

## Тема 1. Молекулярно-кінетична теорія ідеальних газів.

У молекулярної фізики розглядається рух найменших частинок речовини – атомів і молекул, який підпорядковується статистичним законам. Атомом називається найменша частинка хімічного елементу. Молекулою називається найменша електрично - нейтральна частинка речовини, яка зберігає його хімічні властивості.

Молекулярна фізика вивчає властивості тіл, встановлюючи зв'язок макроскопічних параметрів з фізичними характеристиками мікрочастинок, з яких складається речовина.

К макропараметрам відносять масу речовини, тиск, об'єм і температуру.

К мікропараметрам – масу молекули, швидкість, розміри, імпульс, енергію молекули та інші.

- *Відносно молекулярна маса* – відношення маси молекули  $m_0$  к  $\frac{1}{12}$  маси атома вуглецю.

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12}m_c}$$

Відносно молекулярна маса – безрозмірна величина.

- *Молярна маса* - маса одного моля. Молярна маса дорівнює відношенню маси речовини до кількості молів в ньому.

$$\mu = \frac{m}{\nu} \quad [\mu] = \frac{\text{КГ}}{\text{МОЛЬ}}$$

Об'єм одного моля  $V_{\text{моля}} = \frac{\mu}{\rho}$ .

- *Число Авогадро* -  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$  показує, що в одному молі довільної речовини міститься  $6,02 \cdot 10^{23}$  молекул.

Закон Авогадро: при однакових температурах та тиску, молі будь-яких газів займають однакові об'єми. За нормальних умовах ( $T_0 = 273\text{К}$ ,  $P_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ) об'єм моля будь-якого газу дорівнює 22,4л.

- *Кількість молів речовини*

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{N \cdot m_{\text{мол}}}{N_A \cdot m_{\text{молекули}}} = \frac{m}{\mu}, \quad [\nu] = \text{МОЛЬ}$$

де  $N$  - кількість молекул речовини,  $m$  - маса речовини,  $m_{\text{молекули}}$  - маса молекули.

- *Масу одної молекули* можна знайти, як відношення молярної маси до числа молекул в одному молі, тобто до числа Авогадро.

$$m_0 = \frac{\mu}{N_A} \quad [m_0] = \text{КГ}$$

Також масу молекули можна знайти за формулами:

$$m_0 = \frac{m}{N} \quad m_0 = \frac{\rho}{n}$$

де  $m$  - маса речовини,  $N$  - число молекул,  $\rho$  - густина речовини,  
 $n$  - концентрація молекул (тобто число молекул в одиниці об'єму газу  
 $n = \frac{N}{V}$ ).

- *Температура* –це міра середньої кінетичної енергії теплового руху молекул. В міжнародній системі одиниць SI за одиницю температури прийнято кельвін (К).

*Один кельвін* – це ціна поділки температурної шкали, в якій за початок відліку прийнято абсолютний нуль або 0 К. Шкала Кельвіна не має від'ємних температур.

В побуті для вимірювання температури використовують *шкалу Цельсія*. Шкала Цельсія має додатні та від'ємні значення температур.

Зв'язок між шкалами Цельсія і Кельвіна

$$T(K) = t(^{\circ}C) + 273$$

Зміна температури на обох шкалах однакова:  $\Delta T = \Delta t^{\circ}C$ .

*Тиск газу* –це сумарна сила ударів молекул газу о одиницю площадки поверхні, в якій знаходиться газ.

$$P = \frac{F}{S},$$

де  $F$  - сила тиску газу,  $S$  - площа поверхні посудині.

Якщо в посуді знаходиться декілька газів, то кожний газ займає об'єм, який дорівнює об'єму посудині, і всі гази мають однакову температуру.

**Закон Дальтона:** загальний тиск суміші газів дорівнює сумі парціальних тисків складових частин, тобто тисків, які б мала кожна частина суміші, займаючи весь об'єм.

$$P = \sum_{i=1}^k P_i,$$

де  $P_i$  - парціальний тиск  $i$ - компоненти суміші,  $k$  - число компонентів.

Молярна маса суміші газів

$$\mu = \sum_{i=1}^k \frac{m_i}{\nu_i}$$

де  $m_i$  - маса  $i$ - компоненти суміші,  $\nu_i = \frac{m_i}{\mu_i}$  - кількість молів  $i$ - компоненти суміші.

*Ідеальний газ* – це газ, молекули якого є матеріальними точками, а їх взаємодія носить характер абсолютно пружного удару.

Повітря за нормальних умовах ( $T_0 = 273K$ ,  $P_0 = 1,013 \cdot 10^5 Pa$ ) можна приблизно вважати ідеальним газом.

*Основне рівняння кінетичної теорії ідеального газу* встановлює зв'язок тиску ідеального газу від маси його молекул, концентрації і їх середньої квадратичної швидкості:

$$P = \frac{1}{3} m_0 n \bar{v}, \quad [P] = Pa$$

де  $P$  - тиск газу,  $m_0$  - маса молекули,  $n$  - концентрація молекул,  $\bar{v}$  - середня швидкість молекули,

або  $P = \frac{2}{3}n\bar{E}$ , де  $\bar{E}$  - середня кінетична енергія поступального руху молекули.

Середня енергія молекули:  $\bar{E} = \frac{i}{2}kT$ ,  $[E] = \text{Дж}$

де  $i = i_{\text{пост}} + i_{\text{об}} + 2i_{\text{кол}}$  - число ступенів свободи молекули,

Також основне рівняння МКТ зв'язує один з параметрів стану системи - тиск з середнім значенням кінетичної енергії поступального руху молекул:

$P = \frac{2}{3}n\bar{E} = \frac{2}{3}n \frac{mv^2}{2} = nkT$ , звідки  $\bar{E} = \frac{3}{2}kT$  - кінетична енергія одноатомного

ідеального газу,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$  - стала Больцмана,  $T$  - термодинамічна температура газу.

**Закон Больцмана** про рівномірний розподіл енергії за ступенями свободи молекул - на кожен поступальний і обертальний ступінь свободи молекули в середньому припадає кінетична енергія  $\frac{1}{2} kT$ , а на кожен коливальний ступінь - в середньому  $kT$ .

Таким чином середня кінетична енергія молекули:  $\bar{E} = i \frac{kT}{2}$

$i = i_{\text{пост}} + i_{\text{об}} + 2i_{\text{кол}}$  - кількість ступенів свободи поступального, обертального та коливального рухів складних молекул.

Рівняння, яке встановлює залежність між параметрами стану даної маси ідеального газу - його тиском, об'ємом і температурою - називається **рівняння стану ідеального газу** (рівняння Менделєєва - Клапейрона).

$PV = \frac{m}{\mu} RT$ , де  $R = k \cdot N_A = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$  - універсальна газова стала.

Рівняння стану ідеального газу записав Д.І. Менделєєв, з об'єднаного газового закону який знайшов Б. Клапейрон.

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

**Ізопроец** - це рівноважний процес, в якому один з параметрів залишається сталим.

Для ідеального газу справедливі такі закони:

1. Закон Бойля-Маріотта: при постійній температурі ( $T = \text{const}$ ) добуток тиску даної маси ідеального газу і його об'єму є величина стала. Це ізотермічний процес.

$$PV = const$$

2. Закон Гей-Люссака: при постійному тиску ( $P = const$ ) об'єм даної маси ідеального газу прямо пропорційний його абсолютній температурі. Це ізобарний процес.

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

- 3 Закон Шарля: при постійному об'ємі ( $V = const$ ) тиск даної маси ідеального газу прямо пропорційний його абсолютній температурі. Це ізохорний процес.

$$\frac{P}{T} = const$$

*Середня квадратична, середня арифметична і найбільш імовірна швидкості молекул*

$$\langle v_{кв} \rangle = \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} - \text{середньоквадратичне значення швидкості,}$$

$$\langle v_{ар} \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} - \text{середньоарифметичне значення швидкості,}$$

$$\langle v_i \rangle = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}} - \text{найбільш імовірне значення швидкості.}$$

Порівняння цих швидкостей дає таке їх співвідношення:

$$\langle v_i \rangle : \langle v_{ар} \rangle : \langle v_{кв} \rangle = \sqrt{2} : \sqrt{\frac{8}{\pi}} : \sqrt{3} = 1,41 : 1,6 : 1,73.$$