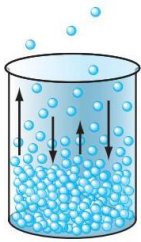


§ 28. ОСНОВНЕ РІВНЯННЯ МКТ ІДЕАЛЬНОГО ГАЗУ



Кожне макроскопічне тіло складається з величезної кількості молекул. МКТ розглядає будову та властивості макроскопічних тіл, а також процеси, що відбуваються в цих тілах, з точки зору їх молекулярної структури. Поведінку макроскопічних тіл описують низкою фізичних величин — *мікроскопічними і макроскопічними параметрами*. З'ясуємо, що це за параметри і як вони пов'язані.

1 Мікроскопічні і макроскопічні параметри

Розглянемо систему, що складається з дуже великої кількості атомів або молекул. Такою системою, наприклад, може бути якийсь газ. У будь-який момент часу кожна мікрочастинка газу має енергію, рухається з деякою швидкістю, має певну масу.

Фізичні величини, які характеризують властивості та поведінку окремих мікрочастинок речовини, називають **мікроскопічними параметрами**.

Мікроскопічні параметри можуть змінюватися без зовнішнього впливу на систему. Наприклад, швидкості руху молекул газу безперервно змінюються в результаті їх зіткнень одна з одною.

Водночас газ даної маси займає деякий об'єм, має певні тиск, температуру. Значення цих фізичних величин визначаються сукупністю величезної кількості молекул, — наприклад, ми не можемо говорити про тиск, температуру або густину однієї молекули.

Фізичні величини, які характеризують властивості та поведінку макроскопічних тіл без урахування їх молекулярної будови, називають **макроскопічними параметрами**.

Макроскопічні параметри можуть змінюватися тільки за рахунок зовнішніх впливів на систему або за рахунок теплообміну. Так, щоб збільшити тиск газу, його потрібно нагріти (передати певну кількість теплоти) або стиснути (тобто виконати роботу).

2 Який газ називають ідеальним

Кількісні закономірності, що пов'язують макроскопічні і мікроскопічні параметри тіл, є досить складними. Розглянемо найпростіший випадок — доволі розріджені гази (такими, наприклад, є звичайні гази за нормальних умов*). У розріджених газах відстань між молекулами в багато разів перевищує розміри самих молекул, тому ці молекули можна вважати матеріальними точками, а їхньою взаємодією, за винятком моментів зіткнення, можна знехтувати. Крім того, властивості розріджених газів практично не залежать від їхнього молекулярного складу, а зіткнення молекул такого газу наближаються до пружних. Таким чином, замість реальних газів можна розглядати їх фізичну модель — *ідеальний газ*.

* Газ перебуває за нормальних умов, якщо його тиск 760 мм. рт. ст. $\approx 1,01 \cdot 10^5$ Па і температура 0 °С.

Ідеальний газ — це фізична модель газу, молекули якого приймають за матеріальні точки, що не взаємодіють одна з одною на відстані та пружно взаємодіють у моменти зіткнення.

3 Основне рівняння МКТ ідеального газу

Почнемо з такого мікроскопічного параметра, як *швидкість руху молекул*. Звернемо увагу на те, що немає сенсу розглядати рух кожної окремої молекули та встановлювати швидкість її руху в даний момент часу, та це й неможливо: число молекул величезне, і за секунду кожна молекула змінює швидкість свого руху мільярди разів. Тому фізики використовують середні значення швидкостей молекул. Найважливішим у МКТ є поняття **середній квадрат швидкості** ($\overline{v^2}$):

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

де N — число молекул; v_1, v_2, \dots, v_N — швидкості руху окремих молекул.

Квадратний корінь із середнього квадрата швидкості називають **середньою квадратичною швидкістю руху молекул** ($\overline{v}_{\text{КВ}}$):

$$\overline{v}_{\text{КВ}} = \sqrt{\overline{v^2}}$$

Зрозуміло, що середній квадрат швидкості (а отже, і середню квадратичну швидкість) неможливо визначити за допомогою прямих вимірювань. Проте ця величина пов'язана з певними макроскопічними (вимірюваними) параметрами газу, наприклад із тиском.

Нагадаємо, що тиск газу зумовлений ударами його молекул (рис. 28.1). Перебуваючи в безперервному хаотичному русі, молекули газу зіштовхуються зі стінками посудини і поверхнею будь-якого тіла в газі, діючи на них з деякою силою. Сумарна сила дії частинок на одиницю площі поверхні і є тиском газу: $p = \frac{F}{S}$.

Неважко здогадатися: чим швидше рухаються молекули газу і чим більшою є маса цих молекул, тим більшою буде сила їх ударів і тим більший тиск створюватиме газ.

Рівняння залежності тиску p ідеального газу від маси m_0 його молекул і середнього квадрата швидкості $\overline{v^2}$ їх руху — це **основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу**:

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

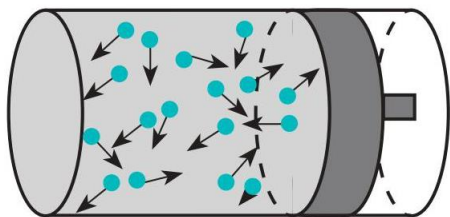


Рис. 28.1. Тиск газу є результатом зіткнення молекул газу зі стінками посудини

Тут n — **концентрація молекул газу** — фізична величина, яка дорівнює числу молекул в одиниці об'єму газу: $n = \frac{N}{V}$, $[n] = 1 \text{ м}^{-3}$.

? Поясніть, чому тиск газу збільшується зі збільшенням концентрації молекул.

Середня кінетична енергія поступального руху молекул ідеального газу (кінетична енергія поступального руху, що в середньому припадає на одну молекулу) дорівнює: $\bar{E}_k = \frac{m_0 \bar{v}^2}{2}$. Тому основне рівняння МКТ ідеального газу можна записати і так:

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

? Середня кінетична енергія поступального руху молекул деякого газу дорівнює $1,2 \cdot 10^{-21}$ Дж. Знайдіть кінетичну енергію поступального руху всіх молекул 1 моль цього газу.

4 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Визначте густину ідеального газу, який перебуває під тиском $1,0 \cdot 10^5$ Па, якщо середня квадратична швидкість руху його молекул 500 м/с.

Дано:

$$p = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$\bar{v}_{\text{кв}} = 500 \text{ м/с}$$

ρ — ?

Аналіз фізичної проблеми, розв'язання. У задачі потрібно знайти макроскопічний параметр — густину газу. Для розв'язання задачі скористаємося основним рівнянням МКТ ідеального газу:

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2. \quad (1)$$

Оскільки $\rho = \frac{m}{V}$, а $m = N m_0$ (маса газу дорівнює добутку числа молекул газу на масу однієї молекули), то $\rho = \frac{N m_0}{V} = n m_0$, де $n = \frac{N}{V}$ — концентрація молекул газу.

Замінивши у формулі (1) вираз $n m_0$ на ρ , маємо:

$$p = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2. \quad (2)$$

Звідси $\rho = \frac{3p}{\bar{v}^2} = \frac{3p}{v_{\text{кв}}^2}$. (Формулу (2) слід запам'ятати!)

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[\rho] = \frac{\text{Па}}{\text{м}^2/\text{с}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot \frac{\text{с}^2}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2 \cdot \text{м}^2} \cdot \frac{\text{с}^2}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad \rho = \frac{3 \cdot 1,0 \cdot 10^5}{500^2} = \frac{3,0 \cdot 10^5}{2,5 \cdot 10^5} = 1,2 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right).$$

Аналіз результату. Густини газів за нормальних умов коливаються від 0,09 до 1,5 кг/м³, тобто одержано реальний результат.

Відповідь: $\rho = 1,2 \text{ кг/м}^3$.



Підбиваємо підсумки

• Фізичні величини, які характеризують властивості та поведінку окремих мікрочастинок речовини, називають мікроскопічними параметрами. Фізичні величини, які характеризують властивості та поведінку макроскопічних тіл без урахування їх молекулярної будови, називають макроскопічними параметрами.

• Ідеальний газ — це фізична модель газу, молекули якого приймають за матеріальні точки, що не взаємодіють одна з одною на відстані та пружно взаємодіють у момент зіткнення.

• Основне рівняння МКТ ідеального газу пов'язує макроскопічний параметр (тиск) із мікроскопічними параметрами (масою та середнім квадратом швидкості руху молекул): $p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2}$. Це рівняння можна записати у вигляді: $p = \frac{2}{3} n \overline{E_k}$; $p = \frac{1}{3} \rho v^2$.



Контрольні запитання

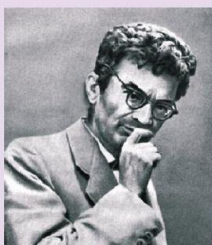
1. Дайте означення макроскопічних і мікроскопічних параметрів. Наведіть приклади.
2. Дайте означення ідеального газу.
3. Що таке середній квадрат швидкості руху молекул? середня квадратична швидкість руху молекул?
4. Чому газ тисне на стінки посудини?
5. Які параметри пов'язує основне рівняння МКТ ідеального газу? Запишіть це рівняння.
6. Яким співвідношенням пов'язані тиск і середня кінетична енергія поступального руху молекул ідеального газу? тиск і густина ідеального газу?



Вправа № 28

1. Дано такі параметри газу: тиск; об'єм; температура; середня квадратична швидкість руху молекул; маса молекули; густина.
 - 1) Які з цих параметрів є мікроскопічними? макроскопічними?
 - 2) Отвір порожнього шприца без голки затиснули пальцем, а потім: а) повільно натиснули на поршень; б) різко відтягнули поршень. Які з наведених параметрів газу і як при цьому змінилися?
2. Як змінився тиск ідеального газу, що міститься в закритій посудині, якщо внаслідок нагрівання середня квадратична швидкість руху його молекул збільшилась у 2 рази?
3. Унаслідок стискання об'єм ідеального газу зменшився в 3 рази, а середня кінетична енергія його молекул збільшилась в 3 рази. Як змінився тиск газу?
4. Середня квадратична швидкість руху молекул ідеального газу дорівнює 400 м/с. Який об'єм займає цей газ масою 2,5 кг, якщо його тиск дорівнює 1 атм?
5. Азот масою 2,5 кг у посудині об'ємом 2,0 м³ чинить тиск 1,5 · 10⁵ Па. Визначте середню кінетичну енергію поступального руху молекул азоту.

Фізика і техніка в Україні



Ісак Якович Померанчук (1913–1966) — український радянський фізик-теоретик, академік.

Починав працювати в Харківському фізико-технічному інституті під керівництвом *Л. Д. Ландау*.

І. Я. Померанчук досяг видатних результатів у різних галузях сучасної фізики — у фізиці твердого тіла (розсіяння нейтронів у кристалах, теорія теплопровідності діелектриків); у фізиці квантових рідин («ефект Померанчука»); у квантовій теорії поля («теорема Померанчука»), у фізиці гранично високих енергій, теорії космічних променів. Учений зробив вагомий внесок у теорію та створення перших ядерних реакторів, зокрема в дифузійну теорію реактора.

На честь І. Я. Померанчука названо псевдочастинку *померон*.