

Тема 24. 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 короткодійчі, 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 $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ – 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 проекції 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 $R = 8,31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ – **універсальна (молярна) газова стала**.

Має місце рівність:

$$R = kN_A .$$

Середня проекція 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 $P_0 = 1,0131 \cdot 10^5 \text{ Па} = 760 \text{ ммрт. ст.}$ (**нормальний атмосферний тиск**); температура газу $T_0 = 273 \text{ К}$, або $t_0 = 0^\circ \text{C}$.

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

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 1. Обчислити масу однієї молекули метану (CH₄).

$$m = M/N_A, M = 12 + 1 \cdot 4 = 16 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль.}$$

Відповідь: $2,7 \cdot 10^{-26}$ кг.

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

$$E = 3/2kT$$

Відповідь: $6,2 \cdot 10^{-21}$ Дж.

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

$$m/M = N/N_A, N = m \cdot N_A/M.$$

Відповідь: $3,01 \cdot 10^{24}$.

Приклад 4. У балоні при деякій температурі знаходиться суміш газів. Середньоквадратична швидкість молекул кисню (O₂) дорівнює 500 м/с. Яка середньоквадратична швидкість молекул водню (H₂)?

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}, \frac{v_H}{v_O} = \sqrt{\frac{3RT}{M_H}} : \sqrt{\frac{3RT}{M_O}} = \sqrt{\frac{M_O}{M_H}} = \sqrt{\frac{32}{2}} = 4,$$

$$v_H = 4v_O = 4 \cdot 500 = 2000 \text{ (м/с)}$$

Відповідь: 2000 м/с.

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

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

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

Домашнє завдання:

Файл “mol-phys.pdf”, № 204, 205, 206, 224, 225, 226, 228, 231, 237, 240.