

Xét một lượng khí xác định ; ở trạng thái cân bằng thì áp suất p , thể tích V và nhiệt độ T của khí đều có giá trị xác định. Khi chất khí biến đổi, chuyển từ trạng thái cân bằng này sang trạng thái cân bằng khác, thì cả ba đại lượng trên đều có thể biến đổi. Trong hai bài trước, ở mỗi bài ta giữ cho một đại lượng không đổi và xét sự phụ thuộc lẫn nhau của hai đại lượng kia (T không đổi thì $pV = \text{hằng số}$; V không đổi thì $\frac{p}{T} = \text{hằng số}$). Trong bài này ta tổng hợp kết quả của hai bài trước để tìm ra công thức thể hiện sự phụ thuộc lẫn nhau của cả ba đại lượng ấy.

1. Phương trình trạng thái

Kí hiệu p_1, V_1, T_1 là áp suất, thể tích và nhiệt độ của lượng khí mà ta xét ở trạng thái 1. Thực hiện một quá trình bất kì chuyển khí sang trạng thái 2 có áp suất p_2 , thể tích V_2 và nhiệt độ T_2 . Chúng ta đi tìm mối liên hệ giữa các giá trị đó.

Muốn thế, ta thực hiện hai giai đoạn biến đổi :

$$(1) \left\{ \begin{array}{l} p_1 \\ V_1 \\ T_1 \end{array} \right. \xrightarrow{\substack{\text{Nhiệt độ} \\ \text{không đổi} \\ (\text{đẳng nhiệt})}} (2') \left\{ \begin{array}{l} p'_1 \\ V'_1 \\ T_1 \end{array} \right. \xrightarrow{\substack{\text{Thể tích} \\ \text{không đổi} \\ (\text{đẳng tích})}} (2) \left\{ \begin{array}{l} p_2 \\ V_2 \\ T_2 \end{array} \right.$$

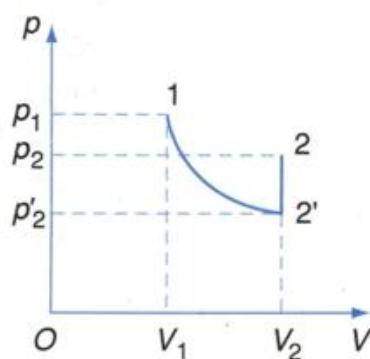
(đường biểu diễn hai giai đoạn biến đổi trên đồ thị $p - V$ được vẽ ở Hình 47.1).

Áp dụng định luật Bô-i-lơ – Ma-ri-ốt cho quá trình đẳng nhiệt $(1) \rightarrow (2')$, ta có

$$p_1 V_1 = p'_1 V_2 \quad (47.1)$$



Một lượng khí ở trạng thái cân bằng là một lượng khí đồng tính, áp suất và nhiệt độ tại mọi điểm trong chất khí đều như nhau, và không có dòng chuyển động vĩnh cửu trong khí. Mỗi trạng thái cân bằng có thể biểu diễn trên đồ thị $p-V$ bằng một điểm.



Hình 47.1

Cung hyperbol 12' biểu diễn quá trình đẳng nhiệt. Đoạn thẳng 2'2 biểu diễn quá trình đẳng tích.

Ghi chú

Ở trạng thái cân bằng mỗi đại lượng p , V , T của lượng khí chỉ có một giá trị xác định. Vì vậy khi chuyển từ trạng thái (1) sang trạng thái (2) bằng bất kì quá trình biến đổi nào, ta cũng được cùng một hệ thức (47.3).

Chất khí lí tưởng tuân theo đúng hai định luật Bô-i-lơ – Ma-ri-ốt và Sác-lơ thì cũng tuân theo đúng phương trình trạng thái (47.4) và định luật Gay Luy-xác.

C1 Với một lượng khí đã cho thì hằng số trong công thức (47.4) có một giá trị duy nhất hay có thể có nhiều giá trị ?

Áp dụng định luật Sác-lơ cho quá trình đẳng tích (2') \rightarrow (2), ta có

$$\frac{p'_2}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ hay là } p'_2 = p_2 \frac{T_1}{T_2} \quad (47.2)$$

Thay vào (47.1), ta có $p_1 V_1 = p_2 \frac{T_1}{T_2} V_2$ hay là

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad (47.3)$$

Việc chọn trạng thái 1, 2 là bất kì, vì vậy có thể viết

$$\frac{pV}{T} = \text{hằng số} \quad (47.4)$$

Đây là *phương trình trạng thái của khí lí tưởng*. Hằng số ở vế bên phải của (47.4) kí hiệu là C , phụ thuộc vào lượng khí mà ta xét.

2. Định luật Gay Luy-xác

Xét một quá trình đẳng áp, trong đó áp suất p không đổi và bằng p_1 . Phương trình (47.4) trở thành

$$\frac{V}{T} = \frac{C}{p_1} = \text{hằng số} \quad (47.5)$$

Theo hệ thức này :

Thể tích V của một lượng khí có áp suất không đổi thì tỉ lệ với nhiệt độ tuyệt đối của khí. Đó là nội dung của *định luật Gay Luy-xác*.

3. Bài tập vận dụng

Một quả bóng thám không có thể tích $V_1 = 200 \text{ l}$ ở nhiệt độ $t_1 = 27^\circ\text{C}$ trên mặt đất. Bóng được thả ra và bay lên đến độ cao mà ở đó áp suất khí quyển chỉ còn bằng 0,6 áp suất khí quyển ở mặt đất và nhiệt độ là $t_2 = 5^\circ\text{C}$. Tính thể tích của quả bóng ở độ cao đó (bỏ qua áp suất phụ gây ra bởi vỏ bóng).

Bài giải

Áp dụng phương trình trạng thái

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

ta suy ra :

$$V_2 = V_1 \cdot \frac{p_1}{p_2} \cdot \frac{T_2}{T_1} = 200 \cdot \frac{1}{0,6} \cdot \frac{5 + 273}{27 + 273} \approx 309 \text{ l}$$

CÂU HỎI

- Thiết lập phương trình trạng thái bằng cách thực hiện hai giai đoạn biến đổi

$$(1) \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_1}{V_1} \\ \frac{T_1}{T_1} \end{array} \right. \longrightarrow (2') \left\{ \begin{array}{l} \frac{P'_2}{V'_1} \\ \frac{T_2}{T_2} \end{array} \right. \longrightarrow (2) \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_2}{V_2} \\ \frac{T_2}{T_2} \end{array} \right.$$

- Từ phương trình trạng thái (47.4), hãy tìm lại định luật Bô-i-lơ – Ma-ri-ốt và định luật Sác-lơ.
- Hai phương trình trạng thái của hai lượng khí khác nhau thì có khác nhau không ? Nếu có thì khác nhau ở chỗ nào ?
- Viết phương trình biểu diễn định luật Bô-i-lơ – Ma-ri-ốt đối với cùng một lượng khí nhưng ở hai nhiệt độ tuyệt đối khác nhau. Hai phương trình ấy có khác nhau không ? Nếu có thì khác nhau ở chỗ nào ?
- Từ phương trình (47.5) suy ra phương trình (47.6) (trong trang 234) và ngược lại.
- Từ định luật Bô-i-lơ – Ma-ri-ốt và định luật Gay Luy-xác (47.5) suy ra phương trình trạng thái của chất khí.

BÀI TẬP

- Đối với một lượng khí xác định, quá trình nào sau đây là đẳng áp ?
 - Nhiệt độ không đổi, thể tích tăng.
 - Nhiệt độ không đổi, thể tích giảm.
 - Nhiệt độ tăng, thể tích tăng tỉ lệ thuận với nhiệt độ.
 - Nhiệt độ giảm, thể tích tăng tỉ lệ nghịch với nhiệt độ.
- Nén 10 l khí ở nhiệt độ 27°C để cho thể tích của nó chỉ còn là 4 l, vì nén nhanh khí bị nóng lên đến 60°C . Hồi áp suất của khí tăng lên bao nhiêu lần ? (Có thể đối chiếu với bài tập 3 ở bài Định luật Bô-i-lơ – Ma-ri-ốt).
- Một bình bằng thép dung tích 50 l chứa khí hiđrô ở áp suất 5 MPa và nhiệt độ 37°C . Dùng bình này bơm được bao nhiêu quả bóng bay, dung tích mỗi quả 10 l, áp suất mỗi quả $1,05 \cdot 10^5$ Pa ? Nhiệt độ khí trong bóng bay là 12°C .
- Một mol khí ở áp suất 2 atm và nhiệt độ 30°C thì chiếm một thể tích là bao nhiêu ?

Em có biết ?

Gay Luy-xác (Louis Joseph Gay - Lussac, 1778 – 1850, nhà vật lí và hoá học người Pháp) đã tìm ra định luật mang tên ông bằng thực nghiệm từ năm 1802 với cách phát biểu như sau : Thể tích V của một lượng khí có áp suất không đổi biến đổi tuyến tính theo nhiệt độ Xen-xi-út t của khí

$$V = V_0(1 + \beta t) \quad (47.6)$$

V và V_0 lần lượt là thể tích của khí ở nhiệt độ t và 0°C . Hệ số β (đọc là *bêta*) có giá trị không đổi và bằng $\frac{1}{273}$ độ^{-1} đối với mọi khoảng nhiệt độ và mọi chất khí khác nhau. Hệ số β gọi là *hệ số nở đẳng áp* của chất khí.

Hai công thức (47.5) và (47.6) tương đương với nhau, từ công thức nọ có thể suy ra công thức kia. Đó là hai cách diễn đạt khác nhau của định luật Gay Luy-xác. Học sinh chỉ cần nhớ và biết vận dụng công thức (47.5).

Ba định luật về chất khí đều được phát hiện bằng thực nghiệm : định luật Bô-i-lơ – Ma-ri-ốt vào năm 1662, định luật Sác-lơ vào năm 1787, định luật Gay Luy-xác vào năm 1802. Sau này Cla-pê-rôn gộp kết quả của ba định luật vào một phương trình (1834), đó là phương trình trạng thái. Phương trình này cho thấy rằng ba định luật về chất khí không độc lập đối với nhau, mỗi định luật có thể coi là hệ quả của hai định luật kia.

Từ thuyết động học phân tử của chất khí và thừa nhận nhiệt độ tỉ lệ với động năng chuyển động nhiệt của phân tử, người ta có thể chứng minh được phương trình trạng thái.