

CHƯƠNG 4

CÁC ĐỊNH LUẬT THỰC NGHIỆM VỀ CHẤT KHÍ

- 1. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG**
 - 1.1. Khí lý tưởng**
 - 1.2. Các định luật thực nghiệm của khí lý tưởng**
 - 1.3. Phương trình trạng thái khí lý tưởng**
- 2. THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ**
- 3. NỘI NĂNG KHÍ LÝ TƯỞNG**
 - 3.1. Bậc tự do**
 - 3.2. Nội năng khí lý tưởng**

1. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

1.1. KHÍ LÝ TƯỞNG

- **Khí lý tưởng** là chất khí thỏa mãn những điều kiện sau:
 - ✓ Các phân tử khí xem như chất điểm. Chúng chỉ chuyển động tịnh tiến, không quay hay dao động.
 - ✓ Các phân tử khí không tương tác với nhau (bỏ qua tương tác hấp dẫn và tương tác điện từ giữa chúng).
- Các thông số trạng thái của khí lý tưởng:
 - ✓ **Áp suất:** là đại lượng vật lý có độ lớn bằng lực tác dụng vuông góc lên một đơn vị diện tích. Đơn vị đo: N/m^2 , atm, mmHg.

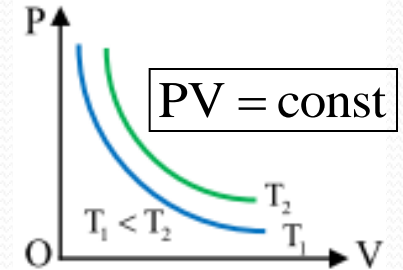
$$1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 = 760 \text{ mmHg}$$

- ✓ **Thể tích:** đơn vị đo là m^3 .
- ✓ **Nhiệt độ:** đặc trưng cho mức độ chuyển động hỗn loạn của các phân tử khí. Đơn vị đo: $^{\circ}K$, $^{\circ}C$, $^{\circ}F$.

$$^{\circ}F = 1,8 ^{\circ}C + 32 ^{\circ}, ^{\circ}K = ^{\circ}C + 273^{\circ}$$

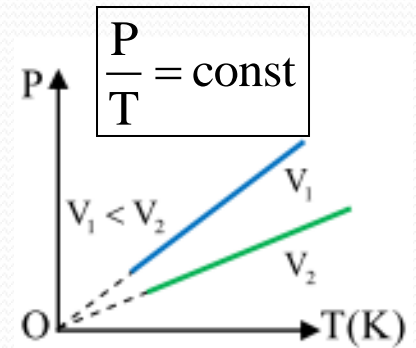
1.2. CÁC ĐỊNH LUẬT THỰC NGHIỆM CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

a) **Định luật Boyle – Mariotte:** với một khối khí xác định ($m = \text{const}$), trong quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$), tích áp suất và thể tích của nó là hằng số.



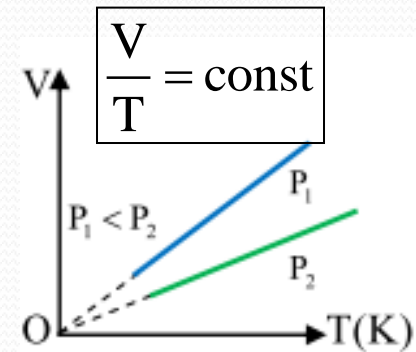
b) **Định luật Gay – Lussac:**

- Với một khối khí xác định, trong quá trình đẳng tích ($V = \text{const}$), áp suất tỷ lệ với nhiệt độ tuyệt đối.
- Với một khối khí xác định, trong quá trình đẳng áp ($P = \text{const}$), thể tích tỷ lệ với nhiệt độ tuyệt đối.



c) **Định luật Dalton:** áp suất của hỗn hợp khí bằng tổng áp suất riêng phần.

$$P = \sum_{i=1}^n P_i$$



1.3. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI KHÍ LÝ TƯỞNG

- Phương trình biểu diễn mối liên hệ giữa các thông số trạng thái (P, V, T) của khí lý tưởng gọi là phương trình trạng thái của khí lý tưởng:

$$PV = nRT$$

Trong đó: P – áp suất của khối khí (N/m²);
V – thể tích của khối khí (m³);
T – nhiệt độ của khối khí (K);
n – số kmol khối khí;
R – hằng số khí lý tưởng, $R = 8,31.10^3 \text{ J / kmol.K}$.

- Vì $n = m/\mu$ nên PT trạng thái còn được viết là

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

Trong đó: m – khối lượng của khối khí (kg);
 μ - khối lượng của 1 kmol khí (kg).

BÀI TẬP VÍ DỤ 1

Một khối khí lý tưởng được chứa trong bình kín ở nhiệt độ 300 K và áp suất 40 atm. Cho một nửa lượng khí thoát ra khỏi bình thì áp suất còn 19 atm. Tìm nhiệt độ của khối khí còn lại trong bình.

HƯỚNG DẪN GIẢI

- Đây không phải là quá trình đẳng tích. PT trạng thái của khối khí trong bình trước và sau khi khí thoát ra lần lượt là:

$$P_1 V = n_1 R T_1 \quad (1)$$

$$P_2 V = n_2 R T_2 \quad (2)$$

- Trong đó: $n_1 = 2n_2$
- Lấy (1) chia (2) ta được:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{n_1 T_1}{n_2 T_2} = 2 \frac{T_1}{T_2} \rightarrow T_2 = \frac{2P_2 T_1}{P_1} = \frac{2 \cdot 19 \cdot 300}{40} = 285 \text{ K}$$

2. THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ

- Thuyết động học phân tử về chất khí dựa trên các giả thuyết sau:
 - ✓ Các chất có cấu tạo gián đoạn và gồm một số rất lớn các phân tử.
 - ✓ Các phân tử chuyển động hỗn loạn không ngừng (chuyển động Brown).
 - ✓ Chuyển động phân tử càng mạnh thì nhiệt độ khối khí càng cao.
 - ✓ Bỏ qua kích thước và tương tác của các phân tử khí.
- Thuyết động học phân tử chỉ đúng với khí lý tưởng. Tuy nhiên, nếu khí không lý tưởng có áp suất không quá lớn và nhiệt độ không quá nhỏ thì vẫn áp dụng được thuyết này.
- **Phương trình cơ bản** của thuyết động học phân tử khí: áp suất của khối khí lên thành bình là

$$P = \frac{2}{3} n_0 \bar{\omega}$$

Trong đó: $n_0 = N/V$ – mật độ phân tử khí (N – tổng số phân tử);
 $\bar{\omega}$ – động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử khí.

- **Động năng tịnh tiến trung bình** của một phân tử khí:

$$\bar{\omega} = \frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{3}{2} \frac{RT}{N_A} = \frac{3}{2} kT$$

Trong đó: m – khối lượng 1 phân tử khí (kg);

\bar{v} – vận tốc trung bình của phân tử khí (m/s);

$N_A = 6,02 \cdot 10^{26}$ – số Avogadro của một kmol khí;

$k = R / N_A = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K – hằng số Boltzman.

- Động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử khí tỷ lệ với nhiệt độ tuyệt đối của khối khí.
- Nhiệt độ tuyệt đối là thước đo mức độ chuyển động hỗn loạn của phân tử khí. Chuyển động phân tử còn gọi là **chuyển động nhiệt**.
- Vận tốc căn quân phương:

$$\sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

BÀI TẬP VÍ DỤ 2

Một khối khí chứa trong một bình có thể tích 10 l , áp suất của khối khí trong bình là 10^{-11} mmHg , nhiệt độ khối khí là 10°C . Tính động năng tịnh tiến trung bình của mỗi phân tử khí và mật độ phân tử khí trong bình.

HƯỚNG DẪN GIẢI

- Động năng tịnh tiến trung bình của mỗi phân tử khí là:

$$\bar{\omega} = \frac{3}{2} kT = \frac{3}{2} 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 283 = 5,85 \cdot 10^{-21} \text{ J}$$

- Mật độ phân tử khí trong bình là:

$$n_0 = \frac{3}{2} \frac{P}{\bar{\omega}} = \frac{P}{kT} = \frac{10^{-11} \cdot 1,013 \cdot 10^5}{760} \frac{1}{1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 283} = 3,52 \cdot 10^{11} \text{ m}^{-3}$$

3. NỘI NĂNG KHÍ LÝ TƯỞNG

3.1. BẬC TỰ DO

- **Bậc tự do i** của một hệ cơ học là số tọa độ độc lập cần thiết để xác định vị trí của hệ đó trong không gian.
- Chuyển động của phân tử trong không gian có 3 loại:
 - ✓ Tịnh tiến: theo 3 trục tọa độ $x, y, z \rightarrow i_{tt} = 3$.
 - ✓ Quay: phân tử 1 nguyên tử (chất điểm) không quay $\rightarrow i_q = 0$;
phân tử 2 nguyên tử quay quanh 2 trục $\rightarrow i_q = 2$;
phân tử ≥ 3 nguyên tử (không thẳng hàng) $\rightarrow i_q = 3$.
 - ✓ Dao động: ở nhiệt độ thường xem như các nguyên tử trong phân tử liên kết rắn với nhau (bỏ qua dao động giữa chúng) $\rightarrow i_{dd} = 0$;
nếu nhiệt độ cao các nguyên tử dao động $\rightarrow i_{dd} > 0$.

$$i = i_{tt} + i_q + i_{dd}$$

- Bậc tự do đặc trưng cho mức độ phức tạp của chuyển động.

Phân tử	1 nguyên tử (He)	2 nguyên tử (O_2)	≥ 3 nguyên tử
i	3	5	≥ 6

3. 2. NỘI NĂNG KHÍ LÝ TƯỞNG

- Nội năng của một hệ bao gồm năng lượng chuyển động hỗn loạn của các phân tử và thế năng tương tác giữa chúng.
- Nội năng của khí lý tưởng là tổng năng lượng chuyển động nhiệt của các phân tử (vì thế năng tương tác bằng 0), bao gồm động năng tịnh tiến, động năng quay và dao động của các phân tử.
- **Định luật phân bố đều năng lượng theo bậc tự do** (định luật Boltzman): ứng với mỗi bậc tự do động năng trung bình của một phân tử khí là $kT/2$.
- Động năng trung bình ω (nội năng U_0) của 1 phân tử khí bao gồm:

$$\omega = U_0 = \frac{i}{2} kT$$

- Nội năng của m (kg) khí lý tưởng: $U = \frac{m}{\mu} \frac{iRT}{2}$
- Nội năng của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ.

BÀI TẬP VÍ DỤ 3

Có 20g khí Oxi ở nhiệt độ 20°C. Hãy tìm:

- a) Nội năng của khối khí.
- b) Động năng chuyển động tịnh tiến của khối khí.
- c) Động năng chuyển động quay của khối khí.

HƯỚNG DẪN GIẢI

- a) Nội năng của khối khí:

$$U = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT = \frac{20}{32} 10^{-3} \frac{5}{2} 8,31 \cdot 10^3 (273 + 20) = 378,9 \text{ J}$$

- b) Động năng chuyển động tịnh tiến của khối khí:

$$W_{tt} = \frac{m}{M} \frac{i_{tt}}{2} RT = \frac{20}{32} 10^{-3} \frac{3}{2} 8,31 \cdot 10^3 (273 + 20) = 228,3 \text{ J}$$

- c) Động năng chuyển động quay của khối khí :

$$W_q = \frac{m}{M} \frac{i_q}{2} RT = \frac{20}{32} 10^{-3} \frac{2}{2} 8,31 \cdot 10^3 (273 + 20) = 150,6 \text{ J}$$