frac{J}{\text{kmol} \cdot K}. \quad (1.12)$$

Đặt:

$$R = \frac{p_0 \cdot V_0}{T_0} = 8,31 \cdot 10^3 \frac{J}{\text{kmol} \cdot K}, \quad (1.13)$$

R gọi là hằng số khí.

Xét với n kmol khí, $n = \frac{m}{\mu}$ ta có:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \frac{m}{\mu} R. \quad (1.14)$$

b, Phương trình

Chất khí (gần với khí lí tưởng) tuân theo phương trình trạng thái:

$$p.V = \frac{m}{\mu} RT, \quad (1.15)$$

trong đó:

- p là áp suất của khối khí (N/m^2),
- V là thể tích của khối khí (m^3),
- T là nhiệt độ tuyệt đối của khối khí (K),
- m là khối lượng khối khí ta đang xét (kg),
- μ là khối lượng một kmol khí ($kg / kmol$),
- R là hằng số khí lí tưởng: $R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{J}{kmol.K}$.

Chú ý:

Có thể sử dụng đơn vị của m là g , μ là g/mol , khi đó $R = 8,31 J/mol.K$.

TỔNG KẾT CHƯƠNG I

1. Áp suất

Áp suất là đại lượng vật lý có giá trị bằng lực nén vuông góc lên một đơn vị diện tích.

$$p = \frac{F}{\Delta S}.$$

Đơn vị của áp suất:

- Trong hệ SI là N/m^2 hay Paxcan (Pa).
- Ngoài ra còn có các đơn vị khác: at, atm, mmHg, tor, bar:
 - Atmôphe vật lý (at): $1at = 9,81 \cdot 10^4 N/m^2 = 736mmHg$,
 - Atmôphe kỹ thuật (atm): $1atm = 1,033at = 1,013 \cdot 10^5 N/m^2$.

2. Nhiệt độ

Nhiệt độ là đại lượng đặc trưng cho tính chất vĩ mô của vật, thể hiện mức độ nhanh chậm của chuyển động hỗn loạn của các phân tử cấu tạo nên vật.

Mối liên hệ giữa thang nhiệt độ Kelvin và thang nhiệt độ Celcius:

$$TK = 273 + t^{\circ}C.$$

3. Phương trình trạng thái của khí lí tưởng

$$p \cdot V = \frac{m}{\mu} RT = nRT,$$

$$\Rightarrow \frac{p \cdot V}{T} = const.$$

trong đó:

- p là áp suất của khối khí (N/m^2),
- V là thể tích của khối khí (m^3),
- T là nhiệt độ tuyệt đối của khối khí (K),

- m là khối lượng khối khí ta đang xét (kg),
- μ là khối lượng một kmol khí (kg / kmol),
- R là hằng số khí lý tưởng: $R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{J}{\text{kmol} \cdot K}$.

Có thể sử dụng đơn vị của m là g, μ là g/mol, khi đó $R = 8,31 \text{ J/mol} \cdot K$.

4. Các định luật thực nghiệm của chất khí

- Định luật Boiler – Mariot (Quá trình đẳng nhiệt):

$$\begin{cases} m = \text{const} \\ T = \text{const} \\ pV = \text{const} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} m = \text{const} \\ T = \text{const} \\ p_1 V_1 = p_2 V_2 \end{cases}$$

- Định luật Gay – Lussac (Quá trình đẳng tích):

$$\begin{cases} m = \text{const} \\ V = \text{const} \\ \frac{p}{T} = \text{const} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} m = \text{const} \\ V = \text{const} \\ \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \end{cases}$$

- Định luật Gay – Lussac (Quá trình đẳng áp):

$$\begin{cases} m = \text{const} \\ p = \text{const} \\ \frac{V}{T} = \text{const} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} m = \text{const} \\ p = \text{const} \\ \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \end{cases}$$

CÂU HỎI LÝ THUYẾT

- 1.1. Nêu khái niệm áp suất, đơn vị của áp suất.
- 1.2. Nêu khái niệm nhiệt độ. Trình bày hiểu biết về nhiệt giai Celcius, Kelvin. Nêu mối liên hệ giữa thang nhiệt độ Kelvin và thang nhiệt độ Celcius.
- 1.3. Phát biểu định luật Boiler – Mariot. Viết biểu thức.
- 1.4. Phát biểu định luật Gay – Lussac. Viết biểu thức.
- 1.5. Viết phương trình trạng thái của khí lý tưởng. Nêu tên và đơn vị của từng đại lượng trong biểu thức.
- 1.6. Từ các định luật thực nghiệm thiết lập phương trình trạng thái của khí lý tưởng.
- 1.7. Từ phương trình trạng thái của khí lý tưởng viết biểu thức của các quá trình đẳng nhiệt, đẳng tích, đẳng áp.
- 1.8. Vẽ đường đẳng nhiệt trong các hệ trục tọa độ: OpV, OpT, OVT.
- 1.9. Vẽ đường đẳng tích trong các hệ trục tọa độ: OpT, Opt, OpV, OpV.
- 1.10. Vẽ đường đẳng áp trong các hệ trục tọa độ: OVT, OVt, OpV, OpT.

BÀI TẬP CHƯƠNG I

Bài 1.1.

Trong một bình dung tích 5l chứa 2g khí Hyđrô ở nhiệt độ 27°C.

- a. Tính áp suất của khối khí trong bình.
- b. Nén đẳng nhiệt để thể tích của khối khí còn lại 2l. Tính áp suất của khối khí sau khi nén.
- c. Nén đẳng nhiệt để áp suất của khối khí gấp ba lần áp suất ban đầu. Xác định thể tích của khối khí sau khi nén.

Bài 1.2.

Một bình chứa 10g khí Oxy ở nhiệt độ 27°C có áp suất 3at.

- Xác định dung tích của bình.
- Hơ nóng đẳng tích khối khí đến nhiệt độ 54°C . Tính áp suất của khối khí sau khi hơ nóng.
- Làm lạnh đẳng tích để áp suất của khối khí giảm đi 1at . Xác định nhiệt độ của khối khí sau khi làm lạnh.

Bài 1.3.

Một khối khí Nitơ ở nhiệt độ 37°C có áp suất 3at chiếm thể tích 2l .

- Xác định khối lượng của khối khí.
- Hơ nóng đẳng áp khối khí để thể tích của khối khí là 3lít . Xác định nhiệt độ của khối khí sau khi hơ nóng.
- Làm lạnh đẳng áp để nhiệt độ của khối khí giảm đi một nửa. Xác định thể tích của khối khí sau khi làm lạnh.

Bài 1.4.

Một bình chứa một khối khí ở nhiệt độ 27°C và dưới áp suất 40at . Áp suất sẽ là bao nhiêu nếu một nửa khối khí đã thoát ra khỏi bình và nhiệt độ giảm xuống tới 12°C .

Bài 1.5.

Một khí cầu có thể tích 300m^3 . Người ta bơm vào khí cầu khí Hydrô ở nhiệt độ 20°C dưới áp suất 750 mmHg . Hỏi bao lâu thì bơm xong nếu từ bình Hydrô mỗi giây có $2,5\text{ gam}$ khí Hydrô vào khí cầu.

Bài 1.6.

Một cái bơm mỗi lần bơm được 4lít không khí ở áp suất 1at và nhiệt độ 17°C vào một cái bình có thể tích $1,5\text{ m}^3$. Biết rằng không khí trong bình nóng lên tới 45°C và có áp suất 2at . Hỏi phải bơm bao nhiêu lần?

Bài 1.7.

Khí được nén đẳng nhiệt từ thể tích 6lít đến thể tích 4lít . Áp suất khí do đó tăng thêm $0,75\text{at}$. Hỏi áp suất ban đầu của khí là bao nhiêu?

Bài 1.8.

Hai bình A và B đựng cùng một chất khí được nối với nhau bằng một ống nằm ngang trong đó có một giọt thủy ngân. Trong một bình khí ở nhiệt độ 0°C và trong bình kia khí ở nhiệt độ 20°C . Hỏi giọt thủy ngân trong ống có dịch chỗ không và dịch về phía nào khi tăng nhiệt độ của khí ở cả hai bình lên:

- Gấp hai lần so với nhiệt độ tuyệt đối ban đầu
- Tăng thêm 10°C .

Bài 1.9.

Có 10 gam khí Ôxy ở áp suất 3 at và nhiệt độ 10°C . Sau khi nung nóng đẳng áp nó chiếm thể tích 10 lít. Tính:

- Thể tích trước khi nung nóng.
- Nhiệt độ sau khi nung nóng.
- Khối lượng riêng của khí trước và sau khi nung nóng.

Bài 1.10.

Một áp kế thông với một bình chứa khí ở nhiệt độ 18°C . Áp kế chỉ 84 at. Nếu ta làm giảm nhiệt độ của khí xuống đến -23°C thì áp kế chỉ áp suất là bao nhiêu? Coi như dung tích của bình không thay đổi theo nhiệt độ.

Chương 2. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

2.1. NỘI NĂNG CỦA HỆ NHIỆT ĐỘNG. CÔNG VÀ NHIỆT

2.1.1. Hệ nhiệt động

Tập hợp các vật được xác định hoàn toàn bởi một số các thông số vĩ mô, độc lập với nhau được gọi là hệ vĩ mô hay hệ nhiệt động.

Tất cả các vật còn lại, ngoài hệ gọi là ngoại vật đối với hệ hay môi trường xung quanh của hệ.

Hệ không cô lập là hệ có tương tác với môi trường môi trường ngoài.

Nếu hệ và môi trường ngoài không trao đổi nhiệt thì hệ là cô lập về phương diện nhiệt.

Nếu hệ và môi trường trao đổi nhiệt nhưng không sinh công do sự nén hay giãn nở thì hệ là cô lập về phương diện cơ học.

Hệ gọi là cô lập nếu nó hoàn toàn không tương tác và trao đổi năng lượng với môi trường bên ngoài.

2.1.2. Nội năng

Chúng ta đã biết vật chất luôn luôn vận động và năng lượng của hệ là một đại lượng xác định mức độ vận động của vật chất. Năng lượng là một hàm của trạng thái.

Năng lượng của một hệ gồm động năng ứng với chuyển động có hướng của cả hệ, thế năng của hệ trong trường lực và nội năng của hệ là phần năng lượng ứng với vận động bên trong của hệ:

$$W = W_{\vec{h}} + W_{\vec{t}} + U, \quad (2.1)$$

trong đó U là nội năng của hệ.

Nội năng của hệ gồm:

- Động năng chuyển động hỗn loạn của các phân tử.
- Thế năng gây bởi lực tương tác phân tử.
- Động năng, thế năng của các nguyên tử trong phân.

- Năng lượng các vỏ điện tử của các nguyên tử và ion, năng lượng hạt nhân.

Như vậy nội năng của khí là một hàm của thể tích V và nhiệt độ tuyệt đối T :

$$U = f(V, T). \quad (2.2)$$

Đối với khí lí tưởng (bỏ qua kích thước và tương tác giữa các phân tử) nội năng là tổng động năng chuyển động nhiệt của các phân tử cấu tạo nên hệ. Nội năng của khí lí tưởng là hàm của nhiệt độ tuyệt đối:

$$U = f(T). \quad (2.3)$$

Trong nhiệt động lực học, ta giả thiết rằng chuyển động có hướng của hệ không đáng kể và hệ không đặt trong trường lực nào, do đó năng lượng của hệ đúng bằng nội năng của hệ.

Nội năng của hệ là một hàm của trạng thái giống như năng lượng.

Ở mỗi trạng thái hệ có một năng lượng (nội năng) xác định. Khi trạng thái của hệ thay đổi thì năng lượng của hệ có thể thay đổi và thực nghiệm xác nhận rằng độ biến thiên năng lượng của hệ trong một quá trình biến đổi chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối mà không phụ thuộc vào quá trình biến đổi. Như vậy năng lượng chỉ phụ thuộc vào trạng thái của hệ. Do đó năng lượng là hàm trạng thái.

Giống như thế năng, gốc để tính nội năng là tùy ý. Thông thường người ta giả thiết rằng nội năng của hệ bằng không ở nhiệt độ không tuyệt đối.

2.1.3. Công và nhiệt

Ta đã biết năng lượng có thể truyền từ vật này sang vật khác. Có hai cách truyền năng lượng chính là truyền nhiệt và thực hiện công. Công và nhiệt đều là hàm của quá trình.

a, Công

Thực hiện công là hình thức truyền năng lượng giữa những vật vĩ mô tương tác với nhau và bao giờ cũng gắn liền với sự dịch chuyển định hướng của vật vĩ mô (các vật có kích thước lớn hơn kích thước phân tử rất nhiều).

Như vậy, công là dạng truyền năng lượng làm tăng mức độ chuyển động có trật tự của một vật.

Ví dụ.

Khi khí giãn nở trong xilanh đẩy pittông đi lên. Như vậy năng lượng của khí truyền cho pit tông dưới dạng công. Công mà khí thực hiện khi thể tích khí biến đổi từ $V_1 \rightarrow V_2$ là:

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p.dV. \quad (2.4)$$

b, Nhiệt (nhiệt lượng)

Truyền nhiệt là hình thức truyền năng lượng xảy ra trực tiếp giữa những phân tử hay nguyên tử chuyển động hỗn loạn cấu tạo nên các vật đang tương tác. Như vậy, truyền nhiệt làm thay đổi mức độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử, và do đó làm thay đổi nội năng của hệ.

Ví dụ.

Cho vật lạnh tiếp xúc với vật nóng, các phân tử chuyển động nhanh của vật nóng va chạm với các phân tử chuyển động chậm hơn của vật lạnh và truyền cho chúng một phần động năng của mình. Do đó nội năng của vật lạnh tăng lên, nội năng của vật nóng giảm đi. Quá trình tăng và giảm này sẽ dừng lại khi nào nhiệt độ của hai vật bằng nhau.

c, Chú ý

Công và nhiệt đều là hai dạng truyền năng lượng nhưng công và nhiệt có sự khác nhau. Công liên quan đến chuyển động có trật tự, còn nhiệt liên quan đến chuyển động hỗn loạn của các phân tử của hệ. Nhưng giữa công và nhiệt có thể chuyển hóa cho nhau (VD cọ sát, đốt nóng...).

Công và nhiệt đều là các đại lượng dùng để đo mức độ trao đổi năng lượng, nhưng chúng không phải là một dạng năng lượng.

Công và nhiệt chỉ xuất hiện trong quá trình biến đổi trạng thái của hệ. Ở mỗi trạng thái không có công và nhiệt. Nếu hệ biến đổi từ trạng thái này sang trạng thái khác theo những con đường khác nhau thì công và nhiệt trong

quá trình biến đổi đó sẽ có những giá trị khác nhau. Do đó, *công và nhiệt không phải là những hàm trạng thái mà là những hàm của quá trình.*

2.2. NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT NHIỆT ĐỘNG HỌC

Trong phần trên ta thấy nhiệt lượng được truyền cho hệ cũng như thực hiện công đối với hệ đều làm thay đổi nội năng của hệ. Vậy mối liên hệ giữa những đại lượng đó như thế nào. Việc nghiên cứu mối liên hệ giữa công, nhiệt lượng, nội năng dẫn ta đến với nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học.

2.2.1. Nguyên lý thứ nhất nhiệt động học

Thực chất nguyên lý thứ nhất là trường hợp riêng của định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng áp dụng cho các quá trình nhiệt động.

Xét hệ biến đổi từ trạng thái (1) sang trạng thái (2): Hệ nhận công A và nhận nhiệt Q .

Theo định luật bảo toàn năng lượng:

$$\Delta W = A + Q . \quad (2.5)$$

Trong nhiệt động học, ta đã giả thiết năng lượng của hệ cũng chính là nội năng của hệ.

$$\Rightarrow \Delta U = A + Q . \quad (2.6)$$

Từ đây ta có thể phát biểu nguyên lý thứ nhất:

Độ biến thiên nội năng của hệ trong quá trình biến đổi có giá trị bằng tổng công và nhiệt mà hệ nhận được trong quá trình đó.

Quy ước dấu:

- $A > 0$: Hệ nhận công.
- $A < 0$: Hệ sinh công.

Khi đó, ta kí hiệu độ lớn công mà hệ sinh ra là $A' = -A > 0$.

- $Q > 0$: Hệ nhận nhiệt.
- $Q < 0$: Hệ tỏa nhiệt.

Khi đó, ta kí hiệu độ lớn nhiệt lượng mà hệ tỏa ra là $Q' = -Q > 0$.

Từ biểu thức (2.6) suy ra:

$$Q = \Delta U - A = \Delta U + A'. \quad (2.7)$$

Ta có cách phát biểu khác của nguyên lý thứ nhất:

Nhiệt hệ thu được trong quá trình biến đổi có giá trị bằng tổng độ biến thiên nội năng của hệ và công mà hệ sinh ra trong quá trình đó.

Khi hệ thực hiện một quá trình biến đổi vô cùng nhỏ, biểu thức của nguyên lý thứ nhất có dạng:

$$dU = \delta A + \delta Q, \quad (2.8)$$

trong đó dU là độ biến thiên nội năng của hệ, $\delta A, \delta Q$ là công và nhiệt mà hệ nhận được trong quá trình đó (còn gọi là công và nhiệt lượng nguyên tố).

2.2.2. Hệ quả

a, Xét hệ cô lập (hệ không trao đổi công và nhiệt với bên ngoài)

$$\left. \begin{array}{l} A=0 \\ Q=0 \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta U = A + Q = 0 \Rightarrow U = \text{const}. \quad (2.9)$$

Vậy: nội năng của một hệ cô lập được bảo toàn.

b, Xét hệ cô lập gồm hai vật chỉ trao đổi nhiệt.

Gọi Q_1, Q_2 là nhiệt lượng hai vật nhận vào:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 0$$

$$Q_1 = -Q_2 = Q_2'$$

Nếu $Q_1 < 0$ thì $Q_2 > 0$. Suy ra nếu vật thứ nhất tỏa nhiệt thì vật thứ hai thu nhiệt và ngược lại.

Vậy: trong một hệ cô lập gồm hai vật chỉ trao đổi nhiệt thì nhiệt lượng mà vật này nhận được bằng nhiệt lượng mà vật kia tỏa ra.

c, Xét hệ làm việc theo một quá trình khép kín (chu trình)

Sau một dãy biến đổi trạng thái hệ trở về trạng thái ban đầu. Mà ta đã

biết nội năng là một hàm của trạng thái. Vậy sau một chu trình $\Delta U = 0$.

Suy ra :

$$A + Q = 0 \Rightarrow \begin{cases} A = -Q = Q' \\ Q = -A = A' \end{cases}$$

Vậy: hệ làm việc theo một chu trình thì công mà hệ nhận được bằng nhiệt mà hệ truyền đi. Hay nhiệt hệ thu vào bằng công mà hệ sinh ra.

2.2.3. Ý nghĩa của nguyên lý thứ nhất

Nguyên lý thứ nhất có vai trò quan trọng trong việc nhận thức tự nhiên cũng như trong khoa học kỹ thuật. Từ nội dung của nó ta thấy nguyên lý thứ nhất chính là trường hợp riêng của định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng. Mọi hiện tượng vĩ mô đều tuân theo nguyên lý thứ nhất. Ta cũng thấy rằng không thể có một máy làm việc tuần hoàn sinh công mà lại không nhận thêm năng lượng từ bên ngoài hoặc sinh công nhiều hơn năng lượng truyền cho nó. Những máy này được gọi là động cơ vĩnh cửu loại một.

Như vậy, nguyên lý thứ nhất còn có thể phát biểu: *không thể chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại một.*

2.3. TRẠNG THÁI CÂN BẰNG VÀ QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG

2.3.1. Định nghĩa

Trạng thái cân bằng của hệ là trạng thái không biến đổi theo thời gian, các thông số nhiệt động có giá trị xác định.

Ví dụ:

Một vật rắn được nhúng vào một bình nước khá lâu và sau một thời gian đủ dài nhiệt độ của vật không đổi và bằng nhiệt độ của nước bao quanh vật. Như vậy vật rắn ở trạng thái cân bằng.

Nếu chọn hệ trục tọa độ mà mỗi trục biểu diễn một thông số thì mỗi trạng thái cân bằng của hệ biểu diễn bằng một điểm.

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

Quá trình cân bằng theo định nghĩa này là một quá trình lí tưởng không có trong thực tế vì trong quá trình biến đổi, hệ chuyển từ trạng thái cân bằng này sang trạng thái cân bằng tiếp theo thì trạng thái cân bằng trước đó bị phá hủy, nó thay đổi theo thời gian. Tuy nhiên, nếu quá trình được thực hiện vô cùng chậm để có đủ thời gian thiết lập sự cân bằng mới của hệ thì quá trình đó được coi là quá trình cân bằng.

Ví dụ.

Quá trình biến đổi của khí trong xy lanh khi nén khí rất chậm là một quá trình cân bằng.

Quá trình cân bằng được biểu diễn bởi một chuỗi nối tiếp các điểm biểu diễn các trạng thái cân bằng. Do đó quá trình cân bằng được biểu diễn bởi một đường cong liên tục.

Quá trình không cân bằng thì không biểu diễn được bằng đồ thị vì các thông số của hệ ở mỗi trạng thái trung gian không có giá trị xác định. Do đó không thể biểu diễn một trạng thái trung gian bằng một điểm.

2.3.2. Công của áp lực trong quá trình cân bằng

Giả sử khối khí được nén theo một quá trình cân bằng từ thể tích $V_1 \rightarrow V_2$.

Ngoại lực tác dụng lên pittông là F . Khi pittông dịch chuyển đoạn dl thì công mà khối khí nhận được là:

$$\delta A = -Fdl.$$

Dấu (-) vì khối khí nén $dl < 0$ thì nó thực sự nhận công $\delta A > 0$.

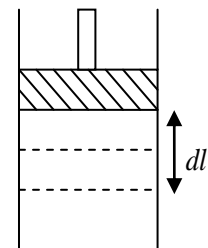
Quá trình là cân bằng:

$$F = p.S,$$

$$\delta A = -pdV.$$

dV độ biến thiên thể tích của khối khí ứng với dịch chuyển dl .

Công mà khối khí nhận được:



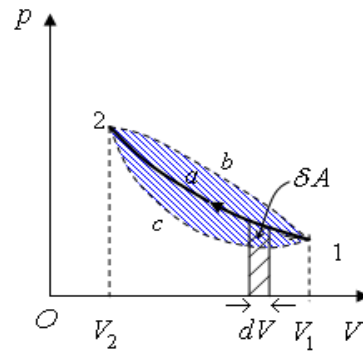
Hình 2-1

Khí nén trong xy lanh chịu nén

$$A = \int_1^2 \delta A, \quad (2.10)$$

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV. \quad (2.11)$$

Trên đồ thị: độ lớn của A đúng bằng diện tích giới hạn bởi đường cong biểu diễn quá trình cân bằng, trục hoành và hai tung độ ứng với V_1, V_2 .



Hình 2-2

Công phụ thuộc quá trình

Từ trạng thái 1, khối khí cũng có thể biến đổi đến trạng thái 2 theo một con đường khác (Ví dụ: a và b). Rõ ràng công mà khối khí sinh ra trong hai quá trình đó là khác nhau. Chứng tỏ công là hàm quá trình.

Nếu khối khí biến đổi theo một chu trình (1b2c1) khí trở về trạng thái ban đầu thì công toàn phần do khối khí sinh ra có giá trị tuyệt đối đúng bằng diện tích của phần gạch chéo trên đồ thị. Công nhận giá trị dương nếu chu trình biến đổi theo chiều ngược chiều kim đồng hồ và ngược lại.

2.3.3. Nhiệt trong quá trình cân bằng – nhiệt dung.

a, Nhiệt dung riêng

Nhiệt dung riêng c của một chất là nhiệt lượng cần thiết truyền cho một đơn vị khối lượng để nhiệt độ của nó tăng thêm một độ.

Gọi m là khối lượng của vật.

δQ là nhiệt lượng truyền cho vật trong một quá trình cân bằng.

dT là độ biến thiên nhiệt độ của vật trong quá trình đó.

$$c = \frac{\delta Q}{m \cdot dT} \text{ (J / Kg.K)} \quad (2.12)$$

$$\Rightarrow \delta Q = m \cdot c \cdot dT \quad (2.13)$$

Ta thấy c không đơn giá vì δQ không phải là một vi phân toàn phần. Nhiệt dung riêng chỉ có giá trị xác định nếu hệ nhận nhiệt trong các điều kiện xác định.

b, Nhiệt dung mol

Nhiệt dung mol C của một chất là nhiệt lượng cần truyền cho một mol chất đó để nhiệt độ của nó tăng thêm một độ.

$$C = \mu c (J / mol.K), \quad (2.14)$$

μ : khối lượng của một mol chất.

$$\Rightarrow \delta Q = \frac{m}{\mu} . C . dT \quad (2.15)$$

2.3.4. Nội năng của khí lý tưởng.

Nội năng của khí lý tưởng:

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT \quad (2.16)$$

Với i là số bậc tự do của phân tử:

- Phân tử có một nguyên tử: $i = 3$
- Phân tử có hai nguyên tử: $i = 5$
- Phân tử có ba nguyên tử: $i = 6$

Độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T \quad (2.17)$$

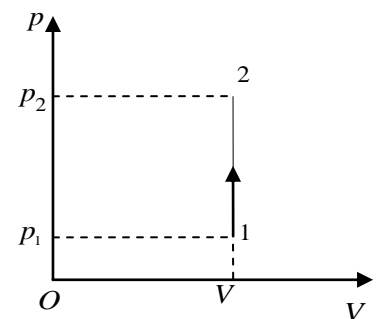
2.4. DÙNG NGUYÊN LÝ THỨ NHẤT ĐỂ KHẢO SÁT CÁC QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

2.4.1. Quá trình đẳng tích

Cho một khối khí lý tưởng biến đổi theo quá trình đẳng tích ($V = const$):

$$\frac{p}{T} = const \text{ hay } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} .$$

Công mà khối khí đã nhận là:



Hình 2-3

Biểu diễn

quá trình đẳng tích

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = 0, \quad (2.18)$$

(Do $V = const \Rightarrow dV = 0$ nên $A = 0$).

Trong quá trình đẳng tích, nhiệt dung mol C_V là hằng số gọi là nhiệt dung mol đẳng tích của chất khí.

Gọi T_1, T_2 là nhiệt độ ban đầu và sau của khối khí.

Nhiệt lượng mà khối khí nhận được:

$$Q = \int_1^2 dQ = \int_{T_1}^{T_2} \frac{m}{m} C_V dT = \frac{m}{m} C_V (T_2 - T_1).$$

$$Q = \frac{m}{m} C_V \Delta T \quad (2.19)$$

Nội năng của hệ:

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT. \quad (2.20)$$

Độ biến thiên nội năng của hệ:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T. \quad (2.21)$$

Theo nguyên lý thứ nhất ta có:

$$\Delta U = A + Q = 0 + Q = Q. \quad (2.22)$$

Từ đây ta có phát biểu:

Độ biến thiên nội năng của hệ trong quá trình đẳng tích có giá trị bằng nhiệt mà hệ trao đổi với bên ngoài trong quá trình đó.

Từ (2.19), (2.20), (2.21) suy ra:

$$C_V = \frac{i}{2} R. \quad (2.23)$$

2.4.2. Quá trình đẳng áp

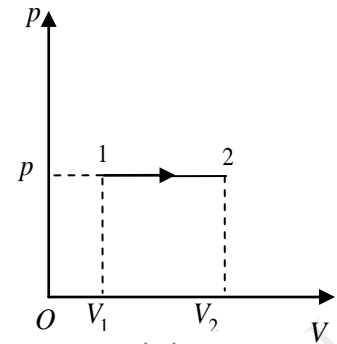
Cho một khối khí lý tưởng biến đổi với áp suất không đổi ($p = const$).

Theo định luật Gay – Lussac:

$$\frac{V_1}{T_2} = \frac{V_2}{T_2} = \text{const.}$$

Công mà khối khí nhận được:

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV = -p.(V_2 - V_1) = p.(V_1 - V_2). \quad (2.24)$$



Hình 2-4

Biểu diễn

quá trình đẳng áp

Trong quá trình đẳng áp, nhiệt dung mol C_p là hằng số gọi là nhiệt dung mol đẳng áp của chất khí.

Nhiệt lượng mà khối khí nhận được:

$$Q = \int_1^2 \delta Q = \frac{m}{\mu} C_p \int_{T_1}^{T_2} dT = \frac{m}{\mu} C_p (T_2 - T_1) = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T. \quad (2.25)$$

Độ biến thiên nội năng của hệ:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T. \quad (2.26)$$

Theo nguyên lý thứ nhất:

$$\Delta U = A + Q. \quad (2.27)$$

Từ (2.24), (2.25), (2.26) và (2.27) ta có:

$$\frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T - p.(V_2 - V_1). \quad (2.28)$$

Từ phương trình trạng thái ta có:

$$p(V_2 - V_1) = \frac{m}{m} R(T_2 - T_1) = \frac{m}{m} R \Delta T.$$

Thay vào (2.28):

$$\frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T = \frac{m}{\mu} C_p \Delta T - \frac{m}{\mu} R \Delta T. \quad (2.29)$$

Suy ra:

$$C_p = \frac{i}{2} R + R = \frac{i+2}{2} R = C_v + R. \quad (2.30)$$

Từ (2.30) ta có:

$$C_p - C_v = R, \quad (2.31)$$

gọi là hệ thức Mayer.

Từ (2.23) và (2.30) ta có:

$$\frac{C_p}{C_v} = \frac{i+2}{i} = \gamma, \quad (2.32)$$

gọi là hệ số Poátông.

2.4.3. Quá trình đẳng nhiệt

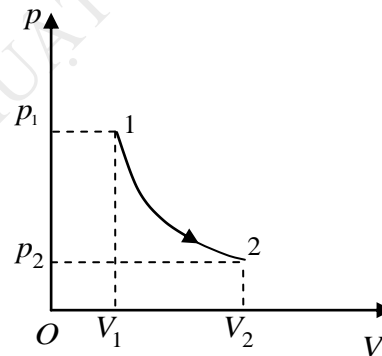
Cho một khối khí lý tưởng biến đổi trạng thái với $T = \text{const}$.

Theo định luật Boyle - Mariot:

$$pV = \text{const} \Rightarrow p_1V_1 = p_2V_2$$

Công khối khí nhận được:

$$A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV. \quad (2.31)$$



Hình 2-5

Biểu diễn
quá trình đẳng nhiệt

Theo phương trình trạng thái:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \Rightarrow p = \frac{mRT}{\mu V}, \quad (2.32)$$

$$\Rightarrow A = - \frac{mRT}{\mu} \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = - \frac{mRT}{\mu} \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (2.33)$$

$$\Leftrightarrow A = \frac{mRT}{\mu} \ln \frac{V_1}{V_2} = \frac{mRT}{\mu} \ln \frac{p_2}{p_1}. \quad (2.34)$$

Vì nội năng của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ nên trong quá trình đẳng nhiệt nội năng của khí không đổi.

$$\Delta U = 0. \quad (2.35)$$

Theo nguyên lý một nhiệt động học:

$$\Delta U = A + Q = 0 \Rightarrow Q = -A. \quad (2.36)$$

Vậy nhiệt lượng khối khí nhận được:

$$Q = \frac{mRT}{\mu} \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{mRT}{\mu} \ln \frac{p_1}{p_2}. \quad (2.37)$$

- Nén đẳng nhiệt: $V_1 < V_2 \rightarrow A > 0 \rightarrow Q < 0$ (khí nhận công, tỏa nhiệt).
- Giãn đẳng nhiệt: $V_1 > V_2 \rightarrow A < 0 \rightarrow Q > 0$ (khí sinh công, nhận nhiệt).

2.4.4. Quá trình đoạn nhiệt

Là quá trình trong đó hệ không trao đổi nhiệt với bên ngoài:

$$Q = 0 \quad (\text{hay } \delta Q = 0). \quad (2.38)$$

Thiết lập quan hệ giữa các thông số trạng thái T và V; p và V.

Theo nguyên lý một ta có:

$$dU = \delta A + \delta Q. \quad (2.39)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} dU = \delta A \\ dU = \frac{m}{\mu} C_V dT = \frac{m}{\mu} C_V dT \\ \delta A = -pdV = -\frac{mRT}{\mu V} dV \end{cases} \quad (2.40)$$

$$\Rightarrow \frac{m}{\mu} C_V dT = -\frac{mRT}{\mu V} dV.$$

$$\Leftrightarrow C_V \frac{dT}{T} = -\frac{R}{V} dV.$$

Đặt:

$$\frac{R}{C_V} = \frac{C_p - C_V}{C_V} = \frac{C_p}{C_V} - 1 = \gamma - 1.$$

$$\Rightarrow \frac{dT}{T} = -(\gamma - 1) \frac{dV}{V}$$

$$\Leftrightarrow \frac{dT}{T} + (\gamma - 1) \frac{dV}{V} = 0 \quad (2.41)$$

$$\Leftrightarrow \ln T + (\gamma - 1) \ln V = \text{const}$$

$$\Leftrightarrow \ln(T.V^{\gamma-1}) = \text{const}$$

$$\Leftrightarrow T.V^{\gamma-1} = \text{const}. \quad (2.42)$$

Thay T vào phương trình trạng thái khí lý tưởng ta thu được:

$$P.V^{\gamma} = \text{const}. \quad (2.43)$$

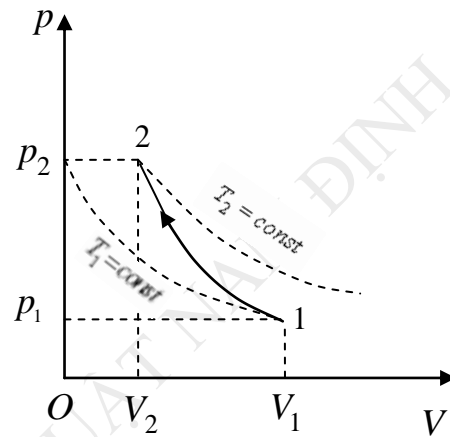
Đường đoạn nhiệt dốc hơn đường đẳng nhiệt vì:

Trong quá trình đoạn nhiệt, độ biến thiên nội năng chính bằng công mà khối khí nhận vào.

Khi nén đoạn nhiệt:

$$\delta A > 0 \rightarrow dU > 0 \rightarrow T \text{ tăng} \rightarrow T_2 > T_1,$$

vì vậy đường đoạn nhiệt đi nhanh hơn đường đẳng nhiệt.



Hình 2-6

Biểu diễn quá trình đoạn nhiệt

TỔNG KẾT CHƯƠNG II

1. Nguyên lý thứ nhất nhiệt động học

a. Cách 1

❖ Phát biểu

Độ biến thiên nội năng của hệ trong quá trình biến đổi có giá trị bằng tổng công và nhiệt mà hệ nhận được trong quá trình đó.

❖ Biểu thức

$$\Delta U = A + Q$$

b. Cách 2

❖ Phát biểu

Nhiệt hệ thu được trong quá trình biến đổi có giá trị bằng tổng độ biến thiên nội năng của hệ và công mà hệ sinh ra trong quá trình đó.

❖ Biểu thức

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

c. Quy ước dấu:

- $A > 0$: Hệ nhận công.
- $A < 0$: Hệ sinh công.

Khi đó, ta kí hiệu độ lớn công mà hệ sinh ra là $A' = -A > 0$.

- $Q > 0$: Hệ nhận nhiệt.
- $Q < 0$: Hệ tỏa nhiệt.

Khi đó, ta kí hiệu độ lớn nhiệt lượng mà hệ tỏa ra là $Q' = -Q > 0$.

2. Công của áp lực trong quá trình cân bằng

a. Định nghĩa:

Công là dạng truyền năng lượng làm tăng mức độ chuyển động có trật tự của một vật.

b. Biểu thức tính công khối khí nhận được trong quá trình cân bằng:

❖ **Dạng vi phân**

$$dA = - p.dV,$$

❖ **Dạng tích phân**

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

3. Nhiệt (nhiệt lượng) trong quá trình cân bằng

a. Định nghĩa

Truyền nhiệt làm thay đổi mức độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử, và do đó làm thay đổi nội năng của hệ.

b. Biểu thức xác định nhiệt trong quá trình cân bằng

❖ **Dạng vi phân**

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

❖ **Dạng tích phân**

$$Q = \int_{T_1}^{T_2} \frac{m}{\mu} . C . dT ,$$

trong đó: C là nhiệt dung mol của chất khí.

Đối với các quá trình đẳng tích và đẳng áp, nhiệt dung mol là hằng số được gọi là nhiệt dung mol đẳng tích (C_V) và nhiệt dung mol đẳng áp (C_p). Trong đó:

$$C_V = \frac{i}{2} R,$$

$$C_p = C_V + R.$$

4. Nội năng

a. Định nghĩa

Nội năng của hệ gồm:

- Động năng chuyển động hỗn loạn của các phân tử.
- Thế năng gây bởi lực tương tác phân tử.

- Động năng, thế năng của các nguyên tử trong phân.
- Năng lượng các vỏ điện tử của các nguyên tử và ion, năng lượng hạt nhân.

Đối với khí lý tưởng, nội năng của hệ là tổng động năng chuyển động nhiệt hỗn loạn của các phân tử.

b. Biểu thức nội năng của khí lý tưởng:

$$U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} RT,$$

với i là số bậc tự do của phân tử:

- Phân tử có một nguyên tử: $i = 3$,
- Phân tử có hai nguyên tử: $i = 5$,
- Phân tử có ba nguyên tử: $i = 6$.

❖ Độ biến thiên nội năng:

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

5. Dùng nguyên lý thứ nhất để khảo sát các quá trình cân bằng của chất khí lý tưởng

Quá trình	Phương trình của quá trình	A	Q	$\Delta U = A + Q$
Đẳng tích ($V = const$)	$\frac{p}{T} = const$	0	$\frac{m}{\mu} C_v \Delta T$	$\frac{m}{\mu} C_v \Delta T$
Đẳng áp ($p = const$)	$\frac{V}{T} = const$	$p \cdot (V_1 - V_2)$	$\frac{m}{\mu} C_p \Delta T$	$\frac{m}{\mu} C_v \Delta T$
Đẳng nhiệt ($T = const$)	$pV = const$	$\frac{mRT}{\mu} \ln \frac{V_1}{V_2}$	$\frac{mRT}{\mu} \ln \frac{V_2}{V_1}$	0
Đoạn nhiệt ($Q = 0$)	$T \cdot V^\gamma = const$	$\frac{m}{\mu} C_v \Delta T$	0	$\frac{m}{\mu} C_v \Delta T$

CÂU HỎI LÝ THUYẾT

- 2.1. Nội năng của hệ gồm những gì? Viết biểu thức xác định nội năng của khí lý tưởng, giải thích các đại lượng.
- 2.2. Định nghĩa nhiệt dung riêng, nhiệt dung mol của một chất. Viết biểu thức
- 2.3. Viết biểu thức của nhiệt dung mol đẳng tích, nhiệt dung mol đẳng áp và mối liên hệ giữa chúng.
- 2.4. Viết biểu thức dạng vi phân và dạng tích phân để tìm công và nhiệt trong các quá trình cân bằng.
- 2.5. Phát biểu và viết biểu thức nguyên lý thứ nhất của nhiệt động học.
- 2.6. Nêu các hệ quả của nguyên lý thứ nhất nhiệt động học.
- 2.7. Áp dụng nguyên lý thứ nhất nhiệt động học để khảo sát các quá trình cân bằng của khí lý tưởng: quá trình đẳng tích, đẳng áp, đẳng nhiệt.
- 2.8. Định nghĩa quá trình đoạn nhiệt. Viết biểu thức thể hiện mối quan hệ giữa các thông số trạng thái trong quá trình đoạn nhiệt.

BÀI TẬP CHƯƠNG II

Bài 2.1.

Cho 32g khí Ôxy ở nhiệt độ 27°C có áp suất $2 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$. Sau khi nung nóng ở áp suất không đổi, khối khí có thể tích 2l. Tìm:

- a. Công do khối khí sinh ra khi giãn nở.
- b. Nhiệt lượng khối khí đã nhận được.
- c. Độ biến thiên nội năng của khối khí.

Bài 2.2.

16g khí Ôxy ở nhiệt độ 27°C và áp suất $2 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ được hơ nóng đẳng áp đến khi thể tích tăng lên gấp đôi so với thể tích ban đầu. Tìm:

- a. Công do khối khí sinh ra khi giãn nở.

- b. Nhiệt lượng khối khí đã nhận được.
- c. Độ biến thiên nội năng của khối khí.

Bài 2.3.

4g khí Hyđrô ở nhiệt độ 37°C được hơ nóng đẳng áp đến nhiệt độ 57°C . Tìm:

- a. Công do khối khí sinh ra khi giãn nở.
- b. Nhiệt lượng khối khí đã nhận được.
- c. Độ biến thiên nội năng của khối khí.

Bài 2.4.

1 Kmol khí Nitơ được hơ nóng đẳng áp cho tới khi nhiệt độ tăng thêm 20°C tìm:

- a. Độ biến thiên nội năng của khối khí.
- b. Công do khối khí sinh ra khi tăng nhiệt độ.
- c. Nhiệt lượng khối khí nhận được.

Bài 2.5.

2 lít khí Hyđrô ở nhiệt độ 27°C và áp suất 2at được hơ nóng đẳng tích đến nhiệt độ 127°C . Tìm:

- a. Độ biến thiên nội năng của khối khí.
- b. Nhiệt lượng mà khối khí nhận được.

Bài 2.6.

1 Kmol khí Ôxy được hơ nóng đẳng tích cho tới khi nhiệt độ tăng thêm 20°C tìm:

- a. Độ biến thiên nội năng của khối khí.
- b. Nhiệt lượng khối khí nhận được.

Bài 2.7.

5g khí O_2 ở điều kiện tiêu chuẩn được giãn đẳng nhiệt đến thể tích 4l .

Tìm:

- Công do khối khí sinh ra khi giãn nở.
- Nhiệt lượng khối khí nhận được.
- Độ biến thiên nội năng của khối khí.

Bài 2.8.

Một khối khí ở áp suất $p_1 = 2 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ chiếm thể tích $V_1 = 2 \text{ l}$ được giãn đẳng nhiệt tới áp suất $p_2 = 10^6 \text{ N/m}^2$. Tìm:

- Công do khối khí sinh ra khi giãn nở.
- Nhiệt lượng khối khí đã nhận được.
- Độ biến thiên nội năng của khối khí.

Bài 2.9.

1 mol khí Ôxy ở nhiệt độ 27°C có áp suất 5 at được nén đoạn nhiệt đến thể tích 4 l . Tìm:

- Công do khối khí sinh ra khi giãn nở.
- Độ biến thiên nội năng của khối khí.

Bài 2.10.

1 mol khí Nitơ ở nhiệt độ 27°C có áp suất 5 at được giãn đoạn nhiệt đến khi thể tích tăng gấp đôi so với thể tích ban đầu. Tìm:

- Công do khối khí sinh ra khi giãn nở.
- Độ biến thiên nội năng của khối khí.

Chương 3. NGUYÊN LÝ THỨ HAI NHIỆT ĐỘNG HỌC

3.1. NGUYÊN LÝ THỨ HAI NHIỆT ĐỘNG HỌC

3.1.1. Những hạn chế của nguyên lý thứ nhất

Các hiện tượng xảy ra trong tự nhiên đều tuân theo nguyên lý thứ nhất. Tuy nhiên có một số hiện tượng về mặt lý thuyết có vẻ thỏa mãn nguyên lý một nhưng lại không xảy ra trong thực tế.

Ví dụ 1.

Trong một hệ, xảy ra quá trình truyền nhiệt từ vật nóng sang vật lạnh hoặc từ vật lạnh sang vật nóng. Nguyên lý thứ nhất không bị vi phạm nhưng thực tế quá trình truyền nhiệt từ vật lạnh sang vật nóng không thể tự động xảy ra.

Ví dụ 2.

Một hòn đá khối lượng m được nâng lên độ cao h thì thế năng là mgh , thế năng này giảm dần khi rơi xuống, còn động năng thì tăng dần. Khi hòn đá chạm đất, động năng của nó có giá trị mgh . Sau va chạm động năng này biến đi nhưng làm đất nóng lên. Hiện tượng xảy ra tuân theo đúng nguyên lý một. Nếu ta hình dung ngược lại: hòn đá đang nằm yên trên mặt đất, tự thu lấy một nhiệt lượng đúng bằng nhiệt lượng nói trên để đưa nó lên độ cao h . Trong quá trình này không vi phạm nguyên lý một. Tuy nhiên trong thực tế không xảy ra.

Như vậy nguyên lý một không cho ta chiều diễn biến của một quá trình thực tế xảy ra.

Theo nguyên lý thứ nhất, công và nhiệt tương đương nhau và có thể chuyển hóa lẫn nhau nhưng thực tế công có thể biến hoàn toàn thành nhiệt nhưng ngược lại nhiệt chỉ có thể biến một phần thành công.

Như vậy nếu chỉ dựa vào nguyên lý thứ nhất thì sẽ có nhiều vấn đề thực tế không giải quyết được. Nguyên lý thứ hai sẽ bổ sung và khắc phục những hạn chế trên.

3.1.2. Nguyên lý thứ hai nhiệt động học

a, Phát biểu của Clausius:

Nhiệt không thể tự động truyền từ vật lạnh sang vật nóng hơn.

Như vậy, quá trình truyền nhiệt từ vật lạnh hơn sang vật nóng hơn không tự phát xảy ra, nó bắt buộc phải có tác dụng của bên ngoài, nghĩa là môi trường xung quanh bị biến đổi.

b, Phát biểu của Thomson:

Không thể chế tạo được một máy hoạt động tuần hoàn biến đổi liên tục nhiệt thành công nhờ làm lạnh một vật và môi trường xung quanh không chịu sự biến đổi nào.

Ta gọi những máy này là những động cơ vĩnh cửu loại hai.

Nếu chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại hai thì chỉ việc cho nó tiếp xúc và lấy nhiệt ở một nguồn nhiệt vô cùng lớn như nước của đại dương hoặc khí quyển của Trái Đất, nó sẽ sinh ra công mãi mãi.

Ngoài hai cách phát biểu nguyên lý hai ở trên, còn có rất nhiều cách phát biểu khác và các nhà khoa học đã chứng minh được rằng, các cách phát biểu khác nhau của nguyên lý hai đều tương đương.

3.1.3. Quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch

a, Quá trình thuận nghịch

Một quá trình biến đổi của hệ nhiệt động từ trạng thái (1) sang trạng thái (2) được gọi là thuận nghịch nếu nó có thể tiến hành theo chiều ngược lại và trong quá trình ngược lại đó hệ đi qua mọi trạng thái trung gian như ở lượt đi.

Quá trình thuận nghịch cũng là quá trình cân bằng.

Đối với quá trình thuận nghịch, nếu ở lượt đi hệ nhận công A và nhiệt Q thì ở lượt về hệ trả đúng công A và nhiệt Q cho môi trường.

Vậy: Đối với quá trình thuận nghịch, sau khi thực hiện quá trình thuận và quá trình nghịch để đưa hệ về trạng thái ban đầu thì *môi trường không bị*

thay đổi (không trao đổi năng lượng với môi trường).

b, Quá trình không thuận nghịch

Quá trình không thuận nghịch là quá trình mà khi tiến hành theo chiều ngược lại, hệ không đi qua đầy đủ trạng thái trung gian như trong quá trình thuận.

3.1.4. Máy nhiệt

a, Định nghĩa

Máy nhiệt là một hệ hoạt động tuần hoàn biến công thành nhiệt hoặc biến nhiệt thành công.

b, Phân loại

Có hai loại máy nhiệt:

- Động cơ nhiệt: Biến nhiệt thành công.
- Máy làm lạnh: Tiêu thụ công để vận chuyển nhiệt từ nguồn lạnh sang nguồn nóng.

c, Các khái niệm khác

- Trong các máy nhiệt, các chất vận chuyển làm nhiệm vụ biến nhiệt thành công hoặc ngược lại được gọi là các tác nhân.
- Khi máy hoạt động các tác nhân trao đổi nhiệt với hai vật có nhiệt độ khác nhau gọi là các nguồn nhiệt. (Coi nguồn nhiệt có nhiệt độ không đổi).
- Nguồn có nhiệt độ cao hơn gọi là nguồn nóng (1). Nguồn có nhiệt độ thấp hơn gọi là nguồn lạnh (2).

d, Hiệu suất máy nhiệt

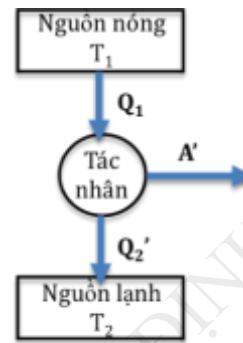
• Hiệu suất của động cơ nhiệt:

$$\circ H = \frac{A'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2'}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1} \quad (3.1)$$

○ Trong một chu trình:

- Q_1 : Nhiệt lượng tác nhân nhận từ nguồn nóng.
- Q_2' : Nhiệt lượng tác nhân tỏa ra nguồn lạnh, $Q_2' = -Q_2 > 0$.
- A' : Công tác nhân sinh ra, $A' = -A > 0$.
- Theo nguyên lý thứ nhất ta có:

$$Q_1 = Q_2' + A'$$



Hình 3.1

Sơ đồ động cơ nhiệt

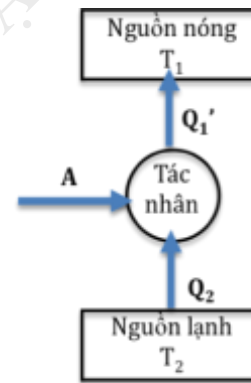
• **Hệ số làm lạnh:**

○ $h = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1' - Q_2}$ (3.2)

○ Trong một chu trình:

- Q_1' : Nhiệt lượng tác nhân tỏa ra nguồn nóng, $Q_1' = -Q_1 > 0$.
- Q_2 : Nhiệt lượng tác nhân nhận từ nguồn lạnh.
- A : Công tác nhân nhận được.
- Theo nguyên lý thứ nhất ta có:

$$Q_1' = Q_2 + A$$



Hình 3.2

Sơ đồ máy làm lạnh

3.1.5. Chu trình Carnot và định lý Carnot

a, Chu trình Carnot

• **Định nghĩa:**

Là chu trình gồm hai quá trình đẳng nhiệt thuận nghịch và hai quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch.

• **Các bước để thực hiện một chu trình Carnot thuận nghịch với tác nhân là chất khí:**

1, Giãn đẳng nhiệt T_1 ($1 \rightarrow 2$)

Tác nhân nhận nhiệt

$$Q_1 = \frac{m}{m} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (3.3)$$

2, *Giãn đoạn nhiệt* (2→3)

Tác nhân không nhận hay tỏa nhiệt.

Nhiệt độ giảm từ T_1 xuống T_2

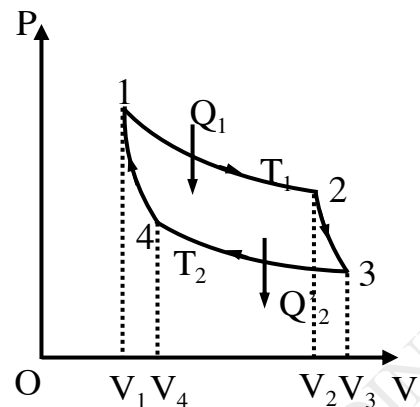
3, *Nén đẳng nhiệt* T_2 (3→4)

Tác nhân tỏa nhiệt:

$$Q_2' = -Q_2 = \frac{m}{m} RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4} \quad (3.4)$$

4, *Nén đoạn nhiệt* (4→1)

Tác nhân không nhận hay tỏa nhiệt. Nhiệt độ tăng từ T_2 lên T_1 .



Hình 3.3. Chu trình Carnot thuận
(Động cơ nhiệt)

- **Hiệu suất của chu trình Carnot thuận với tác nhân là khí lý tưởng**

$$H = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1} = 1 - \frac{T_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}} \quad (3.5)$$

Áp dụng phương trình đoạn nhiệt cho các quá trình 2→3 và 4→1:

$$\begin{aligned} T_1 \cdot V_2^{g-1} &= T_2 \cdot V_3^{g-1} \\ T_1 \cdot V_1^{g-1} &= T_2 \cdot V_4^{g-1} \end{aligned} \quad \Rightarrow \quad \frac{V_3}{V_4} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Rightarrow H = 1 - \frac{T_2}{T_1} \quad (3.6)$$

b, Định lý Carnot

- **Phát biểu**

Hiệu suất của tất cả các động cơ thuận nghịch chạy theo chu trình Carnot với cùng nguồn nóng và nguồn lạnh đều bằng nhau và không phụ thuộc vào tác nhân cũng như cách chế tạo máy. Hiệu suất của động cơ không thuận nghịch thì nhỏ hơn hiệu suất của động cơ thuận nghịch.

$$H \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Dấu: “ = ” ứng với chu trình Carnot thuận nghịch

“ < ” ứng với chu trình Carnot không thuận nghịch.

• **Chứng minh**

- Hiệu suất của động cơ thuận nghịch không phụ thuộc vào tác nhân và cách chế tạo máy.

Giả thiết có 2 động cơ thuận nghịch I và II chạy theo chu trình Carnot với cùng nguồn nóng và nguồn lạnh.

Nếu chúng cùng lấy nhiệt ở nguồn nóng là Q_1 và nhả nhiệt cho nguồn lạnh là Q_{2I}' và Q_{2II}' :

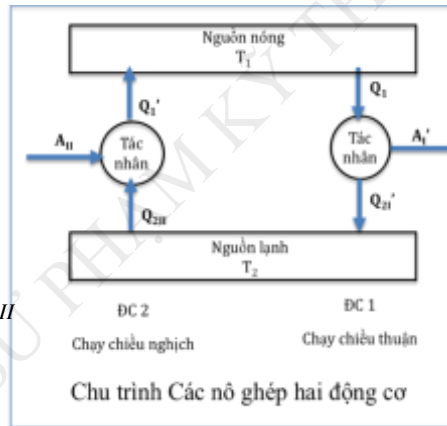
$$H_I = 1 - \frac{Q_{2I}'}{Q_1}, \quad H_{II} = 1 - \frac{Q_{2II}'}{Q_1}$$

Giả sử: $Q_{2I}' < Q_{2II}' \Rightarrow H_I > H_{II}$

Vì các động cơ là thuận nghịch nên có thể thực hiện một động cơ ghép gồm: động cơ I chạy theo chiều thuận và động cơ II chạy theo chiều nghịch.

Động cơ 2

- Nhận Q_{2II} từ nguồn lạnh
- Tỏa Q_1' ra nguồn nóng
- Nhận công $A_{II} = Q_1' - Q_{2II}$



Động cơ 1

- Nhả Q_{2I}' ra nguồn lạnh
- Nhận Q_1 từ nguồn nóng
- Sinh công $A_I' = Q_1 - Q_{2I}'$

Do động cơ 2 là động cơ thuận nghịch nên:



Kết quả sau một chu trình thuận I, nghịch II:

- Nội năng của cả 2 động cơ không đổi (vì chúng thực hiện những chu trình)

- Không có sự trao đổi nhiệt với nguồn nóng (nhận vào Q_1 và lại nhả ra Q_1)
- Nhận nhiệt của nguồn lạnh là:

$$Q_{2II} - Q_{2I}' = Q_{2II}' - Q_{2I}'$$

- Sinh công tổng cộng là:

$$A' = A'_I - A_{II}$$

$$A' = Q_1 - Q_{2I}' - (Q_1' - Q_{2II})$$

$$A' = Q_{2II}' - Q_{2I}'$$

Vậy động cơ này không vi phạm nguyên lý I, sau một chu trình toàn bộ nhiệt nhận được từ nguồn lạnh đều sinh công nhưng nó vi phạm nguyên lý II vì nó sinh công mà chỉ trao đổi nhiệt với một nguồn nhiệt.

\Rightarrow Không tồn tại động cơ này.

Nghĩa là: không xảy ra $H_I > H_{II}$

Tương tự: không xảy ra $H_I < H_{II}$

Vậy:

$$H_I = H_{II} \quad \forall \text{ tác nhân}$$

\Rightarrow Hiệu suất của động cơ nhiệt có tác nhân (lí tưởng hoặc không) biến đổi theo chu trình Carnot thuận nghịch là:

$$\square H = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

- Hiệu suất của động cơ không thuận nghịch nhỏ hơn hiệu suất của động cơ thuận nghịch.

Ta có:

$$H = \frac{A'}{Q_1}$$

Xét 2 động cơ thuận nghịch và không thuận nghịch cùng lấy ở nguồn nóng nhiệt lượng Q_1 và nhả cho nguồn lạnh nhiệt lượng Q_2' .

ĐC thuận nghịch:

$$A'_{TN} = Q_1 - Q_2'$$

(vì không trao đổi năng lượng với môi trường).

ĐC không thuận nghịch:

Ngoài việc nhả nhiệt ra nguồn lạnh và sinh công tác nhân còn mất năng lượng do truyền nhiệt ra môi trường và chống lại ma sát.

$$\Rightarrow Q_1 = Q'_2 + A'_{\text{KTN}} + E_{\text{haophi}}$$

$$\Rightarrow A'_{\text{KTN}} < Q_1 - Q'_2$$

$$\Rightarrow A'_{\text{KTN}} < A'_{\text{TN}}$$

$$\Rightarrow \mathbf{H_{\text{KTN}} < H_{\text{TN}}}$$

c. Nhận xét

- Nhiệt không thể biến hoàn toàn thành công.

$$H = \frac{A'}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

Vì: $T_2 > 0, T_1 < \infty$

$$\supset H < 1$$

$$\supset A' < Q_1$$

\Rightarrow Công sinh ra nhỏ hơn nhiệt nhận vào.

- Hiệu suất của động cơ nhiệt càng lớn nếu nhiệt độ nguồn nóng T_1 càng cao và nhiệt độ nguồn lạnh T_2 càng thấp.
- Muốn tăng hiệu suất động cơ thì phải chế tạo sao cho động cơ này càng gần với động cơ thuận nghịch.

3.2. BIỂU THỨC ĐỊNH LƯỢNG CỦA NGUYÊN LÝ THỨ HAI

Vì hiệu suất của động cơ nhiệt:

$$H = \frac{A'}{Q_1} = 1 - \frac{Q'_2}{Q_1} \stackrel{(3.7)}{=} 1 - \frac{T_2}{T_1},$$

$$\supset \frac{Q'_2}{Q_1} \geq \frac{T_2}{T_1}. \quad (3.8)$$

(3.7) Là biểu thức định lượng của nguyên lý hai.

Nếu gọi Q_2 là nhiệt mà hệ nhận được của nguồn lạnh:

$$Q_2 = - Q'_2$$

$$\begin{aligned} \triangleright \frac{-Q_2}{Q_1} \geq \frac{T_2}{T_1} \quad \triangleright -\frac{Q_2}{T_2} \geq \frac{Q_1}{T_1} \\ \triangleright \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0. \end{aligned} \quad (3.9)$$

Suy rộng hệ thức (3.9) trong trường hợp hệ biến đổi theo một chu trình gồm vô số quá trình đẳng nhiệt (T_1, T_2, \dots) và quá trình đoạn nhiệt kế tiếp nhau:

$$\triangleright \oint \frac{Q_i}{T_i} \leq 0. \quad (3.10)$$

Nếu trong chu trình của hệ biến thiên liên tục, cho hệ tiếp xúc lần lượt với vô số nguồn nhiệt có nhiệt độ T vô cùng gần nhau và biến thiên liên tục, mỗi quá trình tiếp xúc với nguồn nhiệt là một quá trình vi phân trong đó hệ nhận nhiệt δQ :

$$\triangleright \oint \frac{dQ}{T} \leq 0. \quad (3.11)$$

(3.11) Là biểu thức định lượng tổng quát của nguyên lý II.

Dấu: “ = ” ứng với chu trình thuận nghịch,

“ < ” ứng với chu trình không thuận nghịch.

3.3. HÀM ENTROPY VÀ NGUYÊN LÝ TĂNG ENTROPY

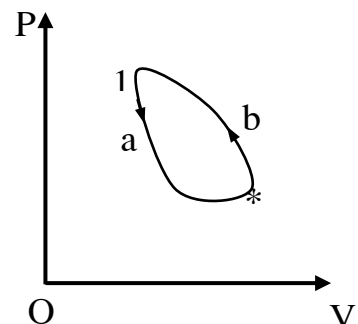
3.3.1. Hàm Entropy

a. Nhận xét

* Xét một hệ biến đổi theo một chu trình thuận nghịch (1a2b1), ta có:

$$\begin{aligned} \oint_{1a2b1} \frac{dQ}{T} = 0 \\ \triangleright \int_{1a2} \frac{dQ}{T} + \int_{2b1} \frac{dQ}{T} = 0 \end{aligned}$$

Do quá trình là thuận nghịch nên nếu ở quá trình (2b1) nhận nhiệt $dQ(2b1)$ thì ở quá trình nghịch (1b2) nhận nhiệt $dQ(1b2) = -dQ(2b1)$.



Hình 3.4.
Chu trình thuận nghịch

$$\begin{aligned} \triangleright \quad \int_{1a2} \frac{dQ}{T} + \int_{1b2} \frac{-dQ}{T} &= 0 \\ \triangleright \quad \int_{1a2} \frac{dQ}{T} &= \int_{1b2} \frac{dQ}{T} \quad (3.12) \end{aligned}$$

Vậy, tích phân $\int \frac{dQ}{T}$ theo các quá trình thuận nghịch từ trạng thái (1) đến trạng thái (2) không phụ thuộc vào quá trình mà chỉ phụ thuộc vào trạng thái đầu và trạng thái cuối.

* Xét một hệ biến đổi theo một chu trình gồm (1a'2) không thuận nghịch và (2b1) thuận nghịch. Như vậy chu trình này không thuận nghịch.

Ta có:

$$\begin{aligned} \oint_{1a'2b1} \frac{dQ}{T} &< 0 \\ \triangleright \quad \int_{1a'2} \frac{dQ}{T} + \int_{2b1} \frac{dQ}{T} &< 0 \end{aligned}$$

Do (2b1) là thuận nghịch nên:

$$\begin{aligned} \triangleright \quad \int_{2b1} \frac{dQ}{T} &= - \int_{1b2} \frac{dQ}{T} \\ \triangleright \quad \int_{1a'2} \frac{dQ}{T} - \int_{1b2} \frac{dQ}{T} &< 0 \\ \triangleright \quad \int_{1a'2} \frac{dQ}{T} &< \int_{1b2} \frac{dQ}{T} \quad (3.13) \end{aligned}$$

Vậy, tích phân $\int \frac{dQ}{T}$ từ trạng thái (1) đến trạng thái (2) của một quá trình không thuận nghịch bao giờ cũng nhỏ hơn quá trình thuận nghịch.

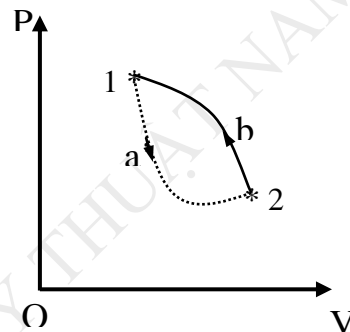
b. Định nghĩa

Xét một hệ biến đổi theo một **quá trình thuận nghịch** từ trạng thái (1) đến trạng thái (2). Hàm entropy S của hệ được định nghĩa:

- Dạng vi phân:

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (3.14)$$

- Dạng tích phân:



Hình 3.5. Các quá trình thuận nghịch và không thuận nghịch có cùng trạng thái đầu và trạng thái cuối

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{(1)}^{(2)} \frac{dQ}{T}. \quad (3.15)$$

Độ biến thiên entropy của hệ từ trạng thái (1) đến trạng thái (2) có giá trị bằng tích phân $\int \frac{dQ}{T}$ từ (1) đến (2) trong một quá trình thuận nghịch nào đó.

c. Tính chất

- S là một hàm trạng thái nghĩa là ở mỗi trạng thái của hệ nó có một giá trị xác định, không phụ thuộc vào quá trình biến đổi của hệ từ trạng thái này sang trạng thái khác.
- S là một đại lượng có tính cộng được nghĩa là entropy của một hệ cân bằng tổng entropy của từng phần riêng biệt.
- Entropy được xác định sai khác một hằng số cộng:

$$S = S_0 + \int \frac{dQ}{T}. \quad (3.16)$$

Thường quy ước $S_0 = 0$ tại $T = 0\text{K}$ để S đơn trị.

- Với quá trình không thuận nghịch:

$$dS > \frac{dQ}{T}. \quad (3.17)$$

- Đơn vị trong hệ SI là jun trên kelvin (J/K)

d. Dạng khác của biểu thức định lượng của nguyên lý thứ hai:

$$dS \geq \frac{dQ}{T}, \quad (3.18)$$

Đấu: “=” ứng với quá trình thuận nghịch,

“>” ứng với quá trình không thuận nghịch.

3.3.2. Nguyên lý tăng entropy

a. Xét hệ cô lập:

Hệ cô lập không trao đổi nhiệt với môi trường nên:

$$dQ = 0 \Rightarrow \Delta S \geq 0. \quad (3.19)$$

Vậy, trong một hệ cô lập, quá trình diễn biến nếu là thuận nghịch thì entropy của hệ không đổi ($\Delta S = 0$) và nếu là không thuận nghịch thì entropy của hệ luôn tăng lên ($\Delta S > 0$).

b. Xét hệ không cô lập

Đối với hệ không cô lập thì tùy theo dấu và giá trị của nhiệt nhận vào dQ trong một quá trình thuận nghịch, ΔS có thể dương hoặc âm hoặc bằng không nghĩa là entropy của hệ có thể tăng hoặc giảm hoặc không đổi.

c. Nguyên lý tăng entropy

Trong thực tế, các quá trình nhiệt động đều là không thuận nghịch nên ta có nguyên lý tăng entropy sau đây:

“Với quá trình nhiệt động thực tế xảy ra trong một hệ cô lập, entropy của hệ luôn luôn tăng”.

Điều này có nghĩa là: một hệ cô lập không thể hai lần đi qua cùng một trạng thái. Khi hệ ở trạng thái cân bằng thì quá trình không thuận nghịch kết thúc, thay vào đó là quá trình thuận nghịch, entropy không tăng nữa và đạt giá trị cực đại.

Vậy: một hệ ở trạng thái cân bằng lúc entropy của nó cực đại.

d. Entropy trong các quá trình cân bằng của khí lý tưởng

Giả sử ta tính ΔS của một khối khí lý tưởng trong một quá trình biến đổi cân bằng từ trạng thái 1 (p_1, V_1, T_1) sang trạng thái 2 (p_2, V_2, T_2).

- **Quá trình đoạn nhiệt** ($dQ = 0$).

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T},$$

$$\boxed{S = \text{const.}} \quad (3.20)$$

Do đó quá trình đoạn nhiệt còn được gọi là quá trình đẳng entropy.

- **Quá trình đẳng nhiệt** ($T = \text{const}$).

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q}{T}. \quad (3.21)$$

- **Quá trình cân bằng bất kì.**

Theo nguyên lý I:

$$dQ = dU - dA = dU + pdV.$$

Mặt khác:

$$dU = \frac{m}{m} C_v dT, \quad p = \frac{m}{m} \frac{RT}{V},$$

$$\triangleright dQ = \frac{m}{\mu} C_v dT + \frac{m}{\mu} RT \frac{dV}{V}, \quad (3.22)$$

$$\Rightarrow \Delta S = \int_{(1)}^{(2)} \frac{\delta Q}{T} = \frac{m}{\mu} C_v \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} + \frac{m}{\mu} R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V},$$

$$\Rightarrow \Delta S = \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (3.23)$$

Áp dụng phương trình trạng thái:

$$\triangleright \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad \triangleright \ln \frac{p_2}{p_1} + \ln \frac{V_2}{V_1} = \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (3.24)$$

$$\Rightarrow \Delta S = \frac{m}{\mu} C_v \ln \frac{p_2}{p_1} + \frac{m}{\mu} C_p \ln \frac{V_2}{V_1}. \quad (3.25)$$

TRƯỜNG ĐẠI HỌC PHẠM VĂN THỤẬT NAM ĐỊNH

TỔNG KẾT CHƯƠNG III

1. Nguyên lý thứ hai nhiệt động học

a, Phát biểu của Clausius

Nhiệt không thể tự động truyền từ vật lạnh sang vật nóng hơn.

b, Phát biểu của Thomson

Không thể chế tạo được một máy hoạt động tuần hoàn biến đổi liên tục nhiệt thành công nhờ làm lạnh một vật và môi trường xung quanh không chịu sự biến đổi nào.

c, Hiệu suất máy nhiệt

- Hiệu suất của động cơ nhiệt:

$$H = \frac{A'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2'}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2'}{Q_1}.$$

- Hệ số làm lạnh:

$$h = \frac{Q_2}{A} = \frac{Q_2}{Q_1' - Q_2}.$$

2. Chu trình Carnot và định lý Carnot

a, Chu trình Carnot

- Định nghĩa:

Là chu trình gồm hai quá trình đẳng nhiệt thuận nghịch và hai quá trình đoạn nhiệt thuận nghịch.

- Hiệu suất của chu trình Carnot thuận với tác nhân là khí lý tưởng:

$$H = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

b, Định lý Carnot

Hiệu suất của tất cả các động cơ thuận nghịch chạy theo chu trình Carnot với cùng nguồn nóng và nguồn lạnh đều bằng nhau và không phụ

thuộc vào tác nhân cũng như cách chế tạo máy. Hiệu suất của động cơ không thuận nghịch thì nhỏ hơn hiệu suất của động cơ thuận nghịch:

$$H \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Dấu: “ = ” ứng với chu trình Carnot thuận nghịch,

“ < ” ứng với chu trình Carnot không thuận nghịch.

3. Biểu thức định lượng của nguyên lý hai

$$\frac{Q_2}{Q_1} \geq \frac{T_2}{T_1}$$

Tổng quát:

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0,$$

Dấu: “ = ” ứng với chu trình thuận nghịch,

“ < ” ứng với chu trình không thuận nghịch.

4. Hàm Entropy và nguyên lý tăng Entropy

a. Định nghĩa

Độ biến thiên entropy của hệ từ trạng thái (1) đến trạng thái (2) có giá trị bằng $\int_1^2 \frac{dQ}{T}$ từ (1) đến (2) trong một quá trình thuận nghịch nào đó.

- Dạng vi phân:

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

- Dạng tích phân:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{(1)}^{(2)} \frac{dQ}{T}$$

b. Dạng khác của biểu thức định lượng của nguyên lý thứ hai:

$$dS \geq \frac{dQ}{T}$$

Dấu: “ = ” ứng với quá trình thuận nghịch,

“ > ” ứng với quá trình không thuận nghịch.

c. Nguyên lý tăng entropy

- Vậy, trong một hệ cô lập, quá trình diễn biến nếu là thuận nghịch thì entropy của hệ không đổi ($\Delta S = 0$) và nếu là không thuận nghịch thì entropy của hệ luôn tăng lên ($\Delta S > 0$).

- Đối với hệ không cô lập thì tùy theo dấu và giá trị của nhiệt nhận vào dQ trong một quá trình thuận nghịch, ΔS có thể dương hoặc âm hoặc bằng không nghĩa là entropy của hệ có thể tăng hoặc giảm hoặc không đổi.

- “Với quá trình nhiệt động thực tế xảy ra trong một hệ cô lập, entropy của hệ luôn luôn tăng”.

- Vậy: một hệ ở trạng thái cân bằng lúc entropy của nó cực đại.

d. Entropy trong các quá trình cân bằng của khí lý tưởng

- Quá trình đoạn nhiệt:

$$S = \text{const.}$$

- Quá trình đẳng nhiệt:

$$dS = \int \frac{dQ}{T} = \frac{Q}{T}.$$

- Quá trình cân bằng bất kì:

$$dS = \frac{m}{m} C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{m}{m} R \ln \frac{V_2}{V_1}$$
$$dS = \frac{m}{m} C_v \ln \frac{p_2}{p_1} + \frac{m}{m} C_p \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

CÂU HỎI LÝ THUYẾT

- 3.1. Phát biểu nguyên lý thứ hai nhiệt động học.
- 3.2. Viết công thức xác định hiệu suất của động cơ nhiệt và hệ số làm lạnh.
- 3.3. Định nghĩa chu trình Carnot, hãy phân tích (định tính) nhiệt mà tác nhân nhận được trong mỗi quá trình cân bằng.
- 3.4. Viết biểu thức xác định hiệu suất của chu trình Carnot thuận và hệ số làm lạnh của chu trình Carnot nghịch (thông qua nhiệt độ).
- 3.5. Phát biểu định lý Carnot. Viết biểu thức.
- 3.6. Máy nhiệt hoạt động theo chu trình Carnot nghịch sinh công hay nhận công, nó là động cơ nhiệt hay máy làm lạnh?
- 3.7. Dựa vào nguyên lý II NDH hãy giải thích tại sao máy làm lạnh phải nhận công.
- 3.8. So sánh hiệu suất của động cơ thuận nghịch và động cơ không thuận nghịch. Muốn tăng hiệu suất của động cơ chúng ta phải làm gì?
- 3.9. Nhiệt có thể chuyển hoàn toàn thành công không? Dựa vào biểu thức xác định hiệu suất của động cơ nhiệt thuận nghịch hãy giải thích.
- 3.10. Định nghĩa độ biến thiên entropy của hệ trong một quá trình thuận nghịch. Phát biểu nguyên lý tăng entropy.

BÀI TẬP CHƯƠNG III

Bài 3.1.

Khi thực hiện chu trình Carnot, khí sinh công 8600J và nhả nhiệt 2,5kcal cho nguồn lạnh.

- a. Tính hiệu suất của chu trình.
- b. Nếu động cơ trên hoạt động theo chiều nghịch, hãy tính nhiệt lượng mà động cơ thu được từ nguồn lạnh sau một chu trình.

Bài 3.2.

Một động cơ nhiệt lí tưởng chạy theo chu trình Carnot thuận nghịch, nhả cho nguồn lạnh nhiệt lượng 10kJ và bằng 80% nhiệt lượng mà nó thu được từ nguồn nóng. Nhiệt độ của nguồn lạnh là 27°C . Tìm:

- Nhiệt độ của nguồn nóng.
- Công mà động cơ sinh ra được sau một chu trình.

Bài 3.3.

Một máy làm lạnh hoạt động theo chu trình Carnot có nhiệt độ buồng lạnh là -10°C , còn nhiệt độ của nước làm lạnh là 12°C .

- Tính hệ số làm lạnh.
- Các ngoại lực trong máy làm lạnh phải thực hiện một công bằng bao nhiêu để lấy đi nhiệt lượng $2 \cdot 10^5\text{J}$ từ buồng làm lạnh.

Bài 3.4.

Một động cơ nhiệt lí tưởng chạy theo chu trình Carnot, sau mỗi chu trình sinh một công $A' = 7,35 \cdot 10^4\text{J}$. Nhiệt độ của nguồn nóng là 100°C , nhiệt độ của nguồn lạnh là 0°C . Tìm:

- Hiệu suất của động cơ.
- Nhiệt lượng nhả cho nguồn lạnh sau một chu trình.

Bài 3.5.

Khi thực hiện chu trình Carnot, khí nhận nhiệt 10kcal từ nguồn nóng và thực hiện công 15kJ . Nhiệt độ của nguồn nóng là 100°C . Tính:

- Tính hiệu suất của chu trình.
- Nhiệt độ của nguồn lạnh.

Bài 3.6.

Một máy làm lạnh làm việc theo chu trình Carnot nghịch, tiêu thụ công suất 36800W . Nhiệt độ của nguồn lạnh là -10°C , của nguồn nóng là 17°C .

- Tính hệ số làm lạnh của máy.
- Tìm nhiệt lượng lấy được của nguồn lạnh trong 1 giây.

Bài 3.7.

Tìm hiệu suất của động cơ nhiệt làm việc theo chu trình Carnot thuận, biết $\gamma=1,33$ và hệ số nén đoạn nhiệt: $\frac{V_2}{V_1} = 4$. Vẽ đồ thị P(V) biểu diễn chu trình.

Bài 3.8.

Tính độ biến thiên entropy khi giãn đẳng nhiệt 10,5g khí nitơ từ thể tích 2 lít đến thể tích 5lít.

Bài 3.9.

10 g oxy được hơ nóng từ $t_1 = 50^{\circ}\text{C}$ tới $t_2 = 150^{\circ}\text{C}$. Tính độ biến thiên entropy nếu quá trình hơ nóng là:

- a. Đẳng áp.
- b. Đẳng tích.

TRƯỜNG ĐẠI HỌC PHẠM VĂN THỤT NAM ĐỊNH

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lương Duyên Bình. Vật lý Đại cương tập 1. NXB Giáo dục – 1995.
- [2] Lương Duyên Bình. Bài tập Vật lý Đại cương tập 1. NXB Giáo dục – 1995.
- [3] Phó Đức Hoan, Nguyễn Minh Vũ, Nguyễn Bảo Ngọc, Nguyễn Văn Đoàn. Cơ học. NXB Giáo dục – 1981.
- [4] Lê Văn. Vật lý phân tử và nhiệt học. NXB Giáo dục – 1977.
- [5] Phạm Viết Trinh, Nguyễn Văn Khánh, Lê Văn. Bài tập Vật lý Đại cương. NXB Giáo dục -1982.
- [6] Đàm Trung Đôn, Nguyễn Viết Kính. Vật lý phân tử và nhiệt học. NXB ĐH và TH chuyên nghiệp -1985.
- [7] Jean Marie Brébec, Philippe Denève, Thierry Desmarais, Marc Ménétrier, Bruno Noel, Claude Orsini. Cơ học 1. NXB Giáo dục - 2002.