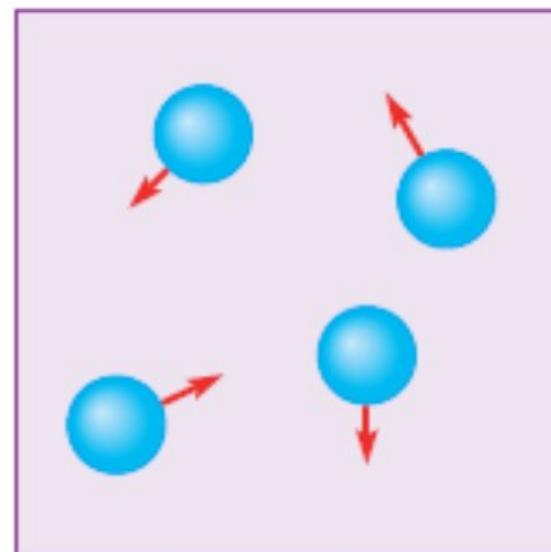
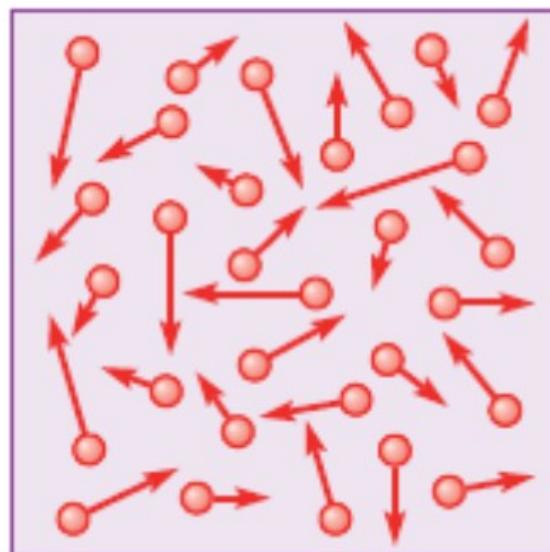


Chương 5

KHÍ LÝ TƯỞNG

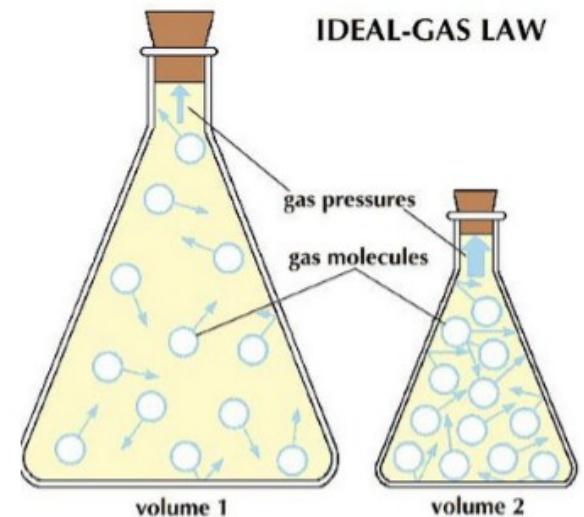


5.1 MỘT SỐ KHÁI NIỆM

5.1.1. Khí lý tưởng

Lực tương tác giữa các phân tử tạo thành chất khí không đáng kể.

Kích thước các phân tử không đáng kể và có thể bỏ qua.



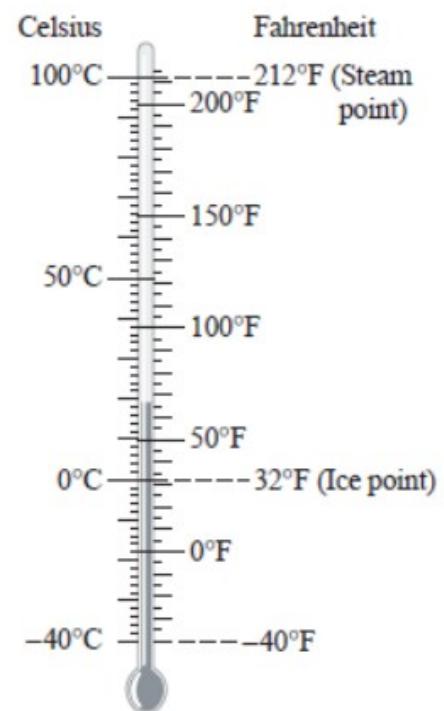
5.1.2. Thông số trạng thái

* Nhiệt độ (t , T)

Thang nhiệt độ bách phân (Celsius): t ($^{\circ}\text{C}$)

Thang nhiệt độ tuyệt đối (Kelvin): T ($^{\circ}\text{K}$)

Liên hệ giữa thang nhiệt độ Kelvin và thang nhiệt độ Celsius : T ($^{\circ}\text{K}$) = t ($^{\circ}\text{C}$) + 273.



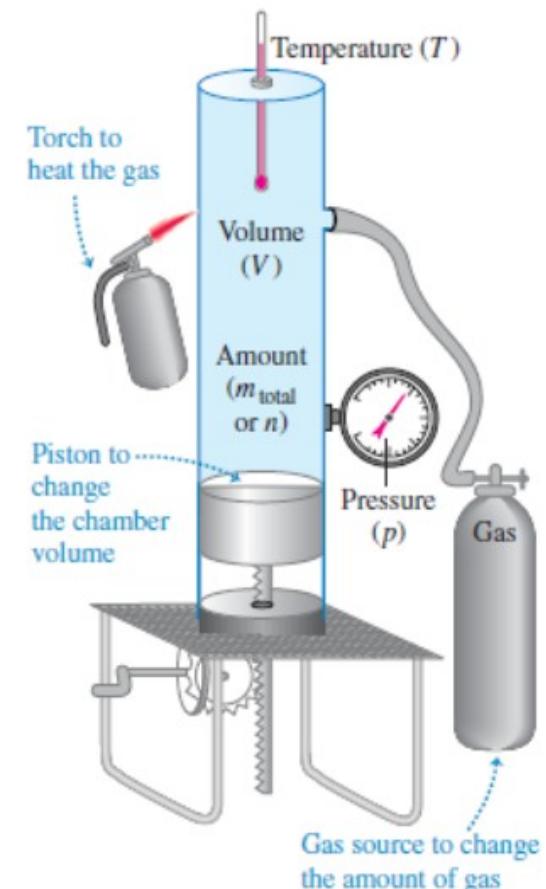
* Áp suất (p):

Lực nén trên đơn vị diện tích vuông góc với lực nén

$$p = \frac{F}{S}$$

* Thể tích (V)

Đối với khí lý tưởng thể tích của bình chứa là thể tích của khối khí.



5.2. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

5.2.1. Phương trình trạng thái

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

- m: khối lượng của chất khí (kg, g).
- μ : khối lượng của một kilomol chất khí.
(ví dụ O₂ có $\mu = 32$ Kg/Kmol = 32 g/mol)
- V : thể tích của khối khí (m³).
- R = 8,31 · 10³ (J/kmol.K): hằng số khí lý tưởng.
- R = 8,31 (J/mol.K)
- T: nhiệt độ của khối khí (°K)

5.2. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

5.2.1. Phương trình trạng thái

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

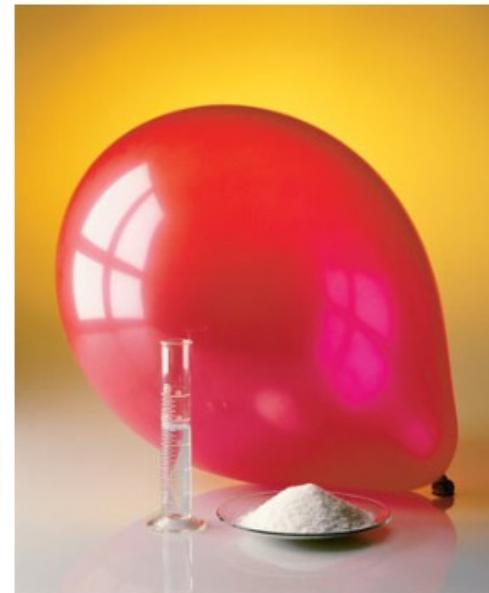
$$\rightarrow \frac{pV}{T} = \frac{m}{\mu} R$$

$$\rightarrow \frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} = \text{constant.}$$



Ví dụ 1: Một chất khí lý tưởng chứa trong bình kín có thể tích 1 lít ở nhiệt độ 800 K được nén xuống thể tích 0,5 lít. Áp suất thay đổi từ 1 atm xuống còn 0,5 atm. Xác định nhiệt độ lúc sau của khí:

- A. 800 K.
- B. 600 K.
- C. 400 K.
- D. 200 K.



5.2. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA KHÍ LÝ TUỞNG

5.2.1. Phương trình trạng thái

Điều kiện tiêu chuẩn của khí

$$T = 273 \text{ K} (0^\circ\text{C})$$

$$p = 1 \text{ atm} (10^5 \text{ Pa})$$

Ví dụ 2: Một mol chất khí lý tưởng ở điều kiện chuẩn thì thể tích bình chứa phải bằng bao nhiêu?

$$\begin{aligned} pV &= nRT, \\ V &= \frac{nRT}{p} = \frac{(1 \text{ mol})[8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})](273 \text{ K})}{1.013 \times 10^5 \text{ Pa}} \\ &= 0.0224 \text{ m}^3 = 22.4 \text{ L}. \end{aligned}$$

Ví dụ 3: Xác định số mol của chất khí ở điều kiện chuẩn, biết thể tích khói khí 18 m^3 .

ĐS: 800 mol

5.2.2. Một số trường hợp riêng

a) Quá trình đẳng nhiệt ($T = \text{const}$):

$$pV = \text{const}$$

(định luật Boyle-Mariotte)

b) Quá trình đẳng áp ($p = \text{const}$):

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

(định luật Gay-Lussac)

c) Quá trình đẳng tích ($V = \text{const}$):

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

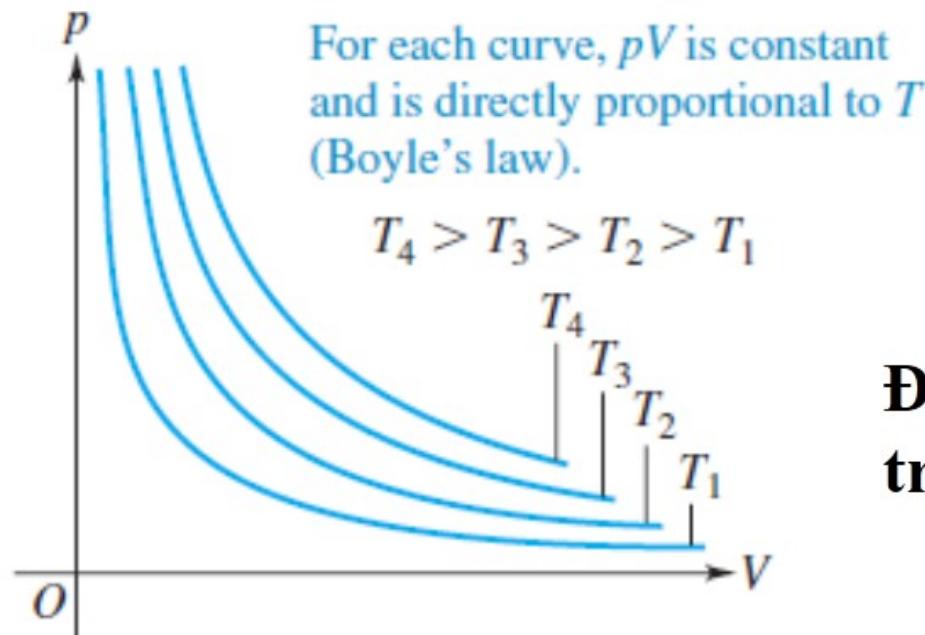
(định luật Charles)

5.2. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

5.2.1. Phương trình trạng thái

1. Biểu đồ P-V

Each curve represents pressure as a function of volume for an ideal gas at a single temperature.

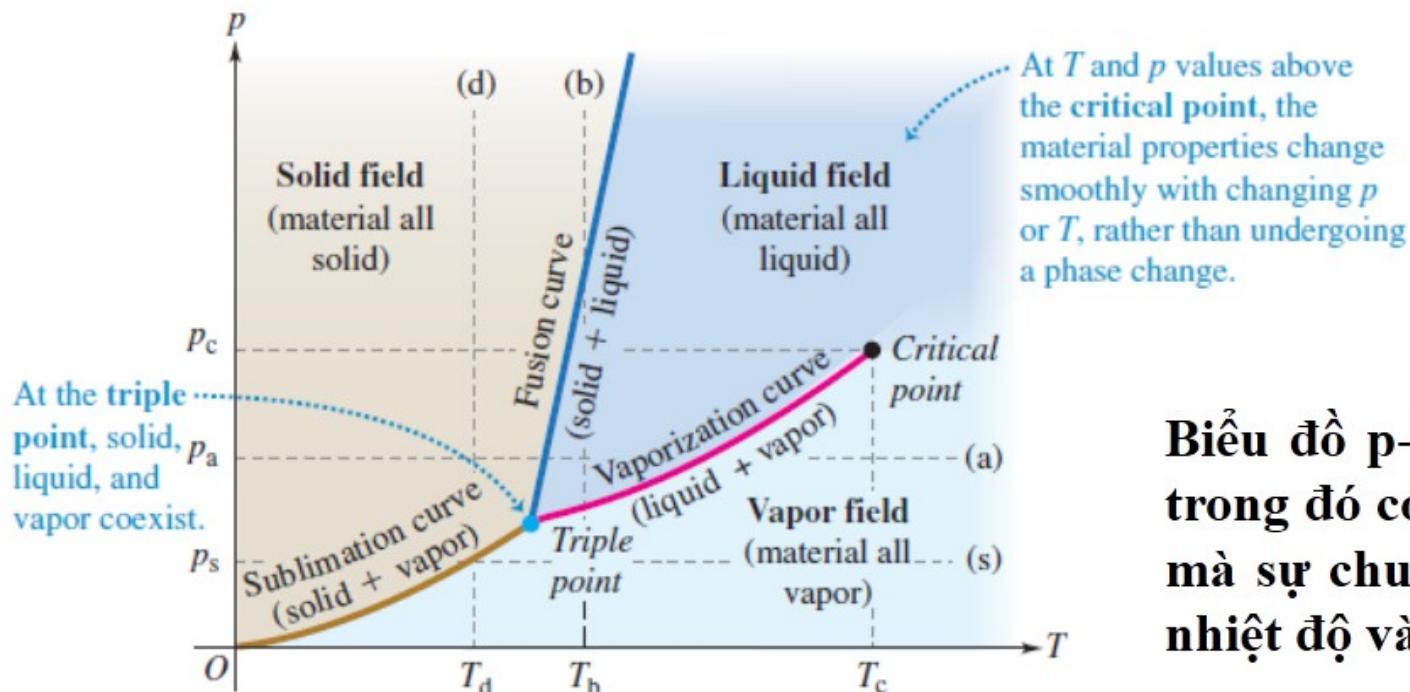


Đường cong đẳng nhiệt
trên biểu đồ P-V

5.2. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

5.2.1. Phương trình trạng thái

2. Biểu đồ P-T



Biểu đồ p-T thể hiện các vùng trong đó có pha khác nhau, nơi mà sự chuyển pha xảy ra theo nhiệt độ và áp suất.

5.2. PHƯƠNG TRÌNH TRẠNG THÁI CỦA KHÍ LÝ TƯỞNG

5.2.1. Phương trình trạng thái

2. Biểu đồ P-T

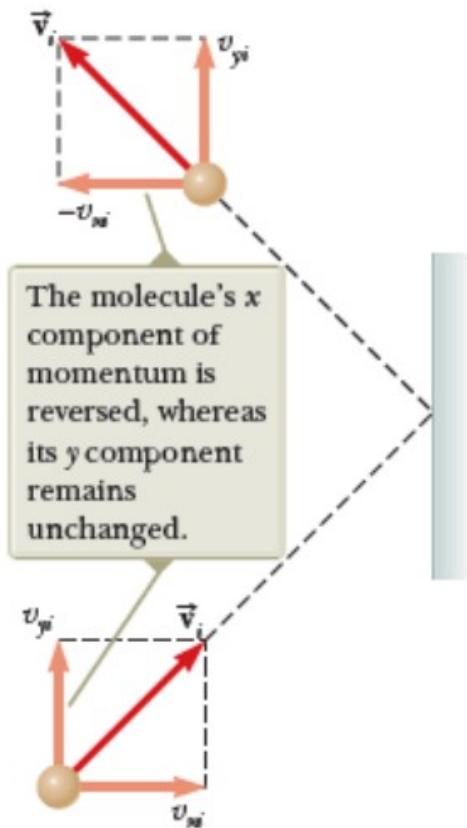
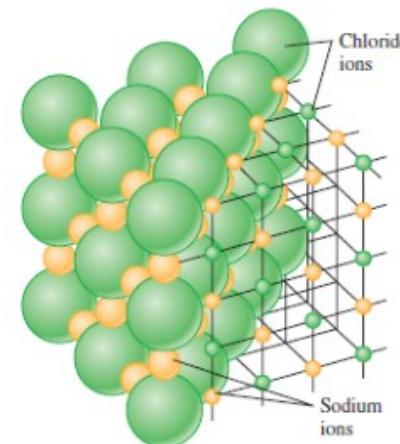
TABLE 15.1 Triple-point data

Substance	Temperature, K	Pressure, Pa
Hydrogen	13.8	0.0704×10^5
Neon	24.57	0.432×10^5
Nitrogen	63.18	0.125×10^5
Oxygen	54.36	0.00152×10^5
Ammonia	195.40	0.0607×10^5
Carbon dioxide	216.55	5.17×10^5
Water	273.16	0.00610×10^5

5.3. THUYẾT ĐỘNG HỌC PHÂN TỬ CÁC CHẤT KHÍ

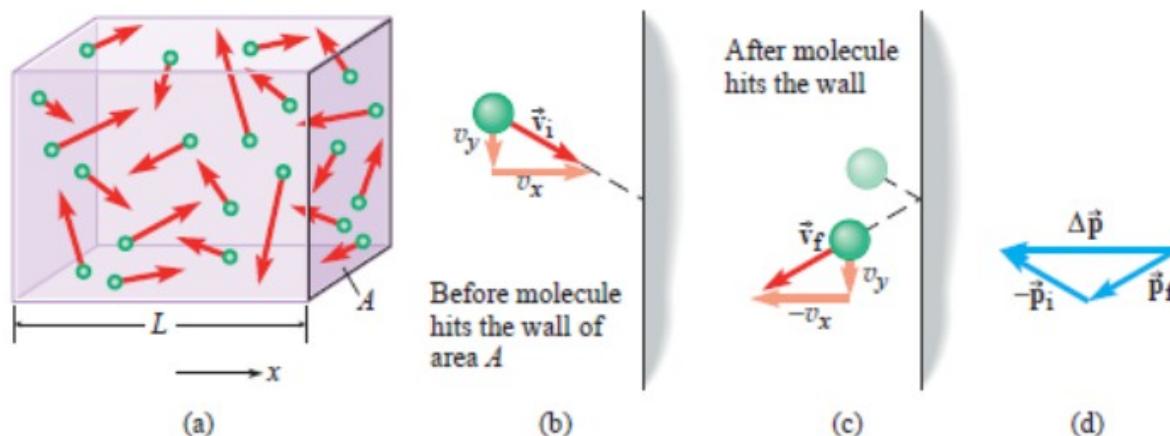
5.3.1. Nội dung

- Các chất khí được tạo thành từ các phân tử khí.
- Phân tử khí chuyển động không ngừng và có kích thước rất nhỏ.
- Các phân tử khí không tương tác với nhau trừ khi va chạm
- Va chạm giữa các phân tử khí với nhau và giữa các phân tử khí với thành bình là va chạm đàn hồi.



5.3.2. Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử các chất khí

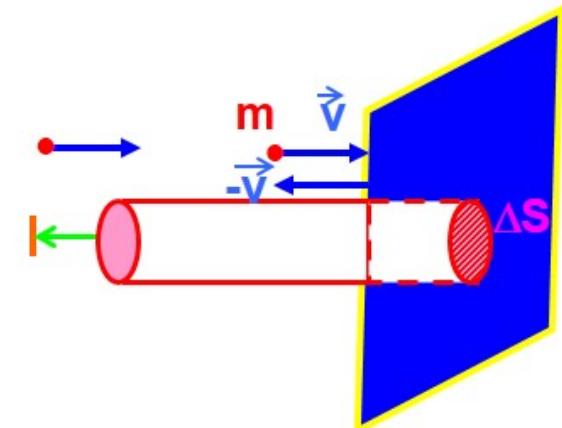
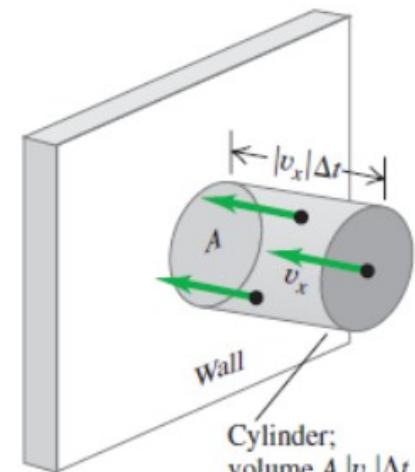
- Xét một chất khí gồm N phân tử trong một bình hình lập phương cạnh a .
- Lấy một diện tích nhỏ ΔS của thành bình và tính số phân tử va đập vào bề mặt ΔS đó trong thời gian Δt .



5.3.2. Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử các chất khí (tt)

- Giả sử mọi phân tử chuyển động với cùng vận tốc v .
- Trong khoảng thời gian Δt , các phân tử khí đập vào bề mặt ΔS chứa trong thể tích hình trụ đáy ΔS , chiều cao $v \cdot \Delta t$ (hình vẽ).
- Gọi n là mật độ phân tử khí theo thể tích (số phân tử/ m^3)
- Số phân tử khí này bằng:

$$\Delta n = \frac{1}{6} n \Delta S v \Delta t$$



5.3.2. Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử các chất khí (tt)

- Sau va chạm động lượng của mỗi phân tử biến thiên một lượng:

$$\Delta p = -mv - (mv') = -2mv$$

- Theo định lý động lượng: Δp bằng xung lượng của ngoại lực f_b do thành bình tác dụng lên phân tử trong thời gian Δt :

$$\Delta p = f_b \cdot \Delta t$$

Theo trên: $\Delta p = -2mv \Rightarrow f_b = \frac{-2mv}{\Delta t}$

$$(\Delta p = F\Delta t)$$

5.3.2. Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử các chất khí (tt)

Theo trên: $\Delta p = -2mv$

Định luật Newton 3, mỗi phân tử tác động lên thành bình một lực f:

$$f = -f_b = \frac{2mv}{\Delta t}$$

Do đó lực nén vuông góc của các phân tử lên bề mặt ΔS :

$$F = (\Delta n)f = \frac{2mv}{\Delta t} \Delta n = \frac{2mv}{\Delta t} \cdot \frac{1}{6} n \Delta S v \Delta t = \frac{1}{3} n.mv^2 \Delta S$$

Theo định nghĩa áp suất:

$$p = \frac{F}{\Delta S} \rightarrow p = \frac{1}{3} nmv^2 \rightarrow p = 2 \frac{1}{3} n \frac{1}{2} mv^2 \quad (E = \frac{1}{2} mv^2)$$

5.3.2. Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử các chất khí (tt)

Thực ra các phân tử không chuyển động với nhau cùng một vận tốc v mà có thể khác nhau.

Do đó, trong công thức trên ta thay giá trị trung bình:

$$\overline{v^2} = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^2$$

là trung bình của bình phương vận tốc

Trong đó: $v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_N$ là vận tốc của các phân tử trong khối khí.



$$p = \frac{2}{3} n \overline{E_d}$$

Phương trình cơ bản của thuyết động học phân tử về chất khí

Trong đó động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử:

$$\overline{E_d} = \frac{1}{2} m \overline{v^2}$$

5.3.3. Các hệ quả

Từ công thức:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT = \frac{N}{N_A} RT$$

(N : số phân tử của khối khí,

$N_A = 6,023 \cdot 10^{26}$: số phân tử trong 1 kmol chất khí)

$k_B = \frac{R}{N_A} = 1,37 \cdot 10^{-23} (J / {}^0k)$: hằng số Boltzmann

$$\rightarrow pV = Nk_B T \Rightarrow p = \frac{N}{V} k_B T = nk_B T \quad E = (3/2)p/n \\ = (3/2)(nkT/n)$$

Với $n = N/V$ là mật độ phân tử

Từ pt cơ bản TDHPT:

$$p = \frac{2}{3} n \bar{E}_d$$



$$\bar{E}_d = \frac{3}{2} k_B T$$

Như vậy động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ (tỉ lệ với nhiệt độ tuyệt đối).

5.3.4. Luật phân bố đều năng lượng theo các bậc tự do

1) Bậc tự do (i)

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

- Trường hợp phân tử chỉ có 1 nguyên tử: $i = 3$
- Trường hợp phân tử gồm 2 nguyên tử (khí oxy, nitơ, hydro, ...): $i = 3 + 2 = 5$.
- Phân tử gồm ba nguyên tử: $i = 6$.
- Nguyên tử gồm nhiều phân tử hơn 3 nguyên tử: $i = 6$

2) Luật phân bố đều năng lượng theo các bậc tự do

**Động năng trung bình của phân tử được phân
bố đều cho các bậc tự do của phân tử.**

- Động năng trung bình của một phân tử một nguyên tử: $\frac{3}{2} k_B T = \frac{i}{2} kT$
- Phân tử này chuyển động với bậc tự do $i = 3$.
- Theo luật phân bố đều năng lượng cho các bậc tự do ứng với mỗi bậc tự do của phân tử có một năng lượng là $0,5 k_B T$.
- Đối với phân tử có nhiều nguyên tử hơn, ngoài chuyển động tịnh tiến còn có chuyển động quay nên có năng lượng lớn hơn $1,5 k_B T$.
- Mỗi bậc tự do của phân tử có một động năng $\frac{1}{2} k_B T$

$$\Rightarrow \text{Động năng của cả phân tử: } i \frac{1}{2} k_B T$$

Ví dụ: Một khí lý tưởng được làm lạnh trong điều kiện thể tích không đổi, áp suất giảm một nửa so với áp suất ban đầu. Động năng tịnh tiến trung bình của một phân tử khí trong khối khí sẽ:

- A. Tăng lên gấp 2 lần so với ban đầu
- B. Không đổi
- C. Giảm 1/2

5.3.5. Nội năng của khí lý tưởng

- Nội năng là phần năng lượng ứng với chuyển động bên trong của vật, năng lượng bao gồm động năng do sự chuyển động của các phân tử trong khối khí và thế năng tương tác giữa các phân tử khí.
- Đối với khí lý tưởng, các phân tử không tương tác nhau, thế năng tương tác giữa các phân tử xem như không có.
- Nội năng U của khí lý tưởng chỉ là tổng động năng của các phân tử.

- Xét một khối khí có N phân tử, mỗi phân tử có i bậc tự do, toàn bộ khối khí có Ni bậc tự do, mỗi bậc tự do ứng với một năng lượng là $1/2k_B T$, nên nội năng của khối khí là:

$$U = N \frac{i}{2} k_B T$$



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

$$k_B = \frac{R}{N_A}; \frac{m}{\mu} = \frac{N}{N_A}$$

- Nội năng của khí lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ của khối khí.

- Nếu nhiệt độ của khối khí thay đổi một lượng $\Delta T = T_2 - T_1$, độ biến thiên nội năng:

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$

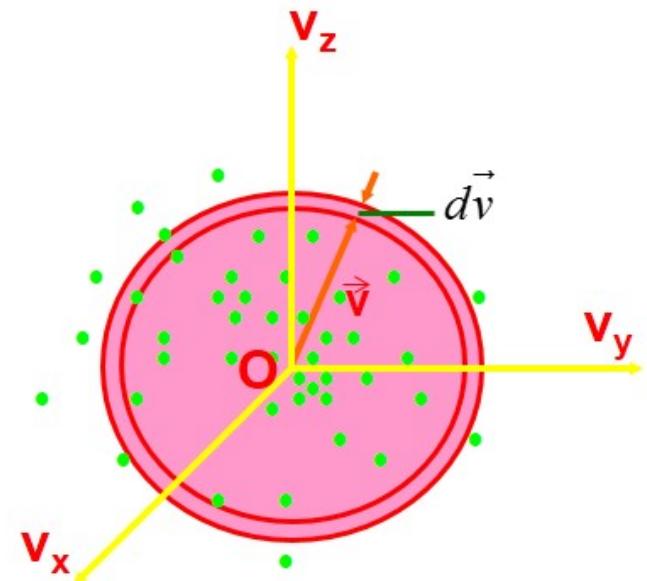
5.4. SỰ PHÂN BỐ VẬN TỐC CỦA CÁC PHÂN TỬ KHÍ

5.4.1. Phân bố Maxwell

Dạng của hàm phân bố Maxwell về vận tốc:

$$f(v) = f(v_x, v_y, v_z) = \left(\frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{mv^2}{2k_B T}\right)$$

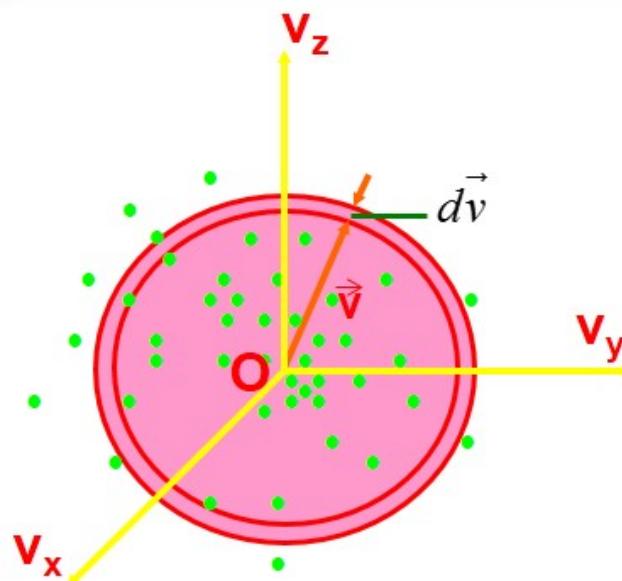
- Chỉ xét số phân tử có độ lớn của vận tốc ở trong khoảng $(v + dv)$.
 - Hình vẽ cho sự phân bố theo không gian của các giá trị vận tốc. Muốn tính số phân tử nằm trong khoảng v và $(v + dv)$ ta phải tính số phân tử nằm trong lớp cầu có bán kính trong là v và bán kính ngoài là $v + dv$.
 - Thể tích của lớp bán cầu này là $dS \cdot dv$ (dS là diện tích mặt ngoài của hình cầu bán kính là v).
- Ta có $dS = 4\pi v^2$, do đó thể tích của lớp cầu là $4\pi v^2 dv$.



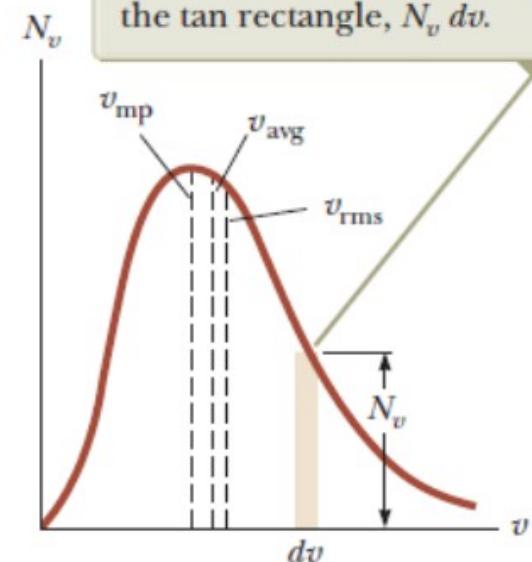
5.4.1. Phân bố Maxwell

Hàm phân bố Maxwell theo độ lớn của vận tốc:

$$F(v) = 4\pi v^2 f(v) = \pi v^2 \left(\frac{m}{2\pi k_B T} \right)^{3/2} \exp\left(-\frac{mv^2}{2k_B T}\right)$$



The number of molecules having speeds ranging from v to $v + dv$ equals the area of the tan rectangle, $N_v dv$.



5.4.1. Phân bố Maxwell

* **Vận tốc trung bình số** học của phân tử khí

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8k_B T}{\pi m}}$$

* **Vận tốc quân phương** của các phân tử

$$v_{qp} = \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3k_B T}{m}}$$

5.4.2. Phân bố Boltzmann

$$n = n_0 \exp(-mgh/k_B T)$$

Trong đó n_0 là mật độ phân tử ở độ cao $h = 0$ vì p
tỷ lệ với n nên ta được **phân bố Boltzmann**.

$$p = p_0 \exp(-mgh/k_B T)$$



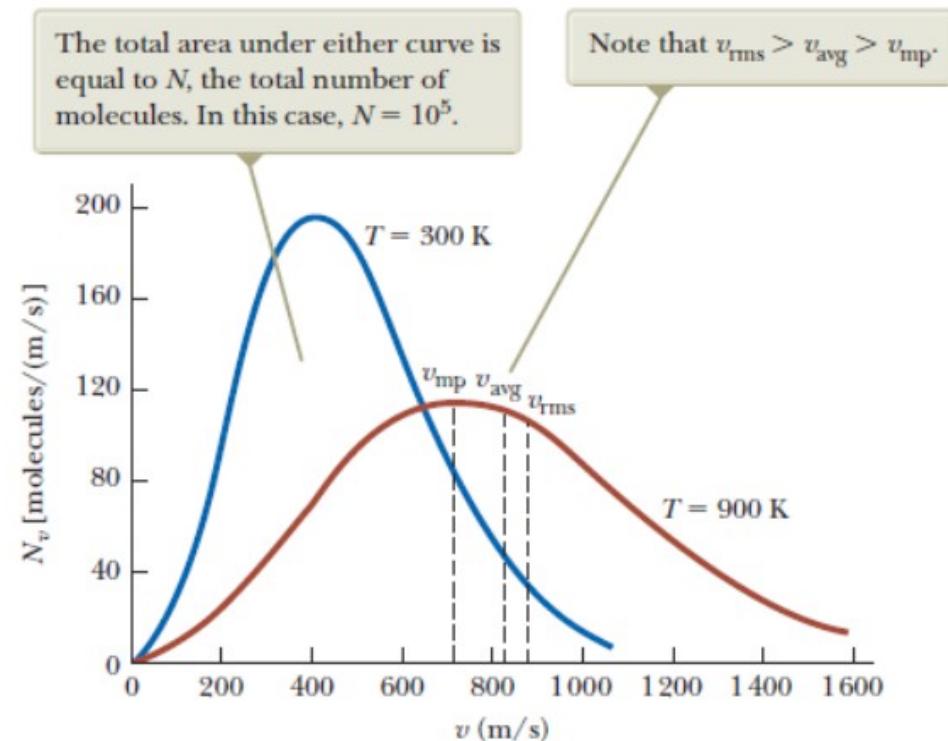
Ludwig Boltzmann
Austrian Physicist (1844–1906)

5.4.2. Phân bố Boltzmann

- * Tại độ cao khác nhau phân tử có thể năng khác nhau: $u = mgh$.
- * Sự phân bố các phân tử theo độ cao cũng là sự phân bố theo thế năng:

$$n = n_0 \exp\left(-\frac{u}{k_B T}\right)$$

Phân bố Boltzmann



Ví dụ: Một lượng khí Hydro có số mol là 0,5 mol ở nhiệt độ 300 K. Tính vận tốc trung bình, vận tốc căn quân phương của các phân tử khí

$$v_{\text{avg}} = 1.60 \sqrt{\frac{k_B T}{m_0}} = 1.60 \sqrt{\frac{(1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K})(300 \text{ K})}{2(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})}}$$
$$= 1.78 \times 10^3 \text{ m/s}$$

$$v_{\text{rms}} = 1.73 \sqrt{\frac{k_B T}{m_0}} = 1.73 \sqrt{\frac{(1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K})(300 \text{ K})}{2(1.67 \times 10^{-27} \text{ kg})}}$$
$$= 1.93 \times 10^3 \text{ m/s}$$

Bài 7.1 trang 159 SBH Thầy Nguyễn Thành Văn

Có 10 kg khí đựng trong một bình có 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 là không thay đổi. Tìm lượng khí đã lấy ra.

$$\begin{cases} m_1 = 10 \text{ kg} \\ p_1 = 10^7 \text{ N/m}^2 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} m_2 = \text{lượng khí lúc sau (còn lại} \\ \text{trong bình)} \end{cases}$$

$V = \text{const}$ $p_2 = 2,5 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$
 $T = \text{const}$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = ?$$

Phương trình trạng thái khí lý tưởng $pV = \frac{m}{\mu}RT$

Bài 7.2 trang 160 SBH Thầy Nguyễn Thành Văn

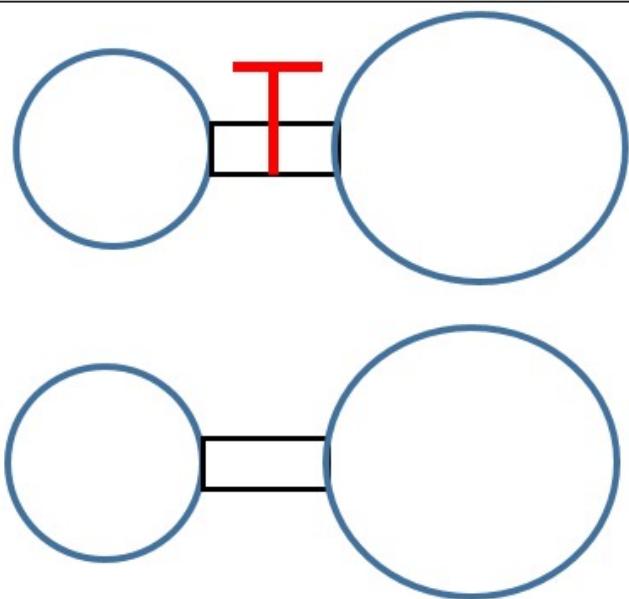
Một bình chứa khí nén ở nhiệt độ 27°C và áp suất 40 atm. Tìm nhiệt độ của khối khí sau khi đã có một nửa lượng khí thoát ra khỏi bình và áp suất hạ xuống 19 atm.

$$T = t + 273$$

$$1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

Bài 7.3 trang 160 SBH Thầy Nguyễn Thành Văn

Có hai bình cầu được nối với nhau bằng một ống có khóa, đựng cùng một chất khí. Áp suất của bình thứ nhất là $2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$, ở bình thứ hai là 10^6 N/m^2 . Mở khóa nhẹ nhàng để hai bình thông với nhau sao cho nhiệt độ khí vẫn không đổi. Khi đã cân bằng, áp suất ở hai bình $4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Tìm thể tích của bình cầu thứ hai, nếu biết thể tích của bình cầu thứ nhất là 15 dm^3 .



$$p_1 = 2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2 \quad p = 4 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$p_2 = 10^6 \text{ N/m}^2 \quad V_2 = ?$$

$$V_1 = 15 \text{ dm}^3 = 15 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Phương trình trạng thái khí lý tưởng: $pV = \frac{m}{\mu}RT$

$$T = \text{const}$$

Bài 7.4 trang 160 SBH Thầy Nguyễn Thành Văn

Một bình chứa 14 g khí Ni tơ ở áp suất 1 atm và nhiệt độ $27^{\circ}C$. Sau khi hơ nóng, nhiệt độ khí lên đến 1500 K. Hỏi:

- a) Thể tích của bình
- b) Độ tăng nội năng của khí

Bài 7.5 trang 160 SBH Thầy Nguyễn Thành Văn

Trong một bình kín có 20 g khí Ni tơ và 32 g khí Oxy. Tìm độ biến thiên nội năng của hỗn hợp khí đó khi làm lạnh nó xuống 28° .

$$\Delta T = T_2 - T_1 = -28^{\circ}$$

$$\mu_{Nito} = 28 \text{ g/mol} = 28 \text{ kg/kmol}$$

$$\mu_{Oxy} = 32 \text{ g/mol} = 32 \text{ kg/kmol}$$

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

$$\Delta U = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R \Delta T$$

Bài 7.6 trang 160 SBH Thầy Nguyễn Thành Văn

Có 40 g khí Oxy chiếm thể tích 3 lít ở nhiệt độ $T = 292,5$ K.

a) Tính áp suất của khối khí

b) Cho khối khí nở đẳng áp đến thể tích 4 lít. Hỏi nhiệt độ của khối khí sau khi dãn nở là bao nhiêu?

$$\left. \begin{array}{l} m = 40 \text{ g} \\ V_1 = 3 \text{ lít} = 3 \times 10^{-3} (\text{m}^3) \\ T_1 = 292,5 \text{ K} \\ \mu_{\text{Oxy}} = 32 \text{ g/mol} = 32 \text{ kg/kmol} \end{array} \right\} \xrightarrow{p = \text{const}} \left. \begin{array}{l} m = 40 \text{ g} \\ V_2 = 4 \text{ lít} = 4 \times 10^{-3} (\text{m}^3) \\ T_2 = ? \end{array} \right\}$$

Bài 7.7 trang 160 SBH Thầy Nguyễn Thành Văn

Có 10 g khí hydro ở áp suất 8,2 atm đựng trong một **bình kín** (dẫn nở kém) ở nhiệt độ $T = 390\text{ K}$.

- Tính thể tích của bình.
- Hơ nóng khối khí trong bình đến khi nhiệt độ của nó đạt 425 K .
Tính áp suất của khối khí ở nhiệt độ này.

$$\left. \begin{array}{l} m = 10\text{ g} \\ \mu_{Hydro} = 2\text{ g/mol} = 2\text{ kg/kmol} \\ p_1 = 8,2\text{ atm} = 8,2 \cdot 10^5\text{ N/m}^2 \\ T_1 = 390\text{ K} \end{array} \right\} \xrightarrow{V = \text{const}} \left. \begin{array}{l} m = 10\text{ g} \\ \mu_{Hydro} = 2\text{ g/mol} = 2\text{ kg/kmol} \\ p_2 = ? \\ T_2 = 425\text{ K} \end{array} \right\}$$