

PHẦN I - NHIỆT HỌC

MỞ ĐẦU

Nhiệt học nghiên cứu những hiện tượng liên quan đến sự chuyển động bên trong của vật hay hệ mà ta xét, tức là chuyển động của các nguyên tử, phân tử. Các chuyển động đó gọi là chuyển động nhiệt.

Có hai phương pháp nghiên cứu chuyển động nhiệt:

□ Phương pháp thống kê, được ứng dụng trong vật lý phân tử. Ở đó người ta phân tích hiện tượng xảy ra với từng nguyên tử, phân tử riêng biệt rồi dùng các quy luật thống kê rút ra các kết luận chung cho một tập hợp rất nhiều phân tử và giải thích các tính chất của vật.

Phương pháp thống kê, vì dựa trên cấu tạo phân tử, nên nó cho ta những hiểu biết sâu sắc về bản chất các hiện tượng. Tuy nhiên, những tính toán đó đôi khi rất phức tạp.

□ Phương pháp thứ hai, nghiên cứu chuyển động nhiệt theo quan điểm năng lượng, gọi là phương pháp nhiệt động học.

Nhiệt động học là một ngành vật lý nghiên cứu điều kiện biến đổi năng lượng từ dạng này sang dạng khác và nghiên cứu những biến đổi đó về mặt định lượng.

Phương pháp nhiệt động học dựa trên hai nguyên lý được đúc kết từ thực nghiệm là nguyên lý thứ nhất và nguyên lý thứ hai của nhiệt động học.

Từ các nguyên lý này ta có thể rút ra được nhiều kết luận về tính chất của các vật trong những điều kiện khác nhau mà không cần chú ý đến cấu tạo bên trong của vật. Vì vậy mà ưu điểm của nhiệt động học là cho ta giải quyết các bài toán một cách đơn giản.

Chương 1. THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ CÁC CHẤT KHÍ

Đ 1. MỘT SỐ KHÁI NIỆM

1. Thông số trạng thái và phương trình trạng thái

Trạng thái của một hệ được xác định bởi một tập hợp các đại lượng vật lý.

Tập hợp các đại lượng vật lý xác định trạng thái của một hệ được gọi là các thông số trạng thái. Chẳng hạn trạng thái của một chiếc lò xo được xác định bởi độ dài tự nhiên l_0 , độ cứng k và độ biến dạng Δl . Đó là những thông số trạng thái.

Trạng thái của một hệ được xác định bởi nhiều thông số, trong đó có những thông số biến đổi độc lập nhau, gọi là các thông số độc lập. Những thông số còn lại, phụ thuộc vào các thông số độc lập gọi là các thông số phụ thuộc.

Những hệ thức liên hệ các thông số trạng thái của một hệ gọi là phương trình trạng thái.

Với một khối khí nhất định, kinh nghiệm cho thấy, trạng thái của nó được xác định bởi ba thông số là thể tích V , áp suất P và nhiệt độ T . Trong đó hai thông số biến đổi độc lập, thông số thứ ba phụ thuộc. Do đó phương trình trạng thái của một khối khí nhất định có dạng:

$$f(P, V, T) = 0$$

(1-1)

2. Khái niệm áp suất và nhiệt độ

Ta quan tâm đến áp suất và nhiệt độ vì hai thông số này có ảnh hưởng rất lớn đến chuyển động nhiệt của các phân tử khí.

a. Áp suất

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

Nếu kí hiệu F là lực nén vuông góc lên diện tích Δs thì áp suất P được xác định là:

$$P = \frac{F}{\Delta s}$$

(1-2)

Trong hệ đơn vị SI, đơn vị áp suất là N/m^2 hay Pa (Pascan).

Trong kĩ thuật còn hay dùng các đơn vị của áp suất là át-mốt-phe và milimét thuỷ ngân.

$$1 \text{ at} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$

milimét thuỷ ngân (mmHg), còn được gọi là tor, là áp suất tạo bởi cột thuỷ ngân cao 1mm.

$$1 \text{ at} = 736 \text{ mmHg} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$$

b. Nhiệt độ

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

Để đo nhiệt độ của một vật người ta dùng nhiệt kế.

Trong đời sống và trong kĩ thuật loại nhiệt kế được dùng phổ biến nhất là nhiệt kế bách phân, nghĩa là nhiệt độ được đo trong thang nhiệt độ bách phân (hay thang nhiệt độ Cencius). Trong thang này, nhiệt độ kí hiệu là $^{\circ}C$. Trong vật lý và kĩ thuật người ta còn dùng thang nhiệt độ tuyệt đối (độ K). Giá trị mỗi độ chia của hai thang nhiệt độ là như nhau.

Ví dụ: nước tinh khiết, dưới áp suất khí quyển sẽ sôi ở $100^{\circ}C$ và bắt đầu đông đặc ở $0^{\circ}C$, chênh lệch nhiệt độ giữa nước sôi và nước đông đặc là 100 độ, thì trong thang nhiệt độ tuyệt đối, độ chênh lệch đó cũng là 100 độ.

Điểm khác giữa hai thang nhiệt độ đó là $0^{\circ}C$ ứng với $-273K$ hay $0K$ ứng với $273^{\circ}C$. Do đó nếu kí hiệu T là nhiệt độ tuyệt đối (K) và t là nhiệt độ $^{\circ}C$ thì:

$$T = t + 273$$

(1-3)

Tuy đơn giản là vậy nhưng việc sử dụng thang nhiệt độ tuyệt đối, như sau đây sẽ thấy, giúp ta hiểu rõ bản chất của nhiệt độ.

Đ 2. CÁC ĐỊNH LUẬT THỰC NGHIỆM VỀ CHẤT KHÍ

Nghiên cứu các chất khí bằng thực nghiệm trong điều kiện áp suất và nhiệt độ bình thường người ta đã tìm ra các định luật nêu lên mối liên hệ giữa hai trong ba thông số trạng thái của một hệ.

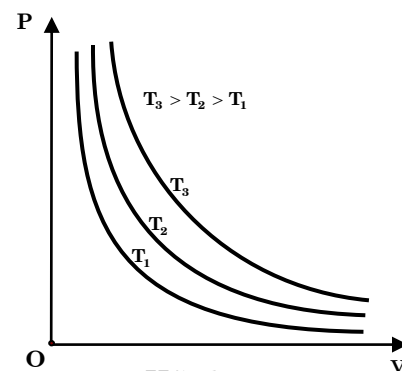
1. Định luật Bôilơ - Mariốt

Trong quá trình đẳng nhiệt của một khối khí, tích của áp suất và thể tích của khối khí không đổi.

$$T = \text{const} \quad \text{thì} \quad PV = \text{const} \quad (1 - 4)$$

4)

Trong hệ trục vuông góc OPV, với một nhiệt độ T không đổi thì tích $PV = \text{const}$ biểu diễn bằng đường hyperbol, gọi là đường đẳng nhiệt. Các đường đẳng nhiệt ứng với các nhiệt độ khác nhau hợp thành một họ đường đẳng nhiệt (h. 1-1). Nhiệt độ càng cao đường đẳng nhiệt càng xa gốc toạ độ.



Hình: 1-1

2. Định luật Gay-Lutxác

Trong quá trình đẳng áp của một khối khí, thể tích tỷ lệ với nhiệt độ tuyệt đối.

$$P = \text{const} \quad \text{thì} \quad \frac{V}{T} = \text{const} \quad (1-5)$$

3. Định luật Sác lơ

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

$$V = \text{const} \quad \text{thì} \quad \frac{P}{T} = \text{const}$$

(1-6)

4. Định luật Đan-tôn

Một bình kín chứa n loại khí khác nhau, do tính chuyển động hỗn loạn của các phân tử khí, các phân tử khí của mỗi loại sẽ khuếch tán đều trong toàn bộ thể tích của bình. Áp suất mỗi loại khí gây ra trên thành bình (nếu chỉ có riêng nó trong bình) lần lượt là: $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_n$.

Thí nghiệm của Đan - tôn chứng tỏ rằng áp suất đo trên thành bình bằng tổng tất cả áp suất riêng phần.

Định luật:

Áp suất của một hỗn hợp khí giữ ở nhiệt độ và thể tích nào đấy bằng tổng các áp suất riêng phần.

$$P = \sum_i P_i$$

(1-7)

Các phương trình (1-5) và (1-6) còn có thể viết như sau

$$\frac{V}{T} = \frac{V_0}{T_0} \quad (P = \text{const}) \quad \text{và} \quad \frac{P}{T} = \frac{P_0}{T_0} \quad (V = \text{const})$$

Trong đó T_0 là nhiệt độ xác định; V_0 và P_0 là thể tích và áp suất ở nhiệt độ T_0 .

Thông thường người ta chọn $T_0 = 273\text{K} = \frac{1}{\alpha}$ (α : hệ số dẫn nở nhiệt)

Khi đó (1-5) và (1-6) có dạng:

$$V = V_0 \alpha T \quad (P = \text{const})$$

$$P = P_0 \alpha T \quad (V = \text{const})$$

5. Giới hạn ứng dụng của các định luật thực nghiệm về chất khí

Những nghiên cứu bằng thực nghiệm để tìm ra các định luật Bôilơ-Mariôt, Gay-Lutxác và Sáclơ được tiến hành trong điều kiện áp suất và nhiệt độ bình thường của phòng thí nghiệm. Vì vậy các định luật này luôn nghiệm đúng trong khoảng áp suất và nhiệt độ bình thường.

Tuy nhiên, cũng chính thực nghiệm lại xác nhận rằng khi mà áp suất khí rất cao và nhiệt độ rất thấp thì các định luật trên có sự sai lệch với thực nghiệm. Áp suất càng cao, nhiệt độ càng thấp sự sai lệch càng lớn. Chúng ta xem bảng dưới đây để thấy rõ.

P (at)	PV			
	H ₂	O ₂	N ₂	Không khí
1	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
100	1,0690	1,0690	0,9941	0,9730
200	1,1380	0,9140	1,0138	1,0100
500	1,3565	1,1560	1,3900	1,3400
1000	1,7200	1,7355	2,0685	1,9920

Thực nghiệm còn chứng tỏ rằng áp suất và thể tích không hoàn toàn tỉ lệ bậc nhất với nhiệt độ tuyệt đối. Hệ số dẫn nở nhiệt α với các chất khí khác nhau cũng có giá trị khác nhau. Ở nhiệt độ thường và áp suất thông thường hầu hết các chất khí đã hoá lỏng. Khi đó không thể áp dụng các định luật về chất khí được nữa.

Đ 3. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI KHÍ LÍ TƯỜNG

Khi xét đến cấu tạo phân tử các chất khí người ta thấy rằng nếu bỏ qua tương tác giữa các phân tử và kích thước của chúng thì các định luật thực nghiệm về chất khí sẽ được nghiệm đúng ở hầu như mọi áp suất và nhiệt độ. Vì vậy người ta đưa ra một mẫu khí lí tưởng. Đó là khí tuân theo hoàn toàn chính xác các định luật Bôilơ-Mariôt, Gay-Luxác và Sác-lơ. Nhiều chất khí ở áp suất và nhiệt độ phòng thí nghiệm có thể coi như là khí lí tưởng.

Các định luật về chất khí ở trên mới chỉ nêu được mối liên hệ giữa hai thông số trạng thái. Bây giờ, từ các định luật đó chúng ta sẽ thiết lập một phương trình mô tả quan hệ cả ba thông số trạng thái của khối khí lí tưởng. Phương trình đó được gọi là phương trình trạng thái của khí lí tưởng.

1. Thiết lập phương trình cho 1 kilomol khí

Một kilomol khí (1kmol) là một khối lượng khí bằng μ kg với μ là trị số khối lượng phân tử. Một kmol khí chứa $N = 6,023 \cdot 10^{26}$ phân tử.

Xét quá trình biến đổi 1 kmol khí lí tưởng từ trạng thái 1, được biểu diễn bằng điểm M_1 trên đồ thị OPV, sang trạng thái 2, được biểu diễn bằng điểm M_2 (h. 1-2). M_1 nằm trên đường đẳng nhiệt T_1 , M_2 nằm trên đường đẳng nhiệt T_2 . Chia quá trình biến đổi $M_1 \rightarrow M_2$ thành hai quá trình nhỏ: $M_1 \rightarrow M'_1$ và $M'_1 \rightarrow M_2$. Trong quá trình đẳng nhiệt $M_1 \rightarrow M'_1$:

$$P_1 V_1 = P'_1 V_2$$

Trong quá trình đẳng tích $M'_1 \rightarrow M_2$:

$$\frac{P'_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \rightarrow P'_1 = P_2 \frac{T_1}{T_2}$$

Thay vào phương trình đẳng nhiệt ở trên ta được

$$P_1 V_1 = P_2 \frac{T_1}{T_2} V_2 \rightarrow \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

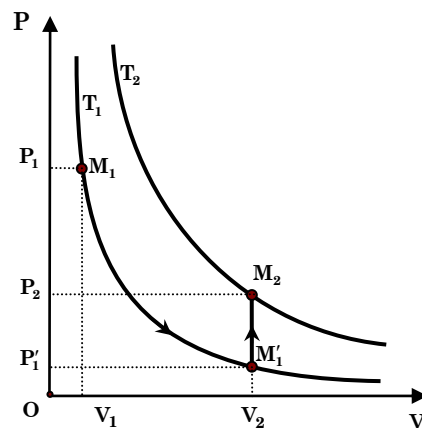
Nghĩa là, với 1 kmol khí lí tưởng

$$\frac{PV}{T} = \text{const} = R$$

hay

$$PV = RT$$

(1- 9)



Hình: 1-2

R được gọi là hằng số khí lí tưởng. Ta biết rằng ở trạng thái tiêu chuẩn, trạng thái có nhiệt độ $T_0 = 273,16K$ ($0^\circ C$) và áp suất $P_0 = 1,013.10^5 N/m^2$ (bằng 1,033at) thì 1 kmol của bất kì loại khí nào cũng có thể tích $V_0 = 22,410 m^3$. Do đó

$$R = \frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{1,013.10^5 N/m^2 \cdot 22,410 m^3 / kmol}{273,16 K} = 8,31.10^3 \frac{J}{kmol.K}$$

2. Phương trình cho m kg khí

Đặt v là thể tích của m kg khí, thế thì thể tích của 1 kmol khí V liên hệ với thể tích m kg khí v bởi:

$$V = \frac{\mu}{m} v$$

Thay vào (1-9), ta được

$$Pv = \frac{m}{\mu} RT$$

Tuy nhiên, để đơn giản kí hiệu người ta vẫn viết phương trình trạng thái khí lí tưởng cho m kg là:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT$$

(1-10)

Nhưng chúng ta phải hiểu rằng V là thể tích của m kg khí. Còn phương trình (1-9) thì V là thể tích μkg khí, tức là thể tích 1 kmol.

Đ 4. THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ CHẤT KHÍ

Trong tiết này ta sẽ thiết lập biểu thức nội năng của khí lí tưởng, một đại lượng thường được nói tới khi nghiên cứu hai nguyên lí của nhiệt động học.

1. Nội dung của thuyết động học phân tử chất khí

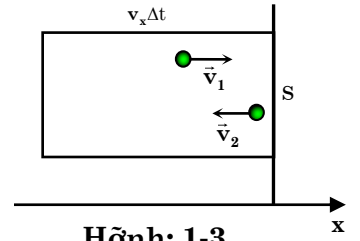
Theo quan điểm thống kê, để nghiên cứu các chất khí người ta cần phải đưa ra một mẫu về cấu trúc của các chất khí và vì thế thuyết động học phân tử chất khí ra đời. Những nội dung cơ bản của thuyết này là:

- ☐ Các chất khí có cấu tạo gián đoạn gồm một số rất lớn các nguyên tử, phân tử.
- ☐ Các nguyên tử và phân tử khí chuyển động hỗn loạn không ngừng.
- ☐ Kích thước các phân tử khí rất nhỏ bé so với khoảng cách giữa chúng. Vì thế có thể coi các phân tử khí như những chất điểm và bỏ qua kích thước chúng.
- ☐ Các phân tử khí không tương tác với nhau, trừ lúc chúng va chạm. Sự va chạm giữa các phân tử khí với nhau và va chạm giữa các phân tử khí với thành bình là va chạm đàn hồi.

Phân tích những nội dung trên ta thấy hai nội dung sau chỉ đúng với khí lí tưởng, còn hai nội dung đầu đúng cho mọi loại khí, khí lí tưởng cũng như khí thực.

2. Phương trình cơ bản thuyết động học phân tử chất khí

Khi một phân tử khí va chạm vào thành bình nó sẽ tác dụng lên thành bình một xung lực. Và va chạm của một số rất lớn các phân tử khí lên thành bình sẽ tạo nên áp lực lên một diện tích S của thành bình, đó chính là áp suất P . Từ đó có thể suy đoán rằng có một mối liên hệ giữa áp suất khí đo được trên thành bình và sự chuyển động vi mô của các phân tử khí trong bình.



Hình: 1-3

Xét một phân tử khí chuyển động theo phương x với vận tốc \vec{v}_1 đến đập thẳng góc vào thành bình, giả thiết va chạm là đàn hồi. Coi các phân tử khí như một quả cầu nhỏ khối lượng m (coi các phân tử khí là đồng nhất); va chạm đàn hồi nên $|\vec{v}_1| = |\vec{v}_2| = v_x$.

Áp dụng định lí biến thiên động lượng:

$$m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 = \vec{f}\Delta t$$

Trong đó \vec{f} là lực do thành bình tác dụng lên phân tử khí; Δt là thời gian va chạm trung bình.

Chiếu phương trình trên lên phương x :

$$-mv_x - mv_x = f\Delta t \rightarrow f = -\frac{2mv_x}{\Delta t}$$

Theo định luật Niuton thứ ba, lực do phân tử khí tác dụng lên thành bình:

$$f' = -f = \frac{2mv_x}{\Delta t}$$

Trong khoảng thời gian Δt số phân tử khí có vận tốc v_x đến đập lên thành bình S là số phân tử trong hình trụ có đáy S , đường sinh $v_x\Delta t$. Nếu gọi n_{ox} là mật độ phân tử thì số phân tử chứa trong hình trụ trên bằng $n_{ox}(v_x\Delta t.S)$. Nhưng thực ra chỉ có một nửa số phân tử chuyển động theo phương x đến đập lên diện tích S , vì theo phương x ta có hai chiều ngược nhau. Số phân tử này đến đập vào diện tích S sẽ gây ra một áp lực

$$f'_x = \frac{n_{ox}}{2}(v_x\Delta t.S)\frac{2mv_x}{\Delta t} = n_{ox}mv_x^2.S$$

Nhưng vận tốc v_x của các phân tử khí trong bình trụ rất khác nhau: $0 < v_x < \infty$, vậy ta phải lấy tổng áp lực theo vận tốc v_x , do đó áp lực do các phân tử khí gây nên trên diện tích S của thành bình là

$$F = \left[\sum_{v_x} n_{ox}mv_x^2 \right] . S$$

Đặt
$$\bar{v}_x^2 = \frac{\sum n_{ox} v_x^2}{n_o} \rightarrow F = n_o m \bar{v}_x^2 . S$$

Trong đó n_o là mật độ phân tử khí chuyển động theo tất cả các phương

Do tính chuyển động hỗn loạn của các phân tử khí mà

$$\left. \begin{aligned} \bar{v}_x^2 &= \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2 \\ \bar{v}^2 &= \bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2 \end{aligned} \right\} \rightarrow \bar{v}_x^2 = \frac{\bar{v}^2}{3}$$

Trong đó v_x, v_y, v_z là ba thành phần trên ba trục ox, oy, oz của vận tốc toàn phần \bar{v} của phân tử. Như thế biểu thức của áp lực là

$$F = \frac{1}{3} n_o m \bar{v}^2 . S$$

và áp suất
$$P = \frac{F}{S} = \frac{1}{3} n_o m \bar{v}^2 = \frac{2}{3} n_o \frac{m \bar{v}^2}{2}$$

Nhưng $\frac{m \bar{v}^2}{2} = \bar{W}_d$ là động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử khí, nên cuối cùng có:

$$P = \frac{2}{3} n_o \bar{W}_d$$

(1-11)

Đây là phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử chất khí.

3. Nội năng của khí lí tưởng

a. Bậc tự do và định luật phân bố đều năng lượng cho các bậc tự do

Số bậc tự do của một phân tử khí là số tọa độ độc lập cần thiết để xác định vị trí của phân tử đó trong không gian.

Đối với loại phân tử đơn nguyên tử ta coi nó như một chất điểm và để xác định vị trí của nó trong không gian ta cần 3 tọa độ độc lập x, y, z trong hệ tọa độ Đề các. Do đó số bậc tự do của các loại phân tử chỉ có một nguyên tử là $i = 3$.

Đối với loại phân tử gồm hai nguyên tử, gọi là phân tử lưỡng nguyên tử. Ta cho một nguyên tử đứng yên, nguyên tử thứ hai chuyển động trên một mặt cầu xung quanh phân tử thứ nhất, cách phân tử thứ nhất một khoảng cố định. Vị trí của phân tử xác định bởi 5 biên số, 3 biến (x, y, z) cho nguyên tử thứ nhất; 2 biến cho nguyên tử thứ hai. Vậy bậc tự do của loại phân tử này là $i = 5$.

Với phân tử gồm ba nguyên tử trở lên ta gọi chung là các phân tử đa nguyên tử. Người ta chứng minh được rằng bậc tự do của loại phân tử đa nguyên tử là $i = 6$.

Qua những phân tích ở trên có thể thấy rằng số bậc tự do của một phân tử khí phản ánh mức độ phức tạp về cấu trúc của phân tử.

Phương trình trạng thái của khí lí tưởng cho 1 kmol:

$$PV = RT$$

thay P từ phương trình (1-11) vào ta được

$$\frac{2}{3} n_o \bar{W}_d \cdot V = RT; \quad n_o V = N \text{ là số A vơgadro,}$$

do đó

$$\frac{2}{3} N \bar{W}_d = RT \rightarrow \bar{W}_d = \frac{3}{2} \frac{RT}{N} = \frac{3}{2} KT$$

Với $K = \frac{R}{N} = \frac{8,31 \cdot 10^3}{6,023 \cdot 10^{26}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J / K}$ gọi là hằng số Bôn-zơ-man

$$\bar{W}_d = \frac{3}{2} KT$$

(1-12)

Động năng tịnh tiến trung bình của phân tử khí tỉ lệ bậc nhất với nhiệt độ tuyệt đối.

Từ đó ta nhận thấy nhiệt độ tuyệt đối (T) đặc trưng cho mức độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử.

Ta lại biết chuyển động tịnh tiến có 3 bậc tự do. Do đó từ (1-12) người ta suy ra rằng:

Năng lượng (đối với khí lí tưởng là động năng) của các phân tử khí được phân bố đều cho các bậc tự do và năng lượng ứng với một bậc tự do là $\frac{1}{2} KT$.

Đây là định luật phân bố đều năng lượng cho các bậc tự do.

Nếu phân tử khí có i bậc tự do thì năng lượng của một phân tử khí đó là:

$$\bar{W}_d = \frac{i}{2} KT$$

(1-13)

b. Nội năng của khí lí tưởng

Trước hết ta tính nội năng của 1 kmol khí lí tưởng.

Một kmol khí chứa N phân tử, coi các phân tử là đồng nhất thì nội năng của 1 kmol khí lí tưởng bằng:

$$U = N \bar{W}_d = N \frac{i}{2} KT$$

mà $K = \frac{R}{N}$, do đó $U = \frac{i}{2} RT$

(1-14)

Nội năng của khí lí tưởng tỉ lệ bậc nhất với nhiệt độ tuyệt đối.

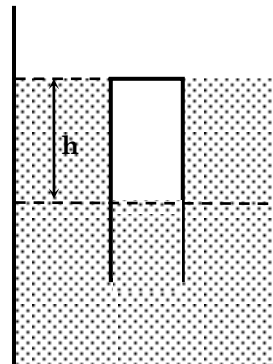
Với mkg khí, ta có

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

(1-15)

BÀI TẬP VÍ DỤ

Ví dụ 1: Cho một ống thủy tinh hình trụ một đầu kín, một đầu hở, có chiều dài $l = 110 \text{ cm}$. Ban đầu trong ống chứa đầy không khí ở áp suất khí quyển. Người ta nhúng miệng ống thẳng đứng xuống một bể nước cho đến khi đầu kín của ống ngang bằng với mặt nước. Hãy tính khoảng cách giữa mức nước bên trong và bên ngoài ống. Cho áp suất khí quyển $P_o = 760 \text{ mmHg} \approx 10^5 \text{ N/m}^2$; gia tốc trọng trường $g = 10 \text{ m/s}^2$; khối lượng riêng của nước $\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$. Biết rằng tiết diện của ống tương đối lớn để có thể bỏ qua hiện tượng mao dẫn. Nhiệt độ không khí không đổi suốt quá trình.



Giải

Khi nhúng ống vào trong bể, nước sẽ dâng lên trong ống, làm cho thể tích của khối khí trong ống giảm: quá trình là nén khí.

Nhiệt độ T không đổi, vậy quá trình là đẳng nhiệt.

Gọi V_o là thể tích khối khí trong ống khi chưa nhúng ống vào trong bể:

$$V_o = Sl$$

S là tiết diện ống

Khi nhúng ngập vừa hết ống, gọi h là khoảng cách giữa mức nước bên trong và mức nước bên ngoài ống, thể tích khối khí bây giờ là:

$$V_1 = Sh$$

Áp suất P_1 của khối khí bây giờ bằng áp suất trên mặt thoáng của mặt mức trong ống và bằng áp suất 1 điểm trong bể mức ở độ sâu h .

$$P_1 = P_o + \rho gh$$

Theo định luật Bôilơ-Mariôt

$$P_o V_o = P_1 V_1$$

$$\Leftrightarrow P_o Sl = (P_o + \rho gh) Sh$$

$$\Leftrightarrow P_o l = P_o h + \rho gh^2$$

$$\Leftrightarrow \rho gh^2 + P_o h - P_o l = 0$$

$$\Leftrightarrow h^2 + 10h - 11 = 0$$

Nghiệm của phương trình bậc hai của h :

$$\begin{cases} h = 1m \\ h = -11m, \text{ loại nghiệm âm} \end{cases} \Rightarrow h = 1m$$

Ví dụ 2: Một bình có thể tích $V = 10\text{lít}$ chứa 14g nitơ và 9g hydro ở nhiệt độ 10°C . Tính khối lượng 1 mol hỗn hợp khí trong bình và áp suất khí trong bình.

Giải

Gọi P_1 là áp suất gây bởi khối khí nitơ trong bình lên thành bình

$$P_1 V = \frac{m_1}{\mu_1} RT \quad \text{trong đó}$$

$$m_1 = 14\text{g}; \quad \mu_1 = 28\text{g/mol}$$

Gọi P_2 là áp suất trên thành bình gây lượng hydro

$$P_2 V = \frac{m_2}{\mu_2} RT \quad \text{trong đó}$$

$$m_2 = 9\text{g}; \quad \mu_2 = 2\text{g/mol}$$

P là áp suất tổng đo được trên thành bình.

Theo định luật Đan-tôn:

$$P = P_1 + P_2$$

$$\Leftrightarrow \frac{m}{\mu} RT = \frac{m_1}{\mu_1} RT + \frac{m_2}{\mu_2} RT \Leftrightarrow \frac{m}{\mu} = \frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}$$

$$\Rightarrow \mu = \frac{m}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}} = \frac{m_1 + m_2}{\frac{m_1}{\mu_1} + \frac{m_2}{\mu_2}}$$

Trị số

$$\mu = \frac{14 + 9}{\frac{14}{28} + \frac{9}{2}} = 4,6\text{g/mol}$$

Áp suất khí

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

Trị số

$$P = \frac{14 + 9}{4,6} \cdot \frac{8,31(273 + 10)}{10 \cdot 10^{-3}} = 1,18 \cdot 10^6 \text{N/m}^2$$

BÀI TẬP TỰ GIẢI

Bài 1: Có 10g khí hydro ở áp suất $8,2\text{at}$ đựng trong một bình có thể tích 20lít .

- Tính nhiệt độ khối khí.
- Hơ nóng đẳng tích khối khí tới áp suất 9at . Tính nhiệt độ khối khí lúc đó.

Đáp số: a. $T_1 = 388\text{K}$; b. $T_2 =$

425K

Bài 2: Một ống thủy tinh tiết diện đều, một đầu kín và một đầu hở. Lúc đầu nhúng đầu hở vào chậu nước sao cho mực nước trong và ngoài ống bằng nhau, chiều cao của ống còn lại là 20cm . Sau đó người ta rút ống lên cao 4cm . Hỏi mực nước dâng lên trong ống bằng bao nhiêu. Biết rằng nhiệt độ xung quanh không đổi và áp suất khí quyển là 700mmHg .

Đáp số: Nước dâng lên một đoạn:

3,95cm

Bài 3: Một hỗn hợp khí gồm 8g heli và 4g argon ở nhiệt độ 17°C và áp suất 10^5N/m^2 . Xác định khối lượng riêng của hỗn hợp khí.

Cho $\mu_{\text{He}} = 4\text{kg/kmol}$ và $\mu_{\text{Ar}} = 40\text{kg/kmol}$.

Đáp số: $\rho = 0,237\text{kg/m}^3$

Bài 4: Có hai bình chứa hai loại khí khác nhau nối với nhau qua một ống có khoá. Thể tích của bình thứ nhất là 2 lít, của bình thứ 2 là 3 lít. Lúc đầu khoá đóng, áp suất của hai bình lần lượt là 1at và 2at. Mở khoá nhẹ nhàng để hai bình thông nhau sao cho nhiệt độ vẫn không đổi, Tính áp suất của khí trong hai bình khi thông nhau.

Đáp số:

$$P = \frac{P_1V_1 + P_2V_2}{V_1 + V_2} = 1,6\text{at}$$