

## Тема 25. Основи молекулярно-кінетичної теорії речовини. Розв'язування задач.

**Молекулярна фізика**, яка пояснює теплові явища на основі внутрішньої будови речовини, ґрунтується на таких положеннях:

- 1) речовина складається з мікрочастинок – атомів, молекул, йонів тощо;
- 2) ці мікрочастинки перебувають у безперервному хаотичному русі й взаємодіють між собою.

**Атомно-молекулярне вчення** стверджує, що гази (за винятком інертних) складаються головним чином із молекул, більшість рідин має молекулярну будову, а будова кристалічних тіл зумовлена взаємодією йонів.

Вимірювання мікрочастинок речовини за допомогою електронного мікроскопа показали, що молекули різних речовин відрізняються розмірами, проте **всі атоми мають діаметр близько  $10^{-10}$  м.**

Англійський ботанік **Р. Броун** (1773-1858) у 1827 р. спостерігав рух квіткового пилку у воді й з'ясував, що цей рух є безладним і частинки рухаються складною траєкторією. Пізніше французький фізик **Ж. Перрен** (1870-1942) експериментально досліджував броунівський рух частинок гумігуту (фарбника) і виявив, що він є наслідком теплового руху молекул. Він установив, що інтенсивність броунівського руху частинок зростає з підвищенням температури і не залежить від часу чи хімічної природи частинки. У 1905-1906 рр. видатний фізик **А. Ейнштейн** і польський учений **М. Смолуховський** (1872-1917) дали теоретичне тлумачення броунівського руху з позицій молекулярно-кінетичних уявлень, чим остаточно підтвердили достовірність молекулярної фізики.

Взаємодія молекул підтверджується наявністю сил пружності, які виникають під час деформації тіл. Вони короткодіючі, мають електромагнітну природу і суттєво залежать від відстані між молекулами (сила притягання  $F_{\text{пр}}$  пропорційна  $1/r^7$ , а сила відштовхування  $F_{\text{в}}$  пропорційна  $1/r^{13}$ ). Сила взаємодії практично відсутня, коли молекули знаходяться на відстанях, що в кілька разів перевищують їхні розміри. Цим, зокрема, пояснюється нехтування силами взаємодії в розріджених газах.

## Маса молекул. Кількість речовини.

**Атомна одиниця маси** (а.о.м.) за означенням дорівнює 1/12 частині маси атома вуглецю:

$$1 \text{ а.о.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

**Відносна атомна (молекулярна) маса**  $M_r$  – маса атома (молекули), що виражена в атомних одиницях маси.

**Моль** – одиниця вимірювання кількості речовини. 1 моль містить стільки ж атомів чи молекул, скільки атомів є у 0,012 кг ізотопу вуглецю  $^{12}\text{C}$ .

**Стала (число) Авогадро**  $N_A$  – кількість атомів чи молекул, які містяться в одному молі будь-якої речовини:

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ 1/моль.}$$

**Молярна маса**  $M$  – це маса речовини, взята в кількості 1 моль, обчислюється за формулою:

$$M = M_r \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}} = M_r \frac{\text{г}}{\text{моль}}.$$

**Маса молекули**  $m_m = \frac{M}{N_A}$ .

**Кількість речовини**  $\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$ , де  $N$  – кількість атомів (молекул) речовини,  $m$  – маса речовини.

## Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії.

**Ідеальний газ** – це модель газу, яка передбачає нехтування розмірами молекул та їх взаємодією. Його стан характеризують тиском  $P$ , об'ємом  $V$  і температурою  $T$ .

**Концентрація молекул (атомів):**  $n = \frac{N}{V}$ .

**Середня енергія поступального руху однієї молекули** обчислюється за формулою:

$$E_k = \frac{3kT}{2},$$

де  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – стала Больцмана,  $T$  – абсолютна температура.

**Одиниця температури в СІ – Кельвін (К).**

**Зв'язок температури за шкалою Цельсія ( $t^\circ\text{C}$ ) та Кельвіна:**

$$T \approx t + 273.$$

**Середня квадратична швидкість** поступального руху молекули (атома) та середній квадрат проєкції теплової швидкості молекули на довільну вісь:

$$v_{\text{КВ}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_M}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}; \langle v_x^2 \rangle = \frac{\langle v_{\text{КВ}}^2 \rangle}{3},$$

де  $R = 8,31$  Дж/(моль · К) – **універсальна (молярна) газова стала.**

Має місце рівність:  $R = kN_A$ .

Середня проєкція теплової швидкості на довільну вісь  $\langle v_x \rangle = 0$ , як наслідок хаотичності теплового руху.

Вважають, що газ перебуває в **нормальних умовах**, якщо тиск газу  $P_0 = 1,0131 \cdot 10^5$  Па = 760 ммрт. ст. (**нормальний атмосферний тиск**); температура газу  $T_0 = 273$  К, або  $t_0 = 0^\circ\text{C}$ .

Один моль будь-якого газу за нормальних умов має об'єм (**молярний об'єм**):  $V_\mu = 22,4$  л =  $22,4 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>.

**Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу:**

$$P = \frac{2nE_k}{3} = nkT = \frac{1}{3}nm_M v_{\text{КВ}}^2.$$

**Рівняння стану ідеального газу (рівняння Менделєєва-Клапейрона):**

$$PV = \frac{mRT}{M} = \nu RT \text{ або } P = \frac{\rho RT}{M},$$

де  $m$  – маса газу, а  $\rho = \frac{m}{V}$  – густина газу.

**Приклад 6.** Яка внутрішня енергія газу об'ємом 50 л при тиску 1 МПа?

$$P = \frac{2nE_k}{3} = \frac{2NE_k}{3V} = \frac{2E}{3V},$$

$$E = \frac{3}{2}PV = 1,5 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-2} = 75000 \text{ Дж} = 75 \text{ кДж}.$$

**Відповідь:** 75 кДж.

**Приклад 7.** При підвищенні абсолютної температури азоту в 2 рази кожна друга молекула дисоціювала на атоми. У скільки разів змінився тиск газу?

$$P = nkT = \frac{NkT}{V}, N_2 = 1,5N_1$$

$$P_1 = \frac{N_1kT_1}{V}, P_2 = \frac{N_2kT_2}{V} = \frac{1,5N_1k2T_1}{V} = 3P_1$$

**Відповідь:** збільшився в 3 рази.

**Приклад 8.** Маса молекули газу дорівнює  $5,32 \cdot 10^{-26}$  кг. Який це газ?

$$m_M = \frac{M}{N_A},$$

$$M = m_M N_A = 5,32 \cdot 10^{-26} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 32 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль} = 32 \text{ г/моль}.$$

**Відповідь:** кисень.

**Приклад 9.** Температуру газу в сталевому герметичному балоні підвищили у 2 рази. Як змінилася середня квадратична швидкість молекул газу?

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

**Відповідь:** збільшилась у  $\sqrt{2}$  рази.

**Приклад 10.** Якою є концентрація молекул повітря всередині кінескопа телевізора, якщо при  $27^\circ \text{ C}$  тиск повітря всередині кінескопа дорівнює  $4,14 \cdot 10^{-4}$  Па?

$$P = nkT, n = P/kT.$$

**Відповідь:**  $10^{17} \text{ м}^{-3}$ .

**Приклад 11.** Обчисліть середню квадратичну швидкість атомів Гелію в атмосфері Юпітера. Температура атмосфери цієї планети становить  $-123^{\circ}\text{C}$ .

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 8,31 \cdot 150}{4 \cdot 10^{-3}}} = 967 \text{ м/с.}$$

**Відповідь:** 967 м/с.

**Приклад 12.** Чому дорівнює середня кінетична енергія хаотичного руху маленької порошокинки масою 0,001 мг, яка перебуває в повітрі кімнати? Температура в кімнаті становить  $27^{\circ}\text{C}$ .

$$E_k = \frac{3kT}{2} = \frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{2} = 6,21 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$

**Відповідь:**  $6,2 \cdot 10^{-21}$  Дж.

**Приклад 13.** Визначте середню молярну масу (у грамах на моль) суміші для дихання, яка складається з кисню та гелію. На кожну молекулу кисню в сумі припадає три атоми Гелію.

$$(32 + 4 + 4 + 4)/4 = 11 \text{ г/моль.}$$

**Відповідь:** 11 г/моль.

**Приклад 14.** З балона через неповністю закритий кран вийшло 20% газу. Який тиск встановиться в балоні, якщо до витікання газу тиск становив  $10^6$  Па? Температура весь час залишалась незмінною.

$$P_1 = n_1 kT, P_2 = n_2 kT, n_2 = 0,8n_1, P_2 = 0,8P_1 = 8 \cdot 10^5 \text{ Па.}$$

**Відповідь:**  $8 \cdot 10^5$  Па.

**Приклад 15.** Узимку температура повітря на вулиці становить  $-25^{\circ}\text{C}$ , а в кімнаті -  $25^{\circ}\text{C}$ . Порівняйте густину повітря на вулиці та в кімнаті. Тиск повітря на вулиці та в кімнаті однаковий.

$$T_1 = 248 \text{ К, } T_2 = 298 \text{ К, } P_1 = P_2.$$

$$P = \frac{\rho RT}{M}, \rho_1 = \frac{PM}{RT_1}, \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{298}{248} = 1,2.$$

**Відповідь:** у кімнаті менша в 1,2 рази.

**Домашнє завдання:**

Файл “mol-phys.pdf”, № 241, 252, 256, 257, 260, 261, 270, 271, 286.