

CHƯƠNG 4: PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI KHÍ LÝ TƯỞNG

I. MỤC TIÊU BÀI HỌC:

Sau khi học xong bài học sinh viên phải:

- Nắm được nội dung các định luật cơ bản của chất khí lý tưởng, phương trình trạng thái khí lý tưởng và thuyết động học phân tử về chất khí.
- Vận dụng các kiến thức đã học giải các bài toán liên quan đến chất khí.

Để hoàn thành tốt bài học sinh viên cần thực hiện các nhiệm vụ sau:

- Đọc trước bài: Phương trình trạng thái khí lý tưởng
- Theo dõi bài giảng của giảng viên
- Hoàn thành các bài tập cuối chương
- Bài giảng đang trong quá trình hoàn thiện, nếu có nội dung chưa hiểu, sinh viên liên hệ với giảng viên phụ trách.

II. NỘI DUNG

4.1. CÁC ĐỊNH LUẬT THỰC NGHIỆM VỀ CHẤT KHÍ LÝ TƯỞNG.

4.1.1. Thông số trạng thái

Trạng thái của một hệ hoàn toàn được xác định nếu biết được các đặc tính của hệ (như nóng hay lạnh, đặc hay loãng và bị nén ít hay nhiều... Mỗi đặc tính như vậy đều được đặc trưng bằng một đại lượng vật lý như nhiệt độ, thể tích, khối lượng, áp suất. Những đại lượng kể trên được gọi là các thông số trạng thái của chất khí.

- **Áp suất:** Là một đại lượng vật lý có độ lớn bằng lực tác dụng vuông góc lên một đơn vị diện tích.

$p = \frac{F}{S}$, với F là thành phần lực tác dụng vuông góc lên diện tích S .

Đơn vị hệ SI: $1\text{Pa (pascal)} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$

Một số đơn vị khác của áp suất: atm; at; mmHg.

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

$1\text{mmHg (tor)} = \text{áp suất gây bởi trọng lượng của cột Hg cao } 1\text{mm},$

$$1\text{mmHg} = 13,6 \text{ mmH}_2\text{O}.$$

$$1\text{atm} = 1,0^{13} \cdot 10^5\text{Pa}, 1\text{mmHg} = 133,32\text{ Pa}, 1\text{ Bar} = 10^5\text{Pa}$$

- **Nhiệt độ:** Đặc trưng cho mức độ nóng hay lạnh của hệ, bản chất của nhiệt độ vật thể là do chuyển động nhiệt hỗn độn của các phân tử.

Xác định nhiệt độ người ta cần một dụng cụ gọi là nhiệt kế. Ta cho nhiệt kế tiếp xúc trực tiếp với vật cần đo nhiệt độ, khi có sự cân bằng nhiệt giữa vật và nhiệt kế thì giá trị chỉ trên nhiệt kế chính là nhiệt độ ta cần đọc.

Các thang nhiệt giai để đo nhiệt độ:

Thang độ bách phân: Được lấy mốc 0°C là nhiệt độ của nước đá đang tan và 100°C là nhiệt độ điểm sôi của nước ở áp suất chuẩn, chia khoảng đó thành 100 phần bằng nhau, mỗi phần được gọi là 1°C , $^\circ\text{C}$ là đơn vị nhiệt độ trong nhiệt giai Celsi.

Thang độ tuyệt đối: $T(\text{K})$ là nhiệt độ trong nhiệt giai Kelvin (thang độ tuyệt đối). Biểu thức quy đổi: $T(\text{K}) = t(^\circ\text{C}) + 273,15$,

Thường lấy $T(\text{K}) = t(^\circ\text{C}) + 273$.

Thang độ Fahrenheit: Người ta lấy nhiệt độ của nước đá đang tan là 32°F và nhiệt độ sôi của nước là 212°F , công thức chuyển đổi: $T(^\circ\text{F}) = \frac{9}{5} t(^\circ\text{C}) + 32^\circ$.

- **Thể tích:** Chất khí chiếm thể tích của toàn bộ bình chứa khí.

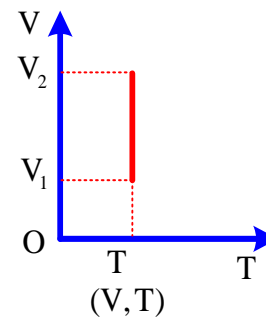
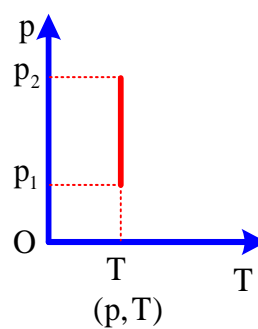
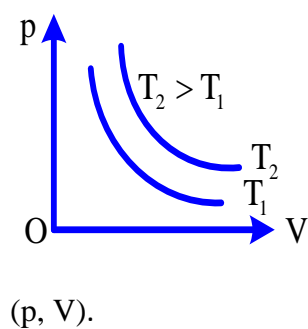
4.1.2. Các định luật cơ bản của chất khí.

Điều kiện áp dụng: Chất khí là khí lý tưởng, khối lượng của khí không thay đổi ($m=\text{const}$) trong quá trình biến đổi trạng thái.

• **Định luật Boyle-Mariotte:**

Định luật: Trong quá trình đẳng nhiệt (nhiệt độ không đổi), tích số giữa áp suất và thể tích của khối lượng khí xác định là một hằng số.

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



• **Định luật Charles:**

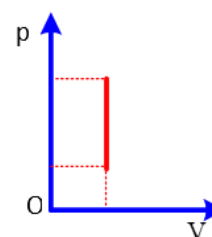
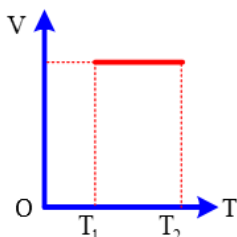
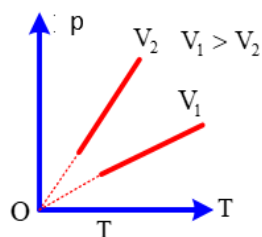
Với một lượng khí có thể tích không đổi thì áp suất phụ thuộc vào nhiệt độ $P = p_0 (1 + \gamma t)$. Trong đó γ có giá trị như nhau với mọi chất khí, mọi nhiệt độ và được gọi là hệ số tăng thể tích. $\gamma = \frac{1}{273}$

Khi $t = -\frac{1}{\gamma} = -273^\circ$ thì $p = 0$, điều này là không thể đạt được.

Vậy -273°C gọi là độ không tuyệt đối. Vậy lấy -273°C làm độ không gọi là thang nhiệt độ tuyệt đối và gọi là nhiệt giai Ken – Vin: $T = t + 273^\circ$

+ Vậy $p = p_0 \left(1 + \frac{T - 273}{273} \right) = \frac{p_0 T}{273} \Rightarrow \frac{p}{T} = \frac{p_0}{273} = \text{const}$

+ Trong quá trình đẳng tích của một lượng khí nhất định, áp suất tỉ lệ thuận với nhiệt độ tuyệt đối hay $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} = \dots \text{const}$.



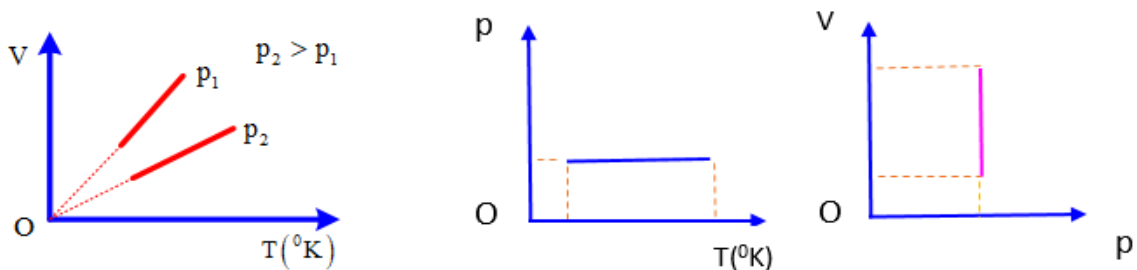
Định luật: Trong quá trình đẳng tích (thể tích không đổi) của một khối khí, áp suất tỉ lệ thuận với nhiệt độ của khối khí đó.

$$\frac{p}{T} = \text{const.}$$

• **Định luật Gay-Lussac:**

Một quá trình biến đổi trạng thái mà áp suất của khối khí không thay đổi gọi là quá trình đẳng áp.

$$\frac{V}{T} = \text{const}$$



Lưu ý: Các định luật thực nghiệm chỉ đúng với chất khí ở nhiệt độ và áp suất thông thường của phòng thí nghiệm. Nếu áp suất khối khí quá lớn hoặc nhiệt độ khối khí quá thấp thì các chất khí không tuân theo các định luật đó nữa.

4.1.3. Hệ thức pVT chất khí lý tưởng

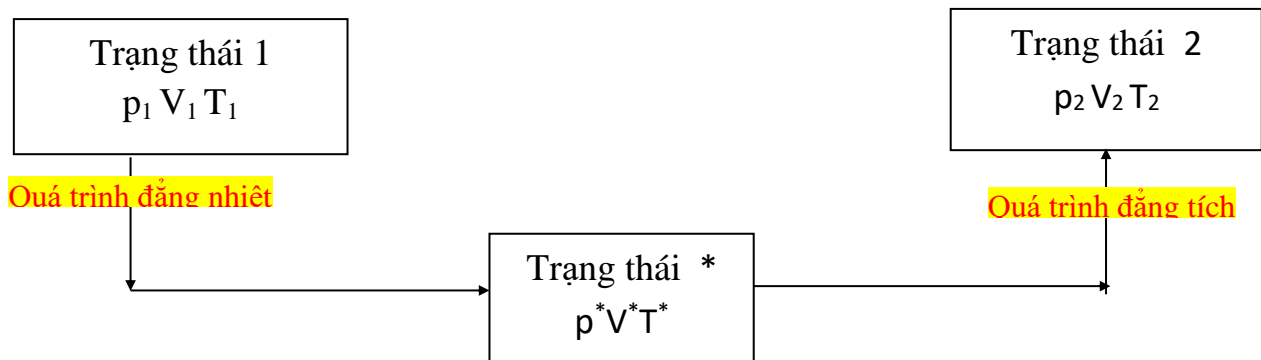
Khái niệm về khí lý tưởng:

Khí lý tưởng là mẫu khí hoàn toàn tuân theo các định luật thực nghiệm: mỗi phân tử coi như chất điểm, chuyển động hỗn loạn không ngừng và chỉ tương tác với nhau khi va chạm.

Đặc điểm khí lý tưởng

- Các phân tử khí lý tưởng có kích thước không đáng kể (bỏ qua)
- Thể tích bình chứa chính là thể tích dành cho chuyển động của các phân tử.
- Các phân tử khí lý tưởng không tương tác với nhau, va chạm giữa chúng là hoàn toàn đàn hồi do vậy áp suất chất khí bằng áp suất va chạm các phân tử khí với thành bình.

Thành lập phương trình trạng thái: Xét quá trình biến đổi trạng thái của một khối lượng khí từ trạng thái 1 (p_1, V_1, T_1) sang trạng thái 2 (p_2, V_2, T_2) thông qua một trạng thái trung gian * như sơ đồ.



Định luật *Boyle-Marriott* viết cho quá trình thứ nhất :

$$p_1 V_1 = p^* V_2 \quad \text{rút ra} \quad p^* = \frac{p_1 V_1}{V_2}.$$

Định luật *Gay-Lussac* viết cho quá trình thứ hai:

$$\frac{p^*}{T^*} = \frac{p_2}{T_2} = \frac{p_2}{T_1} \quad \text{rút ra} \quad \frac{p_1 V_1}{V_2 T^*} = \frac{p_2}{T_2}.$$

Chuyển các đại lượng có cùng chỉ số sang cùng một vế, ta được:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \frac{p V}{T} = \text{const.} \text{ là hệ thức } (p, V, T) \text{ đối với khí lý tưởng.}$$

Kết luận: Đối với một khối lượng khí nhất định, tích thể tích và áp suất chia cho nhiệt độ tuyệt đối đều bằng nhau và có trị số không đổi.

4.2. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA CHẤT KHÍ LÝ TƯỞNG

4.2.1. Phương trình trạng thái đối với một kmol

Ở nhiệt độ và áp suất giống nhau, một kmol các chất khí khác nhau đều chiếm cùng một thể tích p_0, V_0, T_0 là thông số trạng thái của một kmol khí ở điều kiện tiêu chuẩn:

$$p_0 = 1,033 \text{ at} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2, V_0 = 22,4 \text{ m}^3, T_0 = 273 \text{ K}.$$

$$\frac{p_0 V_0}{T_0} = R;$$

R được gọi là hằng số khí lý tưởng,

$$\text{trị số của R là: } R = \frac{1,013 \cdot 10^5 \cdot 22,4}{273} = 8,31 \cdot 10^3 \text{ J / kmol.K} = 8,31 \text{ J/mol.K},$$

$$R = \frac{1,033 \cdot 22,4}{273} = 0,084 \text{ at.m}^3 / \text{kmol.K} = 0,084 \text{ at.lit/mol.K}.$$

Vậy phương trình trạng thái cho một kmol khí là : $pV = RT$.

4.2.2. Phương trình trạng thái đối với một khối lượng khí bất kỳ

Nếu với khối lượng m khí bất kỳ thể tích của nó tăng lên $\frac{m}{M}$ lần, trong đó M là khối lượng một kmol.

$$pV = \frac{m}{M} RT.$$

Phương trình 1.8 gọi là phương trình Clapeyron- Mendeleev biểu diễn cho một khối lượng khí (m) bất kì.

4.2.3. Áp dụng:

Ví dụ 1: Khi nổi lên từ đáy hồ thì thể tích của một bọt khí tăng gấp rưỡi. Tính độ sâu của hồ. Biết áp suất khí quyển là 75 cmHg, coi nhiệt độ ở đáy hồ và mặt nước là như nhau.

Hướng dẫn: Xét khí chứa bên trong bọt khí, coi nhiệt độ khí không đổi, có thể áp dụng định luật **Định luật Boyle-Mariotte:**

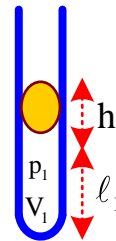
Gọi h là độ sâu của hồ

Khi ở đáy hồ thể tích và áp suất V_1 : $p_1 = p_0 + \frac{h}{13,6}$ (cmHg)

Khi ở mặt hồ thể tích và áp suất: $V_2 = 1,5V_1$; $p_2 = p_0$ (cmHg)

Ta có: $p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow \left(p_0 + \frac{h}{13,6} \right) V_1 = p_0 \cdot 1,5V_1 \Rightarrow h = 510 \text{ cm} = 5,1 \text{ m}$

Ví dụ 2: Trong một ống nhỏ dài, một đầu kín, một đầu hở, tiết diện đều, ban đầu đặt ống thẳng đứng miệng ống hướng lên, trong ống về phía đáy có cột không khí dài 30cm và được ngăn cách với bên ngoài bằng cột thủy ngân dài $h = 15 \text{ cm}$. Áp suất khí quyển 76cmHg và nhiệt độ không đổi. Tính chiều cao của cột không khí trong ống của các trường hợp.



- Ống thẳng đứng miệng ở dưới
- Ống đặt nghiêng góc 30° so với phương ngang, miệng ở trên
- Ống đặt nằm ngang

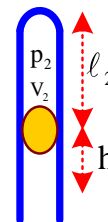
Hướng dẫn: Xét khối khí chứa bên trong giới hạn bởi giọt thủy ngân và ống, nhiệt độ khối khí không đổi, có thể áp dụng định luật **Định luật Boyle-Mariotte**:

- Ống thẳng đứng miệng ở dưới

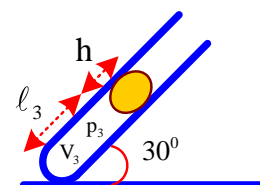
Ta có: $p_1 V_1 = p_2 V_2$

+ Với $\begin{cases} p_1 = p_0 + h = 76 + 15 = 91 \text{ (cmHg)} \\ V_1 = \ell_1 S = 30 \cdot S \end{cases}; \begin{cases} p_2 = p_0 - h = 76 - 15 = 61 \text{ (cmHg)} \\ V_2 = \ell_2 S \end{cases}$

$$\Rightarrow 91 \cdot 30 \cdot S = 61 \ell_2 \cdot S \Rightarrow \ell_2 = 44,75 \text{ cm}$$



- Ống đặt nghiêng góc 30° so với phương ngang, miệng ở trên
- Cột thủy ngân có độ dài là h nhưng khi đặt nghiêng ra thì độ cao của cột thủy ngân là



$$h' = h \cdot \sin 30^\circ = \frac{h}{2}$$

+ Ta có: $p_1 \cdot V_1 = p_3 \cdot V_3$

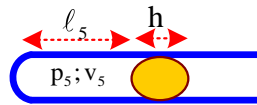
+ Với: $\begin{cases} p_3 = p_0 + h' = 76 + 7,5 = 83,5 \text{ (cmHg)} \\ V_3 = \ell_3 \cdot S \end{cases}$

c. Ống đặt nằm ngang $p_5 = p_0$

Ta có

$$p_1 V_1 = p_5 V_5 \Rightarrow 91 \cdot 30 \cdot S = 76 \cdot \ell_5 \cdot S \Rightarrow \ell_5 = 35,9 \text{ cm}$$

$$\Rightarrow 91 \cdot 30 \cdot S = 83,5 \cdot \ell_3 \cdot S \Rightarrow \ell_3 = 32,7 \text{ (cm)}$$



Ví dụ 3: Một lượng khí Oxy $m=500\text{gam}$, đựng trong bình có dung tích bằng 2lít, nhiệt độ 27°C . Tính áp suất của khí còn lại trong bình khi một nửa lượng khí đó đã thoát ra khỏi bình và nhiệt độ nâng lên 87°C . Cho biết Oxy có $M=32\text{kg/kmol}$.

Do khối lượng khí thay đổi nên không áp dụng được các định luật thực nghiệm, vận dụng phương trình **Phương trình Mendeleev - Clapeyron**

Xét khối khí ban đầu: $p_1 V_1 = \frac{m_1}{M} RT_1 \rightarrow p_1 = \frac{m_1}{M V_1} RT_1$

Xét khối khí lúc sau: $p_2 V_2 = \frac{m_2}{M} RT_2 \rightarrow p_2 = \frac{m_2}{M V_2} RT_2 = \frac{m_1}{2 M V_1} RT_2$

Vì có $V_1 = V_2 = V$ và $m_1 = 2m_2$,

Chia hai vế ta được $p_2 = \frac{p_1 T_2}{2 T_1}$,

trong đó $p_1 = \frac{0,5 \cdot 8,31 \cdot 10^3 \cdot 300}{32 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 19,5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.

Thay vào trên $p_2 = \frac{19,5 \cdot 10^6 \cdot 360}{600} = 11,7 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$.

Ví dụ 4: Một quả bóng có dung tích 2,5ℓ. Người ta bơm không khí ở áp suất khí quyển 10^5 N/m^2 vào bóng. Mỗi lần bơm được 125 cm^3 không khí. Hỏi áp suất của không khí trong quả bóng sau 40 lần bơm? Coi quả bóng trước khi bơm không có không khí và trong thời gian bơm nhiệt độ của không khí không đổi.

Hướng dẫn:

Xét quá trình biến đổi của lượng không khí được bơm vào quả bóng

Trạng thái 1: $\begin{cases} V_1 = 125 \cdot 40 = 5000 \text{ cm}^3 = 5 \ell \\ p_1 = p_0 = 10^5 \text{ N/m}^2 \end{cases}$

Trạng thái 2: $\begin{cases} V_2 = 2,5 \ell \\ p_2 = ? \end{cases}$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \Rightarrow p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{10^5 \cdot 5}{2,5} = 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Ví dụ 5: Đun nóng đẳng tích một lượng khí tăng thêm 80° K thì áp suất tăng thêm 25% so với áp suất ban đầu. Tìm nhiệt độ ban đầu của khối khí.

Hướng dẫn:

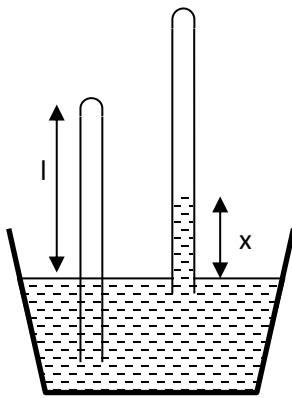
Ta có: $T_2 = T_1 + 80; p_2 = p_1 + \frac{25}{100} p_1 = 1,25 p_1$

Áp dụng công thức quá trình đẳng nhiệt:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \Rightarrow T_1 = \frac{T_2 \cdot p_1}{p_2} = \frac{(T_1 + 80) \cdot p_1}{1,25 p_1} = \frac{T_1 + 80}{1,25} \Rightarrow T_1 = 320 \text{ K}$$

+ Mà $T_1 = 273 + t \Rightarrow t = 47^\circ \text{ C}$

Ví dụ 6: 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 mực nước trong và ngoài ống bằng nhau, chiều cao của cột khí còn lại trong ống là 20 cm.



Sau đó người ta tịnh tiến ống dịch lên trên so với mặt nước 4cm . Hỏi mực nước trong ống dâng lên bao nhiêu? Biết rằng áp suất khí quyển là 760mmHg và nhiệt độ xung quanh không thay đổi.

Hướng dẫn:

Gọi độ cao cột nước trong ống là x

Áp suất cột khí trong ống sau khi nước dâng lên là:

$$p = (p_0 - x)(\text{cmH}_2\text{O})$$

Định luật **Boyle-Mariotte** cho khối khí bị giam trong ống.

$$p_0 l = p(l + 4 - x) = (p_0 - x)(l + 4 - x)$$

Thay số: $p_0 = 760\text{mmHg} = 1033\text{cmH}_2\text{O}$, $l = 20\text{cm}$

$$x^2 - 1057x + 4132 = 0 \rightarrow x = 3,95\text{cm}; (x = 1053\text{cm} > (l+4) \text{ loại.})$$

Ví dụ 7: Có 10g khí H_2 ở áp suất 8,2at đựng trong một bình thể tích 20l.

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

Hướng dẫn:

- Nhiệt độ khối khí $T_1 = \mu p_1 V_1 / R = 388\text{K}$.
- Quá trình đẳng tích: $p/T = \text{const} \Rightarrow p_1/T_1 = p_2/T_2$

Vậy, nhiệt độ khối khí $T_2 = T_1 p_2 / p_1 = 425\text{K}$ (lấy 1at=9,81Pa)

Ví dụ 8: Có 40g khí O_2 chiếm thể tích 3 lít ở áp suất 10at.

- Tính nhiệt độ của khối khí
- Cho khối khí giãn nở đẳng áp tới thể tích 10l. Hỏi nhiệt độ của khối khí sau khi giãn nở.

Hướng dẫn:

a. Phương trình trạng thái khí lý tưởng

$$pV = (m/\mu) RT$$

Nhiệt độ của khối khí : $T_1 = \mu p_1 V_1 / R = 292,5K$.

b. Quá trình biến đổi đẳng áp; nhiệt độ của khối khí: $T_2 = T_1 V_2 / V_1 = 390K$

Ví dụ 9: Có 10 g khí đựng trong một bình, áp suất $10^7 Pa$. Người ta lấy bình ra một lượng khí cho tới khi áp suất của khí còn lại bằng $2,5 \cdot 10^6 Pa$. Coi nhiệt độ không khí không đổi. Tìm lượng khí đã lấy ra?

Hướng dẫn

Phương trình trạng thái khí lý tưởng:

$$p_1 V = (m_1/\mu) RT, \quad p_2 V = (m_2/\mu) RT,$$

$$\frac{p_1}{m_1} = \frac{p_2}{m_2} = \frac{p_1 - p_2}{m_1 - m_2}$$

Khối lượng khí đã lấy ra:

$$\Delta m = m_1 - m_2 = \left(1 - \frac{p_2}{p_1}\right) m_1 = 7,5kg$$

Ví dụ 10: Có 10g khí oxi ở nhiệt độ $10^\circ C$, áp suất 3at. Sau khi hơi nóng đẳng áp, khối khí chiếm thể tích 10l. Tìm

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

Hướng dẫn

Thể tích khí trước khi giãn nở: $V_1 = \mu p / RT_1 \approx 2,4\ell$

a. Nhiệt độ khí sau khi giãn nở: $T_2 = T_1 V_2 / V_1 \approx 1170K$

b. Khối lượng riêng của khí trước khi giãn nở: $\rho_1 = \frac{m_1}{V_1} = 4,14kg / m^3$

c. Khối lượng riêng của khí sau khi giãn nở: $\rho_1 = \frac{m_1}{V_2} = 1 \text{ kg/m}^3$

Ví dụ 11: Một bình chứa một khí nén ở nhiệt độ 27°C và áp suất 40at . Tìm áp suất của khí khi đã có một khối lượng khí thoát ra khỏi bình và nhiệt độ hạ xuống tới 12°C .

Hướng dẫn:

Phương trình trạng thái khí lý tưởng:

$$\left. \begin{aligned} p_1 V &= \frac{m}{\mu} RT \\ p_2 V &= \frac{m/2}{\mu} R(T - \Delta T) \end{aligned} \right\} \rightarrow p_2 = \frac{T - \Delta T}{2T} p_1 \approx 19\text{at}$$

4.3. THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ VỀ CHẤT KHÍ

4.3.1. Cấu tạo phân tử các chất

- Vật chất đều được cấu tạo từ các hạt rất nhỏ bé dạng phân tử, nhỏ hơn là nguyên tử và nhỏ hơn nữa là các hạt vi mô (như các hạt nucleon).
- Số lượng các phân tử là vô cùng lớn, các chất khác nhau thì thể tích riêng của các phân tử cũng khác nhau, tuy nhiên trong một mol phân tử của bất kì một chất nào cũng chứa một số lớn các phân tử như nhau là $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}$ phân tử (N_A gọi là số Avogadro).
- Kích thước các phân tử vô cùng nhỏ bé cỡ 10^{-10}m , giữa chúng có khoảng cách.
- Các phân tử tương tác lẫn nhau bằng các lực hút hoặc các lực đẩy gọi là lực liên kết. Lực liên kết giữa các phân tử chất rắn là lớn nhất và chất khí là yếu nhất.
- Ở thể khí, lực tương tác giữa các phân tử rất yếu nên các phân tử chuyển động hoàn toàn hỗn loạn. Chất khí không có hình dạng và thể tích riêng.
- Ở thể rắn, lực tương tác giữa các phân tử rất mạnh nên giữ được các phân tử ở các vị trí cân bằng xác định, làm cho chúng chỉ có thể dao động xung quanh các vị trí này. Các vật rắn có thể tích và hình dạng riêng xác định.
- Ở thể lỏng, lực tương tác giữa các phân tử lớn hơn ở thể khí nhưng nhỏ hơn ở thể rắn, nên các phân tử dao động xung quanh vị trí cân bằng có thể di

chuyển được. Chất lỏng có thể tích riêng xác định nhưng không có hình dạng riêng mà có hình dạng của phần bình chứa nó.

4.3.2. Nội dung thuyết động học phân tử

- Các chất khí có cấu trúc gián đoạn gồm số lớn các phân tử.
- Các phân tử luôn ở trạng thái chuyển động hỗn loạn và không ngừng.
- Kích thước riêng của các phân tử rất nhỏ bé so với khoảng cách giữa chúng, các phân tử được coi như một chất điểm.
- Các phân tử không tương tác lẫn nhau, trừ lúc chúng va chạm vào nhau hoặc va chạm vào thành bình và chạm giữa chúng là hoàn toàn đàn hồi tuân theo các định luật cơ học của Newton.

4.3.3. Phương trình thuyết động học phân tử.

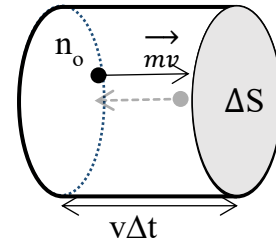
Bài toán: Xét một khối lượng khí đựng trong một bình lập phương có mật độ phân tử là n_0 , các phân tử chuyển động hỗn loạn với vận tốc trung bình là v . Xây dựng công thức xác định áp suất của khí trong bình?

Khi các phân tử đập vào thành bình thì gây nên áp suất đối với thành bình và đó cũng là áp suất của chất khí bên trong bình chứa. Gọi F là lực tác dụng vuông góc vào diện tích ΔS của thành bình

Theo biểu thức định nghĩa về áp suất $p = \frac{F}{\Delta S}$, trong đó F là cường độ lực tổng hợp của n phân tử tác dụng vuông góc lên diện tích ΔS trong khoảng thời gian Δt . Ta có $F = nf$ (f là cường độ lực do một phân tử tác dụng vào thành bình).

Để tìm số phân tử va chạm lên diện tích ΔS ta xét một hình trụ đứng có diện tích đáy là ΔS và đường sinh là bằng $v\Delta t$. Rõ ràng sau một khoảng thời gian Δt chỉ có các phân tử nằm trong thể tích trên có khả năng chuyển động tới va chạm vào thành bình. Song do chuyển động của các phân tử là hỗn loạn theo mọi hướng và không ưu tiên theo một hướng nào, nên số phân tử va chạm vào thành bình chỉ bằng $1/6$ số phân tử có trong thể tích đó. Ta có:

- Thể tích hình trụ $\Delta V = \Delta S \cdot v \Delta t$;
- Số phân tử N có trong thể tích ΔV là $N = n_o \cdot \Delta V = n_o \cdot \Delta S \cdot v \Delta t$;
- Số phân tử tới và chạm vào thành bình $\Delta N = \frac{N}{6} = \frac{n_o \cdot v \cdot \Delta t \cdot \Delta S}{6}$ hạt.



Chuyển động của phân tử m vận tốc v theo phương x đập vào yếu tố ΔS

Khi một phân tử đến và chạm vào thành bình nghĩa là nó đã tác dụng lên thành bình một lực. Theo định luật III Newton nó cũng bị thành bình tác dụng trở lại một lực trực đối. Do đó để tìm lực tác dụng lên thành bình ta tìm trị số của lực tác dụng lên phân tử khí.

Phân tử khí coi là chất điểm có khối lượng m chuyển động với vận tốc v chịu tác dụng của lực F trong thời gian Δt khi va chạm là hoàn toàn đàn hồi nên sau va chạm vận tốc phân tử đổi chiều nhưng giá trị không đổi.

Theo định lý về xung lượng $\vec{f} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t} = \frac{m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1}{\Delta t}$,

mà $\vec{v}_2 = -\vec{v}_1$ và có trị số bằng v do đó $f = \frac{2mv}{\Delta t}$.

Vì trong khoảng thời gian Δt có ΔN phân tử đến đập vào thành bình, nên lực tổng cộng sẽ là: $F = \Delta N \cdot f = \frac{n_o \cdot \Delta S \cdot v \cdot \Delta t}{6} \cdot \frac{2mv}{\Delta t} = \frac{n_o}{3} \cdot mv^2 \cdot \Delta S$ nên

$$p = \frac{F}{\Delta S} = n_o \cdot \frac{mv^2}{3} = \frac{2}{3} n_o \frac{mv^2}{2} = \frac{2}{3} n_o \cdot W.$$

W_d là động năng của chuyển động tịnh tiến của phân tử khí. Trong thực tế các phân tử chuyển động với các vận tốc khác nhau do đó áp suất trung bình của các phân tử khí va chạm lên thành bình phải tính theo trung bình bình phương của vận tốc các phân tử khí

$$\overline{v^2} = \frac{1}{n} (v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2);$$

$$p = \frac{2}{3} n_o \overline{W_d}.$$

Nhận xét: Mối quan hệ giữa áp suất với mật độ và động năng tịnh tiến trung bình của phân tử khí gọi là **phương trình cơ bản** của thuyết động học phân tử khí.

4.3.4. Hệ quả

Giải thích các định luật chất khí bằng thuyết động học phân tử.

Tính động năng tịnh tiến phân tử: Xét một khối lượng khí bất kì:

$$pV = nRT \quad p = n \frac{RT}{V} = \frac{2}{3} n_0 \bar{W} \text{ đ} \rightarrow \bar{W} \text{ đ} = \frac{3}{2} \frac{nRT}{n_0 V} = \frac{3}{2} \frac{nRT}{N} = \frac{3}{2} \frac{RT}{N_A}, \text{ đặt } k = \frac{R}{N_A}$$

$$\bar{W} \text{ đ} = \frac{3}{2} kT \quad (\text{với } k \text{ là hằng số Boltzmann}).$$

$$\text{Trị số của } k \text{ là: } k = \frac{R}{N_A} = \frac{8,31 \cdot 10^3 \text{ J / Kmol.K}}{6,023 \cdot 10^{26} \frac{1}{\text{Kmol}}} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J / K}.$$

Nhận xét: Khi $T=0$ động năng trung bình các phân tử bằng 0 các phân tử không chuyển động mâu thuẫn với thuyết động học phân tử. Vậy không có độ không tuyệt đối.

Tính vận tốc căn quân phương:

$$\bar{W} \text{ đ} = \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} \frac{RT}{N_A} \rightarrow \overline{v^2} = \frac{3RT}{N_A m} = \frac{3RT}{M} \quad (\text{m: khối lượng 1 phân tử và } N_A \cdot m = M)$$

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \text{ gọi } \sqrt{\overline{v^2}} \text{ vận tốc căn quân phương.}$$

Nhận xét: Khi nhiệt độ tăng vận tốc các phân tử tăng lên

Tính mật độ phân tử: $p = \frac{2}{3} n_0 \cdot \bar{W} \text{ đ}.$

$$\text{Mà } \bar{W} \text{ đ} = \frac{3}{2} kT \text{ nên } p = n_0 kT \text{ hay } n_0 = \frac{p}{kT}.$$

Nhận xét: Mọi chất khí có mật độ phân tử bằng nhau dưới cùng áp suất và nhiệt độ.

Xét trong điều kiện tiêu chuẩn: $p = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, $T_0 = 273 \text{ K}$ thì mật độ là:

$$n_0 = \frac{p_0}{kT_0} = \frac{1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2}{1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K} \cdot 273 \text{ K}} = 2,687 \cdot 10^{25} \text{ phân tử/m}^3.$$

Ví dụ: Trong phòng học có dạng hình hộp chữ nhật kích thước 40m x 30m x 3m. Nhiệt độ 27°C, áp suất 1atm. Coi hỗn hợp khí tự nhiên như là khí đa nguyên tử có $\mu = 29 \text{ g/mol}$

- Tính mật độ phân tử khí trong phòng
- Trong phòng chứa bao nhiêu phân tử khí
- Vận tốc căn quân phương của các phân tử khí là bao nhiêu

Hướng dẫn:

a. $n_0 = \frac{p}{kT} = \frac{1,01325 \cdot 10^5}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300} = 2,45 \cdot 10^{25} \text{ (phân tử/m}^3\text{)}$

b. $N = n_0 \cdot V = \frac{pV}{kT} = \frac{1,01325 \cdot 10^5 \cdot 40 \cdot 30 \cdot 3}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300} = 8,81 \cdot 10^{28} \text{ phân tử}$

c. $\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 10^3 \cdot 300}{29}} = 508 \text{ m/s}$

BÀI TẬP CUỐI CHƯƠNG

Bài 1. Có 10 gam khí ôxy ở áp suất 3at và nhiệt độ 10°C, được giãn nở đẳng áp đến thể tích 10 lít. Coi khối khí oxi là lý tưởng. Hãy tính:

- Thể tích của khối khí trước khi hơ nóng.
- Nhiệt độ của khối khí sau khi hơ nóng.

Cho biết khối khí có khối lượng kmol phân tử là $M = 32 \text{ kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$.

Bài 2. Có 10 gam khí hiđro ở áp suất 8,2at đựng trong một bình có thể tích 20 lít. Cho $M = 2 \text{ kg} \cdot \text{kmol}^{-1}$.

- Tính nhiệt độ của khối khí.
- Hơ nóng đẳng tích của khối khí này tới khi áp suất của nó bằng 9 at. Tính nhiệt độ của khối khí khi đó.

Bài 3. Có 40 gam khí ôxy, thể tích 3 lít, áp suất 10at.

a. Tính nhiệt độ của khối khí.

b. Cho khối khí dẫn nổ đẳng áp tới thể tích 4 lít. Hỏi nhiệt độ của khối khí sau khi dẫn nổ?

Bài 4. 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 mực nước trong và ngoài ống bằng nhau, chiều cao của cột khí còn lại trong ống là 20 cm.

Sau đó người ta tịnh tiến ống dịch lên trên so với mặt nước 4cm . Hỏi mực nước trong ống dâng lên bao nhiêu? Biết rằng áp suất khí quyển là 760mmHg và nhiệt độ xung quanh không thay đổi.

Bài 5. Một bình chứa khí O_2 nén ở áp suất 15MPa và nhiệt độ $37^\circ C$. Tổng khối lượng cả khí và bình là 50kg. Sau một thời gian sử dụng áp suất khí trong bình còn là 5MPa và nhiệt độ $7^\circ C$. Khi đó khối lượng cả khí và bình còn là 49kg.

a. Tính khối lượng của khí O_2 còn lại trong bình.

b. Tính thể tích của bình chứa. Biết $M_{(oxy)} = 32g/mol$.

Bài 6. Một bình thể tích 10ml chứa H_2 ở nhiệt độ $7^\circ C$, áp suất 3MPa. Bình hở nên khí thoát ra ngoài. Khí H_2 còn lại trong bình có nhiệt độ $17^\circ C$, áp suất như cũ. Tìm lượng khí H_2 thoát ra ngoài.

Bài 7. Bình A có dung tích $V_1 = 3l$ chứa một chất khí ở áp suất $p_1 = 2at$. Bình B có dung tích $V_2 = 4l$ chứa một chất khí ở áp suất $p_2 = 1at$. Nối hai bình lại với nhau bằng một ống dẫn nhỏ. Biết rằng nhiệt độ hai bình như nhau và không xảy ra phản ứng hoá học. Hãy tính áp suất của hỗn hợp khí.

