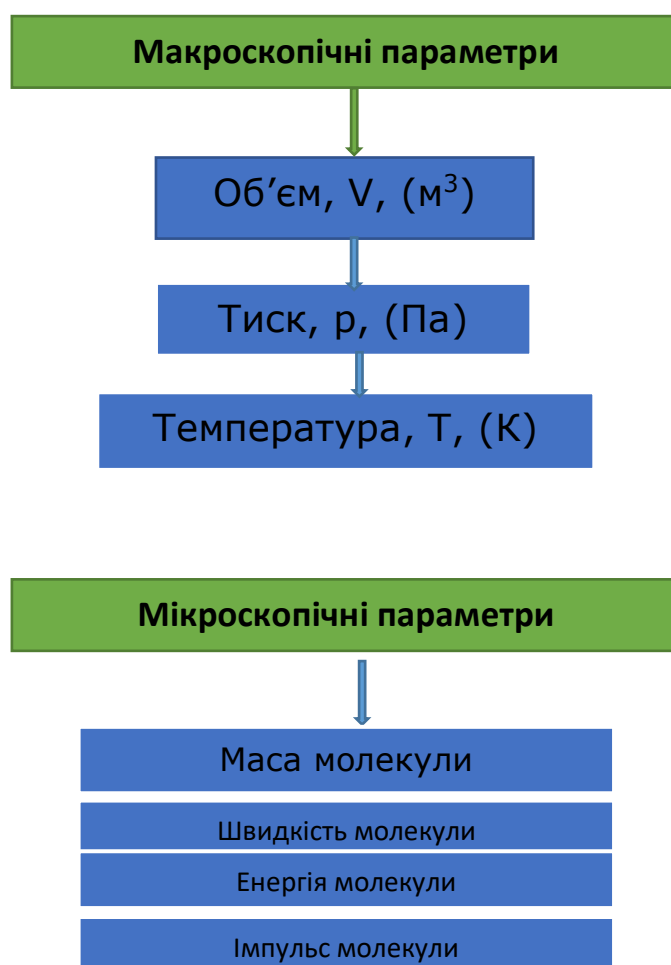


Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії

Згадаємо про фізичну модель «ідеальний газ» і про важливі закони, які пов'язують макроскопічні і мікроскопічні параметри



Пронумеруємо всі N молекул і позначимо v_k швидкість руху молекули з номером k . Домовимося, що горизонтальна риска над позначенням величини означає середнє значення цієї величини.

Основне рівняння МКТ газу

Тиск газу p на внутрішню поверхню посудини – результат ударів по стінках посудини великої кількості молекул. При цьому:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2},$$

де $n = \frac{N}{V}$ – концентрація молекул, N – загальне число молекул у посудині, V – об'єм посудини, m_0 – маса молекули, $\overline{v^2}$ – середнє значення квадрата швидкості руху молекул.

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

Квадратний корінь із цієї величини називають **середньою квадратичною швидкістю** руху молекул. Її позначають

$$\overline{v}_{\text{кв}}.$$

Отже,

$$(\overline{v}_{\text{кв}})^2 = \overline{v^2}.$$

Температура і середня кінетична енергія молекул

Твердження, що температура тіла має бути пов'язана з кінетичною енергією його молекул, впливає з досить простих міркувань. Якщо збільшувати температуру, то прискорюється дифузія, збільшується тиск газу, а це може означати лише одне – молекули рухаються швидше і їхня кінетична енергія зростає. Припустимо, що при тепловій рівновазі саме середня кінетична енергія молекул усіх газів однакова.

Звісно, це лише припущення. Його потрібно перевірити експериментально. Практично таку перевірку провести неможливо, тому що виміряти середню кінетичну енергію молекул дуже важко.

Але це можна зробити за допомогою основного рівняння МКТ ідеального газу:

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

Так як концентрація $n = \frac{N}{V}$, то з основного рівняння МКТ виходить:

$$p = \frac{2}{3} \frac{N}{V} \bar{E}_k$$

Або

$$p \frac{V}{N} = \frac{2}{3} \bar{E}_k$$

Тиск газу можна виміряти безпосередньо. Число молекул можна визначити, якщо відома маса газу m , стала Авогадро N_A і молярна маса M .

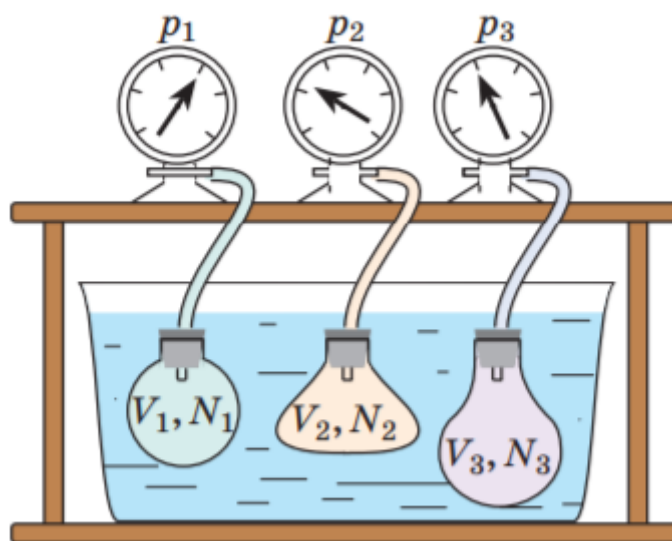
Число молекул можна обчислити: $N = \frac{m}{M} N_A$

Якщо кінетична енергія дійсно однакова для всіх газів у стані теплової рівноваги, тоді величина $p \frac{V}{N}$ теж має бути однаковою для всіх газів. Відношення $p \frac{V}{N}$ часто позначають літерою Θ (тета). Тільки дослід може підтвердити або спростувати це твердження.

Гази в стані теплової рівноваги

Дослід можна здійснити так. Візьмемо декілька посудин, які заповнені різними газами, наприклад гідроген, гелій і кисень. Посудини мають певні об'єми і підключені до манометрів. Манометр дасть змогу вимірювати тиск у кожній посудині. Маса газів відомі, тому можна обчислити кількість молекул у кожній посудині.

Приведемо гази в стан теплової рівноваги. Для цього помістимо їх у танучий лід і почекаємо, поки не встановиться тепла рівновага і тиск газу перестане змінюватися.



Після цього можна стверджувати, що всі гази мають однакову температуру 0°C . Обчислимо значення Θ (тета) за відношенням $p \frac{V}{N}$ для гідрогену отримаємо $\Theta = 3,76 \cdot 10^{-21}$ Дж. Таке саме значення відношення тиску газу на його об'єм до кількості молекул виходить і для інших газів.

Якщо посудини з газами помістити в киплячу воду, то відношення $p \frac{V}{N}$ теж буде однаковим для всіх газів:

$$\theta_{100} = 5,14 \cdot 10^{-21} \text{ Дж},$$

Можна стверджувати, що величина θ зростає зі збільшенням температури. Ба більше, θ ні від чого, крім температури, не залежить. Це дає змогу розглядати θ як міру температури, визначену через макроскопічні параметри газу. Можна було б вважати температурою і саму θ і вимірювати температуру в енергетичних одиницях – джоулях. Однак це не зручно, і давно прийнято виражати температуру в градусах.

Абсолютна шкала температур

Англійський вчений Вільям Кельвін ввів абсолютну шкалу температур. Її ще називають шкалою Кельвіна.

Температуру, виміряну за шкалою Кельвіна, називають **абсолютною температурою**.

Одиниця абсолютної температури – **кельвін** – основна одиниця температури в СІ:

$$[T] = 1 \text{ К (К)}.$$

Шкала Кельвіна побудована таким чином, що:

Один кельвін і один градус шкали Цельсія збігаються. Будь-яке значення абсолютної температури на 273 градуси вище за відповідну температури по шкалі Цельсія:

$$T = t + 273$$

Зміна температури за шкалою Кельвіна дорівнює зміні температури за шкалою Цельсія $\Delta T = \Delta t$

Температура за шкалою Кельвіна пов'язана з величиною θ співвідношенням $\theta = kT$, де k – коефіцієнт пропорційності, або стала Больцмана, а $\theta = p \frac{V}{N}$,

Стала Больцмана названа на честь австрійського фізика Людвіга Больцмана. Обчислимо її значення, враховуючи величину θ при 0°C і 100°C ;

якщо $t = 100^\circ\text{C}$, то $\theta_{100} = 5,14 \cdot 10^{-21}$ Дж;

якщо $t = 0^\circ\text{C}$, то $\theta_0 = 3,76 \cdot 10^{-21}$ Дж;

Оскільки $\theta = kT$, то $\Delta\theta = k\Delta T$, отже, $k = \frac{\Delta\theta}{\Delta T} = \frac{\theta_{100} - \theta_0}{\Delta T}$. Враховуючи, що $\Delta T = \Delta t = 100$ К, $\theta_{100} - \theta_0 = 1,38 \cdot 10^{-21}$ Дж, маємо $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж.

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$$

Стала Больцмана пов'язує температуру в енергетичних одиницях з температурою, вираженою в кельвінах. Це одна з найважливіших сталих в МКТ.

Температура – міра середньої кінетичної енергії молекул

З основного рівняння МКТ у формі $p \frac{V}{N} = \frac{2}{3} E$

і визначення температури

$$kT = p \frac{V}{N}$$

можна зробити важливий висновок: абсолютна температура є мірою середньої кінетичної енергії руху молекул:

$$E = \frac{3}{2} kT$$

При наближенні температури до абсолютного нуля енергія теплового руху молекул наближається до нуля. Насправді рух молекул не припиняється ніколи, тому досягти температури 0 К (-273°C) неможливо.

Тиск газу повністю визначається його абсолютною температурою і концентрацією молекул:

$$p = nkT$$