

PHẦN 2

NHIỆT HỌC

CHƯƠNG 6

MỞ ĐẦU

§6.1 NHỮNG KHÁI NIỆM CƠ BẢN

6.1.1 Thông số trạng thái và phương trình trạng thái

Khi nghiên cứu vật, nếu tính chất của nó thay đổi ta nói rằng *trạng thái* của vật thay đổi. Như thế tính chất của vật biểu thị trạng thái của vật và vì vậy có thể dùng một tập hợp tính chất để xác định trạng thái của vật. Mỗi tính chất có thể đặc trưng bằng một đại lượng vật lý. Tập hợp xác định của các đại lượng vật lý để xác định trạng thái của vật gọi là các thông số trạng thái.

Có nhiều thông số trạng thái. Tuy nhiên, chỉ có một số độc lập, số còn lại phụ thuộc. Mỗi quan hệ giữa các thông số trạng thái được biểu diễn bằng các hệ thức gọi là phương trình trạng thái.

Để biểu diễn trạng thái một khối khí, có thể dùng 4 thông số trạng thái: thể tích (V), áp suất (p), nhiệt độ (T) và lượng khí (n). Thực nghiệm cho thấy trong 4 thông số đó chỉ có 2 là độc lập, 2 thông số còn lại là phụ thuộc. Như thế mối liên hệ giữa 4 thông số có thể biểu diễn bởi một phương trình trạng thái:

$$f(p, V, T, n) = 0 \quad (6.1)$$

Việc khảo sát dạng cụ thể của phương trình (6.1) là một trong các vấn đề cơ bản của nhiệt học.

6.1.2 Áp suất

Áp suất là một đại lượng vật lý có giá trị bằng lực nén vuông góc lên một đơn vị diện tích. Ký hiệu F là lực nén vuông góc lên diện tích ΔS , thì áp suất p được cho bởi:

$$p = \frac{F}{\Delta S} \quad (6.2)$$

Đơn vị của áp suất được nêu ở §4.4.1 (chương cơ học chất lưu).

6.1.3 Nhiệt độ

Nhiệt độ là một đại lượng vật lý đặc trưng cho mức độ chuyển động hỗn loạn phân tử của các vật.

Để xác định nhiệt độ người ta dùng nhiệt biểu. Nguyên tắc của nhiệt biểu là dựa vào độ biến thiên của một đại lượng nào đó (chiều dài, thể tích, độ dẫn điện, ...) khi đốt nóng hoặc làm lạnh rồi suy ra nhiệt độ tương ứng.

Nhiệt biểu thường dùng là nhiệt biểu thủy ngân. Trong nhiệt biểu này nhiệt độ được xác định bởi thể tích của một khối lượng thủy ngân nhất định.

Để đọc được nhiệt độ trên nhiệt biểu cần có thang đo nhiệt độ gọi là **nhiệt giai**. Nhiệt biểu có gắn thang đo nhiệt độ được gọi là **nhiệt kế**.

Người ta chọn điểm chuẩn thứ nhất là điểm ba của nước đá, là điểm tồn tại đồng thời 3 trạng thái của nước: hơi, lỏng, rắn (hay còn gọi là trạng thái 3 pha) ở áp suất 101 kPa ứng với nhiệt độ thứ nhất. Điểm chuẩn thứ hai ứng với trạng thái là điểm sôi của nước cũng ở áp suất 101 kPa.

Nhiệt giai bách phân (Celsius): điểm chuẩn thứ nhất ghi 0°C , điểm chuẩn thứ 2 ghi 100°C , giữa chúng chia thành 100 phần bằng nhau. Ký hiệu nhiệt độ là $t_{\text{C}}(^{\circ}\text{C})$.

Nhiệt giai tuyệt đối (Kelvin): mỗi độ chia bằng một độ của thang bách phân, nhưng độ không của nó ứng với $-273,16$ của thang bách phân. Ký hiệu nhiệt độ là $T(\text{K})$.

Như thế ta có biểu thức liên hệ:

$$T = t_{\text{C}} + 273,16 \quad (6.3)$$

Trong tính toán đơn giản thường lấy tròn:

$$T = t_{\text{C}} + 273 \quad (6.3')$$

Cần chú ý trong thang bách phân, nhiệt độ được ghi là $^{\circ}\text{C}$ (ví dụ: 15°C , 20°C , ...), nhưng trong thang tuyệt đối, nhiệt độ được ghi là K (ví dụ: 15 K , 20 K , v.v, ...).

Ngoài ra còn hai loại nhiệt giai khác:

+ **Nhiệt giai Fahrenheit** (dùng ở Anh, Mỹ và một số nước phụ thuộc): điểm chuẩn một là 32°F , điểm chuẩn hai là 212°F , giữa chúng chia làm 180 khoảng đều nhau. Ký hiệu là T_{F} :

$$T_{\text{F}} = \frac{9}{5}t_{\text{C}} + 32 \quad (6.4)$$

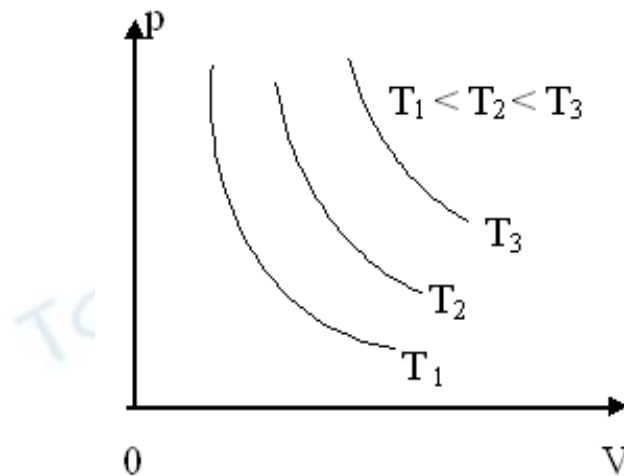
+ **Nhiệt giai Réaumur** (dùng ở Pháp và một số nước phụ thuộc): điểm chuẩn một là 0°R và điểm chuẩn hai là 80°R , giữa chúng chia làm 80 khoảng đều nhau. Ký hiệu là T_{R} :

$$T_F = \frac{4}{5}t_c \quad (6.5)$$

Chú ý: Trong đời sống thường ngày, người ta dùng thông dụng nhiệt giai bách phân. Nhưng trong khoa học kĩ thuật dùng nhiệt giai tuyệt đối.

§6.2 CÁC ĐỊNH LUẬT THỰC NGHIỆM VỀ CHẤT KHÍ

6.2.1 Định luật Boyle - Mariot



Hình 6.1 Họ đường đẳng nhiệt.

Trong quá trình đẳng nhiệt, thể tích của một khối khí xác định tỷ lệ nghịch với áp suất:

$$pV = \text{const} \quad (6.6)$$

Trong hệ trục tọa độ vuông góc OpV , quá trình biến đổi đẳng nhiệt là một đường Hypebol vuông góc gọi là đường đẳng nhiệt. Nhiệt độ càng cao, đường đẳng nhiệt càng xa điểm gốc. Tập hợp các đường đẳng nhiệt tạo thành họ đường đẳng nhiệt (hình 6.1).

6.2.2 Định luật Charles (Định luật Gay – Lussac 1)

Với lượng khí n không đổi ở áp suất p không đổi thì tỉ số giữa thể tích V và nhiệt độ T không đổi:

$$\frac{V}{T} = \text{const} \quad (6.7)$$

6.2.3 Định luật Gay – Lussac (2)

Với lượng khí n không đổi ở thể tích V không đổi thì tỉ số giữa áp suất p

và nhiệt độ T không đổi:

$$\frac{p}{T} = \text{const} \quad (6.8)$$

Các phương trình (6.7), (6.8) có thể viết dạng:

$$\left. \frac{p}{T} \right|_{V=\text{const}} = \frac{p_0}{T_0} \quad \text{và} \quad \left. \frac{V}{T} \right|_{p=\text{const}} = \frac{V_0}{T_0}$$

Với T_0 là nhiệt độ xác định, p_0 và V_0 là áp suất và thể tích của khối khí ở nhiệt độ T_0 . Thường chọn $T_0 = 273 \text{ K} = 1/a$. Khi đó:

$$p = p_0 a \quad (V = \text{const}) \quad (6.9)$$

$$V = V_0 a T \quad (p = \text{const}) \quad (6.10)$$

a gọi là hệ số dẫn nở nhiệt của chất khí.

6.2.4 Giới hạn ứng dụng

Các định luật thực nghiệm trên đây chỉ là các định luật gần đúng. Nó được thiết lập cho các chất khí ở điều kiện nhiệt độ và áp suất thông thường ($p \sim 1 \text{ at}$, $T \sim 300 \text{ K}$). Nếu áp suất càng lớn và nhiệt độ càng nhỏ thì các định luật trên càng sai lệch lớn.

Tuy nhiên, để việc nghiên cứu được đơn giản, người ta định nghĩa “*khí lý tưởng là chất khí hoàn toàn tuân theo các định luật thực nghiệm trên*”.

Thực nghiệm cho thấy phần lớn các chất khí ở điều kiện thường có thể coi là khí lý tưởng. Một chất khí được coi là khí lý tưởng nếu bỏ qua lực tương tác giữa các phân tử và kích thước của chúng.

§6.3 PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI KHÍ LÝ TƯỞNG

6.3.1 Thiết lập phương trình

Xét 1 Kmol khí có trạng thái ban đầu $M_1(p_1, V_1, T_1)$ biến đổi sang trạng thái $M_2(p_2, V_2, T_2)$.

Giả sử sự biến đổi từ M_1 sang M_2 qua trạng thái trung gian M'_1 có các thông số trạng thái (p'_1, V_2, T_1) theo định luật Boyle – Mariot ta có:

$$p_1 V_1 = p'_1 V_2 \quad (6.11)$$

Từ trạng thái M'_1 sang trạng thái M_2 là quá trình đẳng tích. Theo định luật Gay – Lussac ta có:

$$p'_1 = p_0 \cdot a \cdot T_1$$

$$p_2 = p_0 \cdot a \cdot T_2$$

Rút ra:

$$p_1' = \frac{p_2 T_1}{T_2} \quad (6.12)$$

Thay (6.12) vào (6.11) ta được:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (6.13)$$

Như thế, đối với một kmol khí đã cho, $\frac{pV_o}{T}$ không đổi:

$$\frac{pV_o}{T} = R \quad \Rightarrow \quad pV_o = RT \quad (6.14)$$

ở đây ta kí hiệu thể tích của 1 kmol khí là V_o .

Đối với khối khí bất kỳ có khối lượng m và thể tích V thì:

$$V = \frac{m}{\mu} V_o \quad \text{hay} \quad V_o = \frac{\mu}{m} V$$

Thay vào (6.14) ta được:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT \quad (6.15)$$

(6.14) và (6.15) là **phương trình trạng thái của khí lý tưởng**.

Đặt $\frac{m}{\mu} = n$ thì n cũng là một thông số trạng thái, nó chính là số mol (hay kmol của khối khí). Như vậy, trong trường hợp tổng quát, đối với một khối khí có thể tích V bất kì, phương trình trạng thái của khí lý tưởng sẽ là:

$$pV = nRT \quad (6.16)$$

6.3.2 Giá trị của R

R được gọi là hằng số khí lý tưởng hay hằng số khí phổ biến. Theo định luật Avogadro, ở cùng một nhiệt độ và áp suất, các chất khí khác nhau đều chiếm cùng thể tích. Xét ở điều kiện tiêu chuẩn ($T_o = 273,16 \text{ K}$, $p_o = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, $V_o = 22,414 \text{ m}^3$), ta có:

$$\frac{p_o V_o}{T_o} = \frac{1,01325 \cdot 10^5 (\text{Pa}) \cdot 22,414 (\text{m}^3 / \text{kmol})}{273,15 \text{ K}} = R$$

$$R = 8,314462 \cdot \frac{10^3 J}{\text{kmol.K}} = 8,314462 \frac{J}{\text{mol.K}}$$

Từ phương trình (6.15) ta có thể tính được khối lượng riêng ρ của nó:

$$\rho = \frac{\mu p}{RT} \quad (6.17)$$

Ví dụ 3.1

Một khối khí nitơ có thể tích 8,32 l, áp suất 15 at, và nhiệt độ 27 °C .

a) Tính khối lượng của khối khí đó?

b) Hơ nóng đẳng tích khối khí đó đến nhiệt độ 127 °C. Hãy tính áp suất của khối khí sau khi hơ nóng.

Giải:

Ta có:

$$T_1 = 273 + t_1 (= 27 \text{ °C}) = 300 \text{ (K)}$$

$$T_2 = 273 + t_2 (= 127 \text{ °C}) = 400 \text{ (K)}$$

$$1 \text{ at} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Pa}$$

a) Áp dụng phương trình trạng thái khí lí tưởng (6.15) cho trạng thái 1:

$$p_1 V_1 = \frac{m}{\mu} R T_1$$

$$\Rightarrow m = p_1 V_1 \frac{\mu}{R T_1} \quad (1)$$

Đối với khí nitơ $\mu = 28 \text{ kg/kmol}$, thay vào (1):

$$m = \frac{15 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot 8,32 \cdot 28}{8,32 \cdot 300} = 137 \text{ g}$$

c) Đối với quá trình đẳng tích, áp dụng định luật Gay – Luytxac, ta có:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$$

$$\Rightarrow p_2 = p_1 \frac{T_2}{T_1}$$

$$p_2 = \frac{400 \cdot 15}{300} = 20 \text{ at}$$

CÂU HỎI ÔN TẬP CHƯƠNG 6

6.1/ Có mấy thông số trạng thái đối với một chất khí? Thế nào là thông số độc lập và phụ thuộc?

6.2/ Theo bạn trong 4 thông số trạng thái: nhiệt độ, áp suất thể tích và lượng khí, thông số nào biểu thị lượng, thông số nào biểu thị chất? Hãy giải thích.

6.3/ Phân biệt nhiệt biểu, nhiệt giai và nhiệt kế.

6.4/ Nhiệt lượng có phải là thông số trạng thái không? Giải thích.

6.5/ Trong điều kiện cân bằng nhiệt ở nhiệt độ phòng, khi bạn tiếp xúc với không khí, một thanh gỗ và một thanh sắt bạn có cảm giác nóng hay lạnh như nhau không? Nếu khác thì cảm giác vật nào nóng hoặc lạnh hơn? Hãy giải thích.

6.6/ Có thể làm cho một bình nước vừa đóng băng vừa sôi được không? Giải thích.

6.7/ Ý nghĩa của hằng số khí lí tưởng R ?

6.8/ Các định luật thực nghiệm về chất khí thực hiện trên khí thực, nhưng tại sao người ta lại định nghĩa khí lí tưởng là khí tuân theo các định luật thực nghiệm trên?

6.9/ Khí quyển là hỗn hợp của nhiều loại khí khác nhau, phương trình trạng thái viết cho khí quyển có gì thay đổi không? Khi đó thông số n có ý nghĩa gì?

TÓM TẮT CÔNG THỨC VÀ BÀI TẬP CHƯƠNG 6

6.1 TÓM TẮT CÔNG THỨC

Phương trình trạng thái khí:

$$f(p, V, T, n) = 0 \quad (6.1)$$

Áp suất:

$$p = \frac{F}{\Delta S} \quad (6.2)$$

F là lực nén vuông góc lên diện tích ΔS .

Nhiệt độ tuyệt đối T (Kelvin):

$$T = t_C + 273,16 \quad (6.3)$$

t_C là nhiệt độ bách phân (Celsius).

+ Quá trình đẳng nhiệt:

$$pV = \text{const} \quad (6.5)$$

+ Quá trình đẳng tích:

$$\frac{p}{T} = \text{const} \quad (6.6)$$

+ Quá trình đẳng áp:

$$\frac{V}{T} = \text{const} \quad (6.7)$$

Phương trình trạng thái của khí lí tưởng:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT = nRT \quad (6.8)$$

V là thể tích của khối khí khối lượng m , μ là khối lượng 1 mol (kmol) khí, R là hằng số khí lí tưởng.

$$R = 8,314462 \cdot \frac{10^3 J}{\text{kmol.K}} = 8,314462 \frac{J}{\text{mol.K}}$$

Khối lượng riêng ρ của khí:

$$\rho = \frac{\mu p}{RT} \quad (6.9)$$

6.2 BÀI TẬP

6.1/ Có 40 g khí ôxy chiếm thể tích 3 lit nhiệt độ: $T = 292,5 \text{ K}$.

a) Tính áp suất của khối khí.

b) Cho khối khí nở đẳng áp đến thể tích 4 lit. Tìm nhiệt độ của khối khí sau khi giãn nở.

ĐS: a) $p_1 = 10 \text{ at}$; b) $T_2 = 390 \text{ K}$.

6.2/ Có 10 g khí hydro ở áp suất 8,2 at đựng trong bình có thể tích 20 lit.

a) Tìm nhiệt độ của khối khí.

b) Hơ nóng đẳng tích khối khí này đến khi áp suất của nó bằng 9 at. Tìm nhiệt độ của khối khí sau khi hơ nóng.

ĐS: $T_1 = 387 \text{ K}$; $T_2 = 425 \text{ K}$.

6.3/ Có 10 kg khí đựng trong một bình, áp suất 10^7 N/m^2 . Người ta lấy ở bình ra một lượng khí cho tới khi áp suất của khí còn lại trong bình bằng $2,5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$. Coi nhiệt độ của khối khí không đổi. Tìm lượng khí đã lấy ra.

ĐS: $\Delta m = 7,5 \text{ kg}$

6.4/ Có 8 g khí ôxy hỗn hợp với 22 g khí cacbonic (CO_2). Xác định khối lượng của 1 kilômol hỗn hợp đó?

ĐS: $\mu = 40 \text{ kg/kmol}$

Hướng dẫn: *Áp dụng phương trình trạng thái cho từng loại khí.*

6.5/ Một hỗn hợp khí có 2,8 kg khí nitơ và 3,2 kg khí ôxy ở nhiệt độ 17°C và áp suất $4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Tìm thể tích của hỗn hợp.

ĐS: $V = 1,205 \text{ m}^3$

6.6/ Có 12 g khí chiếm thể tích 4 lít ở nhiệt độ 7°C . Sau khi hơi nóng đẳng áp, khối lượng riêng của nó là $6 \cdot 10^{-4} \text{ g/cm}^3$. Tìm nhiệt độ của khối khí sau khi hơi nóng.

ĐS: $T_2 = 1400^\circ\text{K}$

6.7/ Một bình chứa khí nén ở nhiệt độ 27°C và áp suất 40 at. Tìm nhiệt độ của khối khí khi đã có một nửa lượng khí thoát ra khỏi bình và áp suất hạ xuống còn 19 at.

ĐS: $T_2 = 285 \text{ K}$

6.8/ Có 2 bình chứa hai thứ khí khác nhau thông với nhau bằng một ống thủy tinh có khoá. Thể tích của bình thứ nhất là 2 lít, của bình thứ hai là 3 lít. Lúc đầu ta đóng khoá, áp suất ở hai bình lần lượt là 1 at và 3 at. Sau đó mở khoá nhẹ nhàng để hai bình thông nhau sao cho nhiệt độ vẫn không thay đổi. Tính áp suất của chất khí trong hai bình khí khi thông nhau?

ĐS: $p = 1,6 \text{ at}$

6.9/ Một khí cầu thể tích V . Người ta bơm vào nó khí hidro ở 20°C dưới áp suất 750 mmHg. Nếu mỗi giây bơm được 25 g và thời gian bơm là 2 giờ 45 phút. Tìm thể tích V .

ĐS: $V = 3017 \text{ m}^3$

6.10/ Cho tác dụng axit Sulfuaric lên đá vôi (CaCO_3) người ta thu được 1320 cm^3 khí carbonic (CO_2) ở nhiệt độ 22°C và áp suất 1000 mmHg. Xác định lượng đá vôi đã tham gia phản ứng.

ĐS: $m = 7,18 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$

6.11/ Một ống thủy tinh tiết diện đều, một đầu kín một đầu hở. Lúc đầu người ta nhúng đầu hở vào một chậu nước sao cho mức nước trong và ngoài ống bằng nhau, chiều cao còn lại của ống bằng 20 cm. Sau đó người ta rút ống lên một đoạn 4 cm (hình 6.2). Hỏi mức nước ở trong ống dâng lên bao nhiêu, biết rằng nhiệt độ xung

quanh không đổi và áp suất khí quyển là 760 mmHg. Bỏ qua hiện tượng mao dẫn do sức căng mặt ngoài.

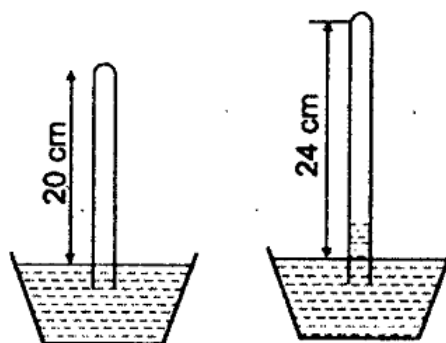
ĐS: $h = 3,95\text{cm}$

6.12/ Có 10g khí ôxy ở nhiệt độ 10°C , áp suất 3 at. Sau khi hơi nóng đẳng áp, khối khí chiếm thể tích 10 lít. Tìm:

- Thể tích khối khí trước khi giãn nở?
- Nhiệt độ khối khí sau khi giãn nở?
- Khối lượng riêng của khối khí trước khi giãn nở?
- Khối lượng riêng của khối khí sau khi giãn nở?

ĐS: a) $V_1 = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$; b) $T_2 = 1132^\circ\text{K}$

c) $\rho_1 = 4 \text{ g/l}$; d) $\rho_2 = 1 \text{ g/l}$.



Hình 6.2

6/13 Một bình kín có thể tích $V = 0,5 \text{ m}^3$ chứa 0,6 kmol khí CO_2 ở áp suất $3 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$. Hỏi khi áp suất của khối khí tăng lên gấp hai lần thì nhiệt độ khối khí tăng lên bao nhiêu?

ĐS: T tăng 2 lần

6.3 CÂU HỎI VÀ BÀI TẬP TRẮC NGHIỆM

6.1/ Chọn phát biểu **đúng**:

- Phương trình trạng thái biểu diễn mối quan hệ giữa các thông số trạng thái.
- Các thông số trạng thái là các đại lượng vật lý để xác định trạng thái của một vật.
- Có 4 thông số trạng thái là thể tích, áp suất, nhiệt độ và lượng khí.
- Tất cả các phát biểu đều đúng.

6.2/ Chọn phát biểu **sai**:

a) Nhiệt độ có nguồn gốc từ sự chuyển động hỗn loạn không ngừng của các phân tử khí.

b) Khí lý tưởng không có lực tương tác giữa các phân tử và kích thước của các phân tử bằng không.

c) Đa số các chất khí ở điều kiện thường đều không thể coi là khí lý tưởng.

d) Có hai phát biểu sai.

6.3/ Chọn phát biểu đúng:

a) Đường đẳng nhiệt trong hệ trục tọa độ vuông góc OpV là đường thẳng đi qua gốc tọa độ.

b) Trong hệ trục tọa độ vuông góc OpT và OVT , đường biểu diễn quá trình biến đổi đẳng tích có dạng tương tự như đường biểu diễn quá trình biến đổi đẳng áp.

c) Các định luật thực nghiệm về chất khí có thể áp dụng cho các chất khí thông thường ở áp suất thấp và nhiệt độ cao.

d) Có hai phát biểu đúng.

6.4/ Một bình kín có thể tích 5,088 lít ở nhiệt độ $T = 300K$ chứa hỗn hợp khí lý tưởng bao gồm 0,1 mol ôxi; 0,2 mol nitơ và 0,3 mol cacbonic.

1. Tìm áp suất của hỗn hợp:

a) $p = 3 \text{ atm}$

b) $p = 4 \text{ atm}$

c) $p = 5 \text{ atm}$

d) $p = 6 \text{ atm}$

2. Khối lượng phân tử trung bình của hỗn hợp khí là:

a) 32,17 g/mol

b) 36,67 g/mol

c) 41,12 g/mol

d) Tất cả đều sai

6.5/ Một bình kín chứa khí nitơ ở nhiệt độ $20^\circ C$, áp suất 2 atm. Hỏi khối khí có khối lượng riêng là bao nhiêu. Coi khối khí là khí lý tưởng.

a) 1 g/l

b) 2 g/l

c) 2,254 g/l

d) 3,2 g/l

6.6/ Một mol khí lý tưởng đang ở điều kiện chuẩn thì bị nén vào bình 5 lít, nhiệt độ $77^\circ C$. Tính áp suất khí sau khi nén.

a) $p = 3,7 \text{ atm}$

b) $p = 4,13 \text{ atm}$

c) $p = 4,85 \text{ atm}$

d) $p = 5,74 \text{ atm}$

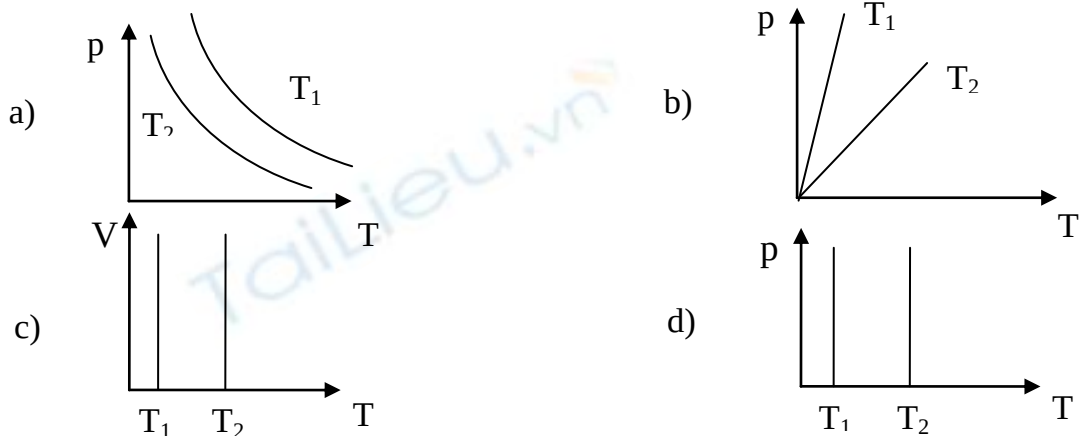
6.7/ 1 mol khí ôxi được chứa trong bình kín ở nhiệt độ 300 K, áp suất 6 atm sẽ có thể tích là:

a) $p_1 \rho_2 = p_2 \rho_1$ b) $p_1 \rho_1 = p_2 \rho_2$ c) $\rho \sim \frac{1}{p}$ d) $\rho \cdot p = \text{const}$

6.15/ Đồ thị nào trong hình 6.3 là phù hợp với định luật Boyle-Mariotte đối với một lượng khí xác định ở hai nhiệt độ khác nhau ($T_1 > T_2$)?

6.16/ Khi thể tích của bình tăng gấp 3 lần, nhiệt độ giảm đi một nửa thì áp suất của một lượng khí chứa trong bình sẽ:

- a) Tăng gấp đôi b) Tăng 4 lần
c) Giảm 6 lần d) Không đổi



Hình 6.3

6.17/ Khi nung nóng đẳng tích một lượng khí lí tưởng làm nhiệt độ tăng thêm 10°C thì áp suất tăng thêm $1/60$ lần áp suất ban đầu. Nhiệt độ ban đầu của lượng khí đó là:

- a) 400 K b) 600 K
c) 400°C d) 600°C

6.18/ Một xi-lanh kín được chia làm hai phần bằng nhau bởi một piston cách nhiệt. Mỗi phần có chiều dài $l_0 = 30 \text{ cm}$, chứa một lượng khí giống nhau ở 27°C . Nung nóng một phần thêm 10°C và làm lạnh phần kia đi 10°C . Độ dịch chuyển của piston là:

- a) 1 cm b) 0,51 cm c) 10 cm d) 10,5 cm

6.19/ Chất khí trong bình có nhiệt độ 0°C và áp suất p . Để áp suất chất khí tăng lên 3 lần thì cần nung khí đến nhiệt độ:

- a) 819°C b) 91°C c) 273°C d) 546°C

6.20/ Một bình nạp khí ở nhiệt độ 33°C dưới áp suất 300 kPa. Sau đó bình được chuyển đến một nơi có nhiệt độ 37°C . Độ tăng áp suất của khí trong bình là:

- a) 392 kPa b) 493 kPa c) 304 kPa d) 542 kPa

6.21/ Coi áp suất không khí trong và ngoài phòng là như nhau khối lượng riêng của không khí trong phòng ở nhiệt độ 27°C lớn hơn khối lượng riêng của không khí ở ngoài sân nắng ở nhiệt độ 42°C bao nhiêu lần?

- a) 10,5 lần b) 1,5 lần c) 1,05 lần d) 15 lần

6.22/ Một khối khí lí tưởng có thể tích 10 lít, nhiệt độ 27°C , áp suất 1 atm biến đổi qua hai quá trình:

- + Quá trình (1): đẳng tích, áp suất tăng gấp 2.
- + Quá trình (2): đẳng áp, thể tích sau cùng là 15 lít.

Nhiệt độ sau cùng của khí có giá trị nào sau đây:

- a) 90 K b) 900 K c) 9000 K d) Một giá trị khác.

CHƯƠNG 7

NGUYÊN LÝ I NHIỆT ĐỘNG HỌC

§7.1 NỘI NĂNG CỦA HỆ NHIỆT ĐỘNG CÔNG VÀ NHIỆT

7.1.1 Hệ nhiệt động

Mọi tập hợp các vật được xác định hoàn toàn bởi các thông số vĩ mô, độc lập đối với nhau, được gọi là hệ vĩ mô hay hệ nhiệt động, hay vắn tắt hơn là **Hệ**.

Tất cả các vật còn lại nằm ngoài hệ là ngoại vật đối với hệ hay còn gọi là **môi trường** (xung quanh hệ).

Hệ không cô lập là hệ có tương tác với môi trường ngoài như trao đổi vật chất và năng lượng. Trong những tương tác này nói chung sẽ có sự trao đổi công và nhiệt. Nếu hệ và môi trường không trao đổi nhiệt thì hệ là cô lập về phương diện nhiệt. Khi đó ta nói giữa hệ và môi trường có một vỏ cách nhiệt. Nếu hệ và môi trường trao đổi nhiệt nhưng không sinh công do sự nén hay giãn nở (ví dụ làm lạnh hay đốt nóng một hệ khí thể tích không đổi) thì hệ là cô lập về phương diện cơ học.

Hệ cô lập là hệ hoàn toàn không có tương tác và trao đổi năng lượng với môi trường.

7.1.2 Nội năng

Vật chất luôn vận động và năng lượng của một hệ là đại lượng xác định mức độ vận động của vật chất trong hệ. Ở mỗi trạng thái hệ có các dạng vận động xác định – tức là có năng lượng xác định. Khi trạng thái của hệ thay đổi thì năng lượng của hệ thay đổi. Thực nghiệm cho thấy độ biến thiên năng lượng của hệ trong một quá trình biến đổi chỉ phụ thuộc trạng thái đầu và trạng thái cuối mà không phụ thuộc vào quá trình biến đổi. Như thế năng lượng của hệ chỉ phụ thuộc vào trạng thái của hệ và ta nói năng lượng là một hàm trạng thái.

Năng lượng của một hệ bao gồm: Động năng ứng với chuyển động có hướng (chuyển động cơ) của hệ, thế năng của hệ trong trường lực và phần năng lượng ứng với vận động bên trong hệ (gọi là nội năng):

$$W = W_d + W_t + U \quad (7.1)$$

Tùy thuộc tính chất của chuyển động và tương tác của các phần tử cấu thành vật, nội năng có thể bao gồm:

- Động năng của chuyển động hỗn loạn của các phần tử (tịnh tiến và quay).

- Thế năng gây bởi lực tương tác phân tử.
- Động năng và thế năng chuyển động dao động của các nguyên tử trong phân tử.
- Năng lượng của các vỏ điện tử của các nguyên tử và ion, năng lượng trong hạt nhân nguyên tử, v.v, ...

Đối với hệ là khí lý tưởng, nội năng bao gồm tổng động năng của chuyển động nhiệt của các phân tử cấu tạo nên hệ.

Trong nhiệt động 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 chính là nội năng của hệ. Như thế nội năng của hệ là một hàm trạng thái. Mốc để tính nội năng, tức trạng thái của hệ mà ở đó ta coi nội năng bằng không, được chọn một cách tùy ý giống như mốc để tính thế năng trong cơ học. Trong nhiệt động học, điều quan trọng không phải là nội năng U mà là độ biến thiên nội năng ΔU của nó khi hệ biến đổi từ trạng thái này sang trạng thái khác. Vì vậy việc chọn mốc tính nội năng là không quan trọng. Thông thường, người ta giả thiết nội năng của hệ ở nhiệt độ không tuyệt đối ($T = 0 \text{ K}$) là bằng không.

7.1.3 Công và nhiệt

Thực nghiệm cho thấy khi các hệ tương tác chúng sẽ trao đổi với nhau một năng lượng nào đó. Có hai dạng trao đổi năng lượng:

Công là *dạng truyền năng lượng* làm tăng mức độ chuyển động có trật tự của một vật. Điều này xảy ra khi có tương tác giữa các vật vĩ mô, tức các vật có kích thước rất lớn so với kích thước phân tử. Trong cơ học và nhiệt động học, ta gọi dạng truyền năng lượng này là công. Ví dụ: Khí dẫn nổ trong xilanh làm piston chuyển động, khí đã truyền năng lượng cho piston dưới dạng công.

Nhiệt là *dạng truyền năng lượng*, nó được trao đổi trực tiếp giữa các phân tử chuyển động hỗn loạn của các vật tương tác. Khi hệ thực hiện trao đổi năng lượng như vậy thì mức độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử của hệ và do đó nội năng của hệ sẽ tăng lên hoặc giảm đi. Ví dụ: cho một vật lạnh tiếp xúc với một vật nóng, các phân tử chuyển động nhanh của vật nóng sẽ 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 và nội năng của vật nóng giảm đi. Quá trình tăng giảm này sẽ dừng lại khi nhiệt độ của hai vật bằng nhau.

Như vậy công và nhiệt đều là các đại lượng đo mức độ trao đổi năng lượng giữa các vật. Tuy nhiên có sự khác nhau sâu sắc giữa chúng: công liên quan tới chuyển động có trật tự, còn nhiệt liên quan đến chuyển động hỗn loạn của các phân tử của hệ. Mặc dù vậy chúng có mối liên hệ chặt chẽ với nhau và có thể chuyển hóa lẫn nhau: công có thể chuyển hóa thành nhiệt và ngược lại. Ví dụ: khi cọ sát hai vật chúng

sẽ nóng lên, như vậy công của ngoại lực đã chuyển hóa thành nhiệt cung cấp cho hai vật. Khi đốt cháy nhiên liệu trong động cơ đốt trong khí sẽ dẫn nở và đẩy piston của động cơ chuyển động, như thế nhiệt đã chuyển hóa thành công.

Thực nghiệm chứng tỏ sự chuyển hóa giữa công và nhiệt luôn tuân theo một hệ thức định lượng xác định. Năm 1845 Jun đã xác định được rằng cứ tốn một công 4,186 J thì sẽ tạo ra một nhiệt lượng 1 Calo. Việc tìm ra sự tương đương giữa nhiệt và công là một sự kiện quan trọng đối với khoa học và kỹ thuật, nhất là đối với việc thiết lập định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng.

Cần chú ý **công và nhiệt** là các đại lượng (thước đo) để đo mức độ trao đổi năng lượng giữa các vật, nhưng chúng không phải là năng lượng, chúng chỉ xuất hiện trong quá trình biến đổi trạng thái của hệ. Ở mỗi trạng thái, hệ có một giá trị năng lượng xác định mà không có công và nhiệt. Như thế *năng lượng là một hàm trạng thái*, còn *công và nhiệt là hàm của quá trình*.

§7.2 NGUYÊN LÝ 1 NHIỆT ĐỘNG HỌC

7.2.1 Phát biểu

Nguyên lý I là một trường hợp riêng của định luật bảo toàn và chuyển hóa năng lượng áp dụng vào các quá trình vĩ mô (quá trình nhiệt động).

Độ biến thiên năng lượng toàn phần ΔW của hệ trong một quá trình biến đổi vĩ mô có giá trị bằng tổng công A và nhiệt lượng Q mà hệ nhận được trong quá trình đó:

$$\Delta W = A + Q \quad (7.2)$$

Ở §1 ta đã giả thiết cơ năng của hệ không đổi nên năng lượng của hệ chính là nội năng của hệ nên: $\Delta W = \Delta U$ và (2.2) thành:

$$\Delta U = A + Q \quad (7.3)$$

Như thế trong phát biểu nguyên lý I ở trên ta có thể thay từ “*năng lượng toàn phần ΔW* ” bằng từ “*nội năng ΔU* ”.

Khi hệ thực hiện một quá trình biến đổi vô cùng nhỏ, biểu thức của nguyên lý I có thể viết:

$$dU = \delta A + \delta Q \quad (7.4)$$

Với dU là độ biến thiên nội năng của hệ (vi phân toàn phần) còn δA và δQ là công và nhiệt của hệ nhận được trong quá trình biến đổi (vi phân không hoàn chỉnh vì là các hàm của quá trình).

Với quá trình kín (chu trình) không có sự thay đổi nội năng, khi đó theo biểu thức (7.3) $A = -Q$. Nếu $A > 0$ (hệ nhận công từ bên ngoài) thì $Q < 0$ (hệ tỏa nhiệt cho bên ngoài). Nếu $A < 0$ (hệ sinh công cho bên ngoài) thì $Q > 0$ (hệ nhận nhiệt từ bên

ngoài). Về giá trị thì $|A| = |Q|$. Như vậy ta có thể phát biểu:

Trong một chu trình, công mà hệ nhận được có giá trị bằng nhiệt do hệ tỏa ra bên ngoài hay công do hệ sinh ra có giá trị bằng nhiệt mà hệ nhận từ bên ngoài.

Nếu $Q = 0$ thì $A = 0$. Ta có thể phát biểu:

Không thể sinh công mà không thay đổi nội năng hoặc nhận nhiệt từ bên ngoài.

Nguyên lý I cũng có thể phát biểu:

Không thể chế tạo được động cơ vĩnh cửu loại 1.

Động cơ vĩnh cửu loại 1 là động cơ không cần năng lượng vẫn sinh công.

7.2.2 Hệ quả

Nếu hệ cô lập, tức hệ không trao đổi công và nhiệt với bên ngoài thì:

$$A = Q = 0 \quad \text{do đó: } \Delta U = 0, U = \text{const.}$$

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

Nếu hệ cô lập gồm hai vật chỉ trao đổi nhiệt với nhau ký hiệu Q_1 và Q_2 là nhiệt mà vật 1 và 2 nhận được thì:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 0 \quad ; \quad Q_1 = -Q_2$$

Nếu $Q_1 < 0$ (vật 1 tỏa nhiệt) thì $Q_2 > 0$ (vật 2 thu nhiệt) và ngược lại.

Vậy: trong một hệ cô lập gồm hai vật chỉ trao đổi nhiệt, nhiệt lượng do vật này tỏa ra bằng nhiệt lượng mà vật kia thu vào.

§7.3 KHẢO SÁT CÁC QUÁ TRÌNH CÂN BẰNG CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

Nguyên lý I được ứng dụng rất rộng rãi trong mọi ngành khoa học để khảo sát các quá trình nhiệt động của các hệ khác nhau. Ở đây ta chỉ khảo sát các quá trình cân bằng đối với khí lý tưởng.

7.3.1 Trạng thái cân bằng và quá trình cân bằng

7.3.1.1 Định nghĩa

Trạng thái cân bằng của hệ là trạng thái không biến đổi theo thời gian và tính bất biến đó không phụ thuộc các quá trình của ngoại vật.

Mỗi trạng thái cân bằng được xác định bằng một thông số nhiệt động. Nếu hệ là khối khí thì các thông số nhiệt động đó là hai trong bốn thông số p, V, T, n . Trạng thái cân bằng của hệ trên đồ thị (p, V) được biểu diễn bằng một điểm.

Một hệ nếu không tương tác với ngoại vật, tức không trao đổi công và nhiệt, thì bao giờ cũng tự chuyển tới trạng thái cân bằng và trạng thái này tồn tại mãi.

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

Quá trình cân bằng là quá trình lý tưởng không có thực tế. Ví dụ quá trình nén khí trong thực tế là quá trình không cân bằng. Tuy nhiên, nếu quá trình nén khí là vô cùng chậm thì có thể coi là quá trình cân bằng.

7.3.1.2 Công của áp lực trong quá trình cân bằng

Giả sử khí được piston nén trong xilanh biến đổi theo quá trình cân bằng, trong đó thể tích biến đổi từ V_1 đến V_2 . Ngoại lực tác dụng lên piston là F . Khi piston dịch chuyển một đoạn dl thì khối khí nhận được công từ bên ngoài:

$$\delta A = - F dl$$

Về phải có dấu trừ vì khi nén khí thì $dl < 0$, khối khí thực sự nhận công ($\delta A > 0$).

Do quá trình là cân bằng nên ngoại lực F có giá trị bằng lực do khối khí tác dụng lên piston. Gọi p là áp suất của khí lên piston, S là diện tích của piston, ta có:

$$F = p.S$$

Từ đó:

$$\delta A = - pS.dl = - p.dV$$

với $dV = Sdl$ là biến thiên thể tích của khối khí ứng với dịch chuyển dl .

Công mà khối khí nhận được trong quá trình nén trên là:

$$A = \int \delta A = - \int_{V_1}^{V_2} p dV \quad (7.5)$$

Nếu khối khí giãn nở, thể tích của khối khí tăng lên, công mà khối khí nhận được theo (7.5) sẽ có giá trị âm, tức là khối khí đã sinh công. Từ trạng thái 1, khối khí cũng có thể biến đổi đến trạng thái 2 theo một đường khác, công mà khối khí sinh ra trong 2 quá trình đó là khác nhau. Như vậy, công là một hàm của quá trình như ta đã nói ở §7.1.

7.3.1.3 Nhiệt trong quá trình cân bằng – Nhiệt dung

Nhiệt dung riêng c của một chất là một đại lượng vật lý có giá trị bằng 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 vật, δQ là nhiệt lượng truyền cho vật trong một quá trình

cân bằng nào đó, dT là độ biến thiên nhiệt độ của vật trong quá trình đó thì ta có:

$$c = \frac{\delta Q}{m.dT} \quad \text{hay} \quad \delta Q = m.c.dT \quad (7.6)$$

Nhiệt dung riêng phân tử gam (hay nhiệt dung mol) C của một chất là một đại lượng về trị số bằng nhiệt lượng cần truyền cho một mol chất đó để nhiệt độ của nó tăng một độ.

Gọi μ là khối lượng của một mol. Ta có:

$$C = \mu.c \quad (7.7)$$

Trong hệ SI ta có đơn vị của c và C là:

$$[c] = \text{J}/(\text{kg.K}), \quad [C] = \text{J}/(\text{mol.K})$$

Từ (7.6) và (7.7) có thể viết (7.6) dạng khác:

$$\delta Q = \frac{m}{\mu} C dT \quad (7.6')$$

7.3.2 Nội năng của khí lý tưởng

Theo quan điểm của thuyết động học phân tử, một khối khí lý tưởng là một hệ gồm rất lớn các phân tử giống nhau, kích thước nhỏ không đáng kể (coi là chất điểm), các phân tử không tương tác với nhau (trừ khi va chạm), các phân tử chuyển động hỗn loạn không ngừng; nếu không có tác dụng của ngoại lực thì mật độ khí được phân bố đồng đều, chuyển động của các phân tử hoàn toàn đẳng hướng.

Các phân tử chuyển động hỗn loạn luôn va chạm vào thành bình. Tổng hợp lực của các phân tử khí tác dụng lên thành bình khi va chạm tạo nên áp lực của khối khí tác dụng lên thành bình.

Người ta chứng minh được giữa áp suất và động năng trung bình $\bar{W}_d = \frac{mv^2}{2}$ của phân tử trong khối khí có mật độ phân tử n_0 , với v là vận tốc của phân tử có biểu thức:

$$p = \frac{2}{3} n_0 \bar{W}_d \quad (7.8)$$

Thay (7.8) vào phương trình trạng thái khí lý tưởng cho một mol khí: $pV = RT$, ta được:

$$\frac{2}{3} n_0 V \bar{W}_d = RT$$

$n_0 V$ bằng số phân tử trong một mol bằng số Avogadro N . Do đó: