

РОЗДІЛ III. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА І ТЕРМОДИНАМІКА

ЧАСТИНА 1. МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА

§ 26. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНО-КІНЕТИЧНОЇ ТЕОРІЇ

«Якби <...> всі накопичені наукові знання було б знищено і до прийдешніх поколінь перейшла б тільки одна фраза, то яке твердження принесло б найбільшу інформацію? Я вважаю, що це атомна гіпотеза: усі тіла складаються з атомів, маленьких тілець, які перебувають у безперервному русі, притягуються на невеликих відстанях, але відштовхуються, якщо одне з них щільніше притиснути до іншого». Ці слова належать *Річардові Фейнману*, лауреатові Нобелівської премії з фізики 1965 р., і вони практично дослівно повторюють ідеї грецького філософа *Демокрита*, висловлені понад 25 століть тому.

1

Основні положення молекулярно-кінетичної теорії

Молекулярно-кінетична теорія (МКТ) — теорія, що розглядає будову речовини з точки зору трьох основних положень.

1. *Усі речовини складаються з частинок* — атомів, молекул, йонів, тобто мають дискретну будову; між частинками є проміжки (рис. 26.1).

2. *Частинки речовини перебувають у невпинному безладному (хаотичному) русі*; такий рух називають *тепловим*.

3. *Частинки взаємодіють одна з одною* (притягуються і відштовхуються). Згадаємо означення основних структурних одиниць речовини.

Атом — найменша частинка, яка є носієм властивостей хімічного елемента.

Кожному хімічному елементу відповідає певний атом, який позначають символом елемента (атом Гідрогену H, атом Карбону C, атом Урану U).

Атом має складну структуру та являє собою ядро, оточене хмарою електронів. Кількість електронів в атомі дорівнює кількості протонів у його ядрі. Заряд електрона за модулем дорівнює заряду протона, тому атом є електрично нейтральним. Об'єднуючись, атоми утворюють молекули.

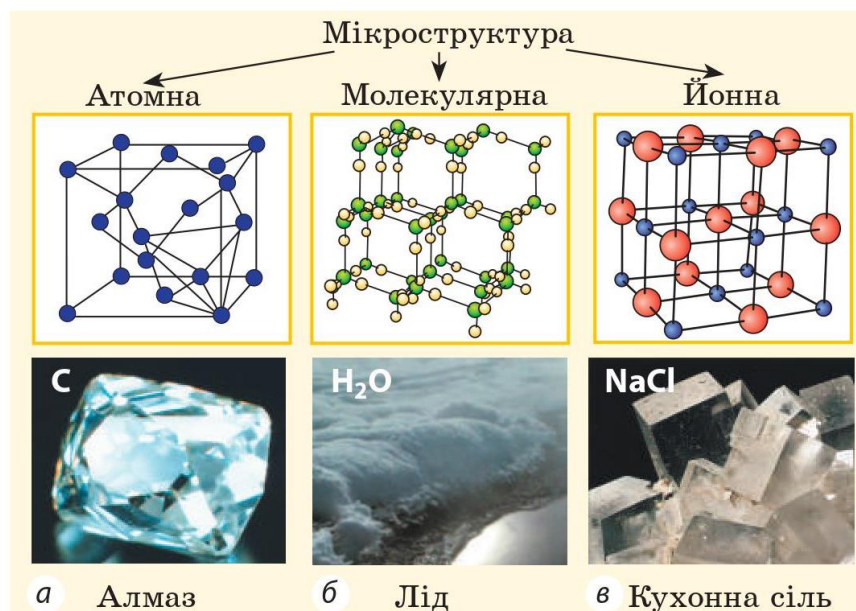


Рис. 26.1. Мікроструктура деяких речовин у кристалічному стані

Молекула — найменша частинка речовини, яка має хімічні властивості цієї речовини та складається з атомів.

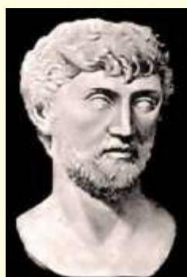
Молекули різних речовин мають різний атомний склад. Усе величезне розмаїття речовин зумовлене різними сполученнями атомів у молекулах.

Якщо атом або молекула втратили один або кілька електронів, вони стають **позитивним йоном**; якщо ж до атома (молекули) приєдналися один або кілька електронів, утворюється **негативний йон**.

2 Які факти доводять існування атомів і молекул

Ми не можемо побачити частинки речовини через їх мікроскопічний розмір, проте ще філософи давнини наводили чимало непрямих доказів їх існування.

? Прочитайте рядки з поеми римського поета і філософа *Тита Лукреція Кара* (бл. 99–55 рр. до н. е.), у якій він подав погляди філософів-атомістів давнини. Які докази існування атомів і молекул наводить Лукрецій?



Одяг, розвішаний на узбережжі, де піниться хвиля, —
Вогкий, а вистав на сонце його — за хвилину просохне,
Та не догледіти, як осідає на ньому волога,
Як утікає, заледве ковзнуть по ній промені сонця.
Отже, вода на такі вже дрібні розпадається крихти,
Що й найзіркіше ніяк їх не зможе помітити око.
Так от і перстень, коли його носиш на пальці постійно,
З року на рік непомітно втрачає щось, робиться тоншим.
Камінь уперта продовбує крапля. Леміш, хоч залізний,
Теж поступово маліє — стирається, краючи землю.

(Цит. за: Лукрецій. *Про природу речей* / Пер. А. Содомори. — К.: Дніпро, 1988)

Із часом з'явилися непрямі докази існування частинок речовини, і ці докази базувалися на чітких кількісних розрахунках. Так, наприкінці XVIII ст. було встановлено закон кратних відношень: якщо два елементи, що реагують між собою, утворюють кілька сполук, то різні маси одного елемента, що сполучаються з незмінною масою другого елемента, відносяться одна до одної як невеликі цілі числа. Наприклад, азот і кисень дали три сполуки: N_2O , N_2O_2 , N_2O_5 . Під час їх утворення з незмінною масою азоту маси кисню, що вступив у реакцію, відносяться як 1:2:5 відповідно. Це легко пояснити, зіставивши склад молекул утворених речовин.

Нині фізики створили низку приладів (йонні проектори, електронні та тунельні мікроскопи), які дозволяють досліджувати не тільки склад молекул (рис. 26.2), але й внутрішню будову атома (рис. 26.3).

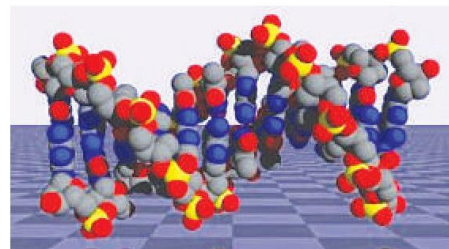


Рис. 26.2. Структура молекули ДНК, розрахована за даними, що отримані за допомогою тунельного електронного мікроскопа



Рис. 26.3. Зображення електронних хмар атома Карбону; вперше отримані в 2009 р. у Харківському фізико-технічному інституті

Розміри молекул

Розміри молекул настільки малі, що це важко уявити. Якщо молекулу води ($d \approx 3 \cdot 10^{-10}$ м) збільшити в мільйон разів, то вона матиме розмір крапки ($\approx 0,3$ мм). Унаслідок такого самого збільшення товщина волосини (0,1 мм) виявиться 100 м, діаметр вишні (1 см) — 10 км, а середній зріст людини (170 см) — 1700 км.

Щоб продемонструвати величезну кількість молекул, англійський фізик Вільям Томсон (лорд Кельвін) запропонував уявний експеримент: «Припустімо, ми взяли склянку «мічених» молекул води, вилили цю воду у Світовий океан і ретельно перемішали його. Потім зачерпнули склянку води з океану на іншому краї Землі та порахували в ній усі «мічені» молекули. У склянці їх виявиться близько тисячі!»



? Спробуйте перевірити розрахунки В. Томсона. Об'єм Світового океану — $1,34 \cdot 10^{18}$ м³.

3

Наскільки малою є молекула

Досить точно встановлено: розміри більшості молекул і діаметри всіх атомів становлять порядку 10^{-10} м. Зрозуміло, що й маси атомів і молекул теж малі (порядку 10^{-26} кг). Вимірювати їх у таких одиницях, як кілограм, дуже незручно, тому було введено *позасистемну одиницю* — **атомну одиницю маси**, яка дорівнює $1/12$ маси атома Карбону $^{12}_6\text{C}$:

$$1 \text{ а. о. м.} = \frac{1}{12} m_0 \left(^{12}_6\text{C} \right) \approx 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Масу молекули (атома), подану в атомних одиницях маси, називають **відносною молекулярною (відносною атомною) масою** M_r :

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_0 \left(^{12}_6\text{C} \right)}$$

Відносна молекулярна маса показує, у скільки разів маса m_0 молекули більша, ніж $1/12$ маси атома Карбону $^{12}_6\text{C}$.

4

У яких одиницях рахують молекули

Макроскопічні тіла складаються з величезного числа частинок. Визначимо, наприклад, кількість молекул у склянці води ($m = 0,2$ кг). Маса молекули води $m_0 \approx 3,0 \cdot 10^{-26}$ кг. Отже, у склянці води міститься: $N = \frac{m}{m_0} \approx 7 \cdot 10^{24}$ молекул. Рахують таку величезну кількість мікрочастинок певними «порціями» — молями. *В одному молі будь-якої речовини міститься однакова кількість атомів або молекул*, — стільки, скільки атомів Карбону міститься у вуглеці масою 12 г. Це число має назву **стала Авогадро**:

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

Фізична величина, яка дорівнює кількості молів частинок речовини, називається

кількістю речовини ν : $\nu = \frac{N}{N_A}$,

де N — число частинок речовини.

Одиниця кількості речовини в СІ — **моль**:
[ν] = 1 моль (mol).

Маса даної речовини, узятій в кількості 1 моль ($6,02 \cdot 10^{23}$ молекул), називається **молярною масою M речовини**:

$$M = m_0 \cdot N_A,$$

де m_0 — маса молекули (атома) даної речовини.

Одиниця молярної маси в СІ — **кілограм на моль**:

$$[M] = 1 \frac{\text{кг}}{\text{моль}} \left(\frac{\text{kg}}{\text{mol}} \right).$$

 Отримайте формули, подані справа, самостійно.

5 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Скільки вільних електронів міститься в алюмінієвому бруску розмірами $1 \times 4 \times 5$ см? Вважайте, що кожний атом Алюмінію дає один вільний електрон.

Аналіз фізичної проблеми. За умовою задачі кількість електронів дорівнює числу атомів Алюмінію у бруску об'ємом 20 см^3 ($1 \times 4 \times 5$ см). Молярну масу алюмінію знайдемо, скориставшись Періодичною системою хімічних елементів: $M = M_r \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{моль} = 27 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{моль}$. Густина алюмінію знайдемо в таблиці густин.

Дано:

$$V = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$$

$$M = 27 \cdot 10^{-3} \text{ кг} / \text{моль}$$

$$\rho = 2,7 \cdot 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$$

$$N_A \approx 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

N — ?

Розв'язання

$$N = \frac{m}{M} N_A, \text{ де } m = \rho V \text{ — маса Алюмінію.}$$

$$\text{Остаточню маємо: } N = \frac{\rho V}{M} N_A = \frac{\rho V N_A}{M}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[N] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{моль}}{\text{м}^3 \cdot \text{кг}} = 1;$$

$$N = \frac{2,7 \cdot 10^{-3} \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^{23}}{27 \cdot 10^{-3}} = 12 \cdot 10^{23}.$$

$$\text{Відповідь: } N = 12 \cdot 10^{23}.$$

♦ Молярна маса дорівнює відносній молекулярній масі, поданій у грамах:

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

♦ Кількість речовини масою m і молярною масою M можна визначити за формулою:

$$v = \frac{m}{M}$$

♦ Число N молекул речовини дорівнює:

$$N = \frac{m}{M} N_A$$



Підбиваємо підсумки

- Усі речовини складаються з частинок: атомів, молекул, йонів. Частинки розділені проміжками і є дуже малими: їхні розміри становлять порядку 10^{-10} м, а маса — порядку 10^{-26} кг. Масу мікрочастинок прийнято вимірювати в атомних одиницях маси: $1 \text{ а.о.м.} \approx 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$.

- Число частинок речовини величезне, тому їх рахують у молях. В одному молі будь-якої речовини міститься однакове число частинок — стільки, скільки атомів Карбону міститься у вуглецю масою 12 г. Це число позначають символом N_A і називають числом Авоґадро (сталю Авоґадро): $N_A \approx 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

- Фізична величина, яка дорівнює кількості молів частинок речовини, називається кількістю речовини: $\nu = \frac{N}{N_A}$. Маса речовини, взятої в кількості 1 моль, називається молярною масою речовини: $M = m_0 \cdot N_A$.



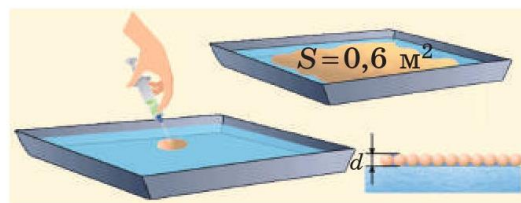
Контрольні запитання

1. Назвіть основні положення МКТ.
2. Із яких частинок складається молекула?
3. Яку будову має атом?
4. Перелічіть відомі вам прямі та непрямі докази існування атомів і молекул.
5. У яких одиницях прийнято вимірювати масу молекул? кількість молекул?
6. Яким є фізичний зміст сталої Авогадро?
7. Дайте характеристику таких фізичних величин, як кількість речовини; молярна маса.



Вправа № 26

1. На поверхню води капнули краплю оливкової олії об'ємом 1 мм^3 (див. рисунок). Розплившись, олія утворила плівку площею $0,6 \text{ м}^2$. Оцініть розмір молекули оливкової олії.
2. Скільки молекул міститься у воді об'ємом $1,0 \text{ л}$?
3. Для кожної з поданих речовин визначте молярну масу; число молекул у 100 моль ; кількість молів в 1 кг ; масу однієї молекули: а) азот (N_2); б) вуглекислий газ (CO_2); в) метан (CH_4).
4. У ставок середньою глибиною 2 м і площею водної поверхні $15\,000 \text{ м}^2$ кинули кристалик йоду масою 6 мг . Уявіть, що воду у ставку перемішали і йод рівномірно розподілився по всьому об'єму води. Скільки атомів Йоду виявилось б у кожній пробі води об'ємом 200 см^3 ?
5. Скориставшись додатковими джерелами інформації, знайдіть цікаві приклади, які пояснюють, наскільки малі атоми та молекули. Підготуйте коротке повідомлення або презентацію.



Експериментальне завдання

Проведіть дослід, подібний зображеному на рисунку до вправи № 26, та оцініть розмір молекули олії експериментально. *Підказки:* 1) поверхня води, по якій розтікається крапля, повинна мати досить велику площу (не менше 1 м^2); 2) об'єм краплі можна знайти за допомогою шприца, полічивши, наприклад, скільки крапель міститься в 1 мл олії.

ПРОФЕСІЇ МАЙБУТНЬОГО

МЕДИЦИНА



Молекулярний дієтолог

фахівець із розробки індивідуальних схем харчування, заснованих на даних про молекулярний склад їжі, з урахуванням генетичного аналізу людини й особливостей її фізіологічних процесів

Молекулярний дієтолог розглядає поведінку молекул у певних середовищах, їх вплив на фізіологічні процеси в організмі людини; з'ясовує витрати енергії під час бігу, ходьби, плавання та іншої рухової активності людини; розраховує, які саме харчі та в якій кількості потрібні людині для отримання необхідної енергії.