

Тема 12. Основи молекулярно-кінетичної теорії речовини.

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}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:

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

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 мм рт. 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 = $22,4 \cdot 10^{-3}$ м³.

Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу:

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

Рівняння стану ідеального газу (рівняння Менделєєва-Клапейрона):

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

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

Приклад 1. Обчислити масу однієї молекули метану (CH_4).

Відповідь: $2,7 \cdot 10^{-26}$ кг.

Приклад 2. Знайдіть середню кінетичну енергію поступального руху молекули при температурі 27°C .

Відповідь: $6,2 \cdot 10^{-21}$ Дж.

Приклад 3. Молярна маса сірки – 32 г/моль. Скільки атомів міститься у 160 г сірки?

Відповідь: $3,01 \cdot 10^{24}$.

Приклад 4. У балоні при деякій температурі знаходиться суміш газів. Середньоквадратична швидкість молекул кисню (O_2) дорівнює 500 м/с. Яка середньоквадратична швидкість молекул водню (H_2)?

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \frac{v_{\text{H}}}{v_{\text{O}}} = \sqrt{\frac{3RT}{M_{\text{H}}}} : \sqrt{\frac{3RT}{M_{\text{O}}}} = \sqrt{\frac{M_{\text{O}}}{M_{\text{H}}}} = \sqrt{\frac{32}{2}} = 4,$$

$$v_{\text{H}} = 4v_{\text{O}} = 4 \cdot 500 = 2000 \text{ (м/с)}$$

Відповідь: 2000 м/с.

Приклад 5. Як зміниться тиск газу при збільшенні концентрації молекул на 20% при незмінній температурі?

$$P = nkT, \quad n_2 = 1,2n_1, \quad P_2 = 1,2P_1$$

Відповідь: збільшиться в 1,2 рази (на 20%).

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?

$$P = nkT = \frac{NkT}{V}$$

$$P_1 = \frac{N_1 k T_1}{V}, P_2 = \frac{N_2 k T_2}{V} = \frac{1,5 N_1 k 2 T_1}{V} = 3 P_1$$

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?

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

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

Відповідь: 10^{17} м^{-3} .

Приклад 11. Обчисліть середню квадратичну швидкість атомів Гелію в атмосфері Юпітера. Температура атмосфери цієї планети становить -123°C .

Відповідь: 967 м/с .

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

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

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.

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.

Відповідь: $8 \cdot 10^5\text{ Па}$.

Приклад 15. Узимку температура повітря на вулиці становить -25°C , а в кімнаті - 25°C . Порівняйте густину повітря на вулиці та в кімнаті. Тиск повітря на вулиці та в кімнаті однаковий.

Відповідь: у кімнаті менша в 1,2 рази.

Домашнє завдання:

основне: приклади 9-15, 2.1, 2.3, 2.4, 2.7, 2.8, 2.25.

додаткове: 2.2, 2.5, 2.6, 2.24.