

ПАВЛО ВІКТОР

# ФІЗИКА

МОЛЕКУЛЯРНА БУДОВА РЕЧОВИНИ  
І ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

Просто і зрозуміло про фундаментальну науку

Київ  
BOOKCHEF  
2021

# АТОМИ ТА МОЛЕКУЛИ. ДИFUЗІЯ. БРОУНІВСЬКИЙ РУХ



*З давніх-давен люди замислювалися над тим, із чого складається світ. І вважали, що є 4 головні складові всього — земля, вода, повітря й вогонь. У IV-V століттях до н. е. давньогрецькі вчені Левкіпп і Демокріт дійшли іншого висновку.*

**Щ**об зрозуміти їхню головну ідею, варто пригадати старовинну притчу. Зустрічаються учитель з учнем, і вчитель говорить учневі: «Бачиш цю діжку? Зараз я тричі наповню її, жодного разу не спорожнівши». Учень не повірив учителеві. Тоді вчитель узяв діжку й по вінця накидав туди каміння. Далі, не виймаючи каміння, він насипав у діжку піску та наповнив її вдруге. Утретє вчитель залив усе водою. Це вдалося тому, що між камінням залишився вільний простір, який заповнили частинки піску. Але й між піщинками залишався вільний простір, у який потрапила вода. Сама собою виникає думка, що вода теж складається із частинок. І, можливо, є ще «дещо» дрібніше за частинки води, і цим «дечим» можна заповнити діжку ще раз, не виливаючи води. Давньогрецькі філософи Левкіпп і Демокріт дійшли висновку, що навколишній світ і справді складається з частинок, але мають існувати найдрібніші частинки, які ділити вже неможливо.

## ■ БРОУНІВСЬКИЙ РУХ

І ще один доказ хаотичного руху молекул (і взагалі того, що існує такий рух) знайшов зовсім не фізик. 1827 року англійський ботанік Роберт Броун узяв квітковий пилок, змішав його з водою і помістив під мікроскоп. Він помітив, що частинки пилку хаотично рухаються в полі зору мікроскопа. Причому деякі частинки (їх тепер називають броунівськими частинками) були більші й рухалися повільніше, а частинки меншого розміру — швидше. Це явище і є доказом того, що молекули справді рухаються.

Коли молекули води зіштовхуються з броунівськими частинками, вони змушують їх рухатися. Як відбувається такий рух? Наприклад, у броунівської частинки (це може бути квітковий пилок, частинка фарби чи крихітна крапелька смоли) якоїсь миті з одного боку випадково виявилось більше молекул води, ніж з іншого. У своєму випадковому русі вони вдарили частинку, внаслідок чого вона зрушилася. Наступної миті ситуація змінилася, молекул випадково виявилось більше з іншого боку, і тут вони вдарили частинку сильніше. Як наслідок, вона відхилилася в інший бік. Через те що кількість молекул з різних боків від броунівської частинки постійно змінюється випадково, частинка рухається дивно — хаотично. Це явище називають **броунівським рухом** (рис. 3).

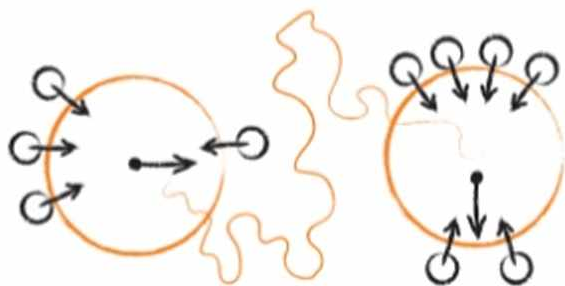


Рис. 3

Демонстрацію досліду дивіться тут:



Докладніше вивчити явище змочування можна під час ще одного досліду. Для нього знадобиться чисте й заковчене скло. Якщо крапнути воду на чисте скло, крапля розтечеться по поверхні скла (рис. 3.1). Це свідчить про змочування. Вода намагається поширитися якомога більшою площею, тому що молекули води сильніше притягуються до молекул скла, ніж одна до одної. Якщо ж крапнути воду на заковчене скло, крапля збереже свою округлу форму, не розтечеться по поверхні. У цьому разі крапля намагається контактувати із заковченим склом на якомога меншій площі. Це свідчить, що молекули вуглецю (сажі) взаємодіють з водою значно слабше, ніж молекули води одна з одною (рис. 3.2).

І якщо в першому випадку ми бачимо явище змочування, то в другому — спостерігаємо зворотнє явище, яке називається **незмочуванням**.

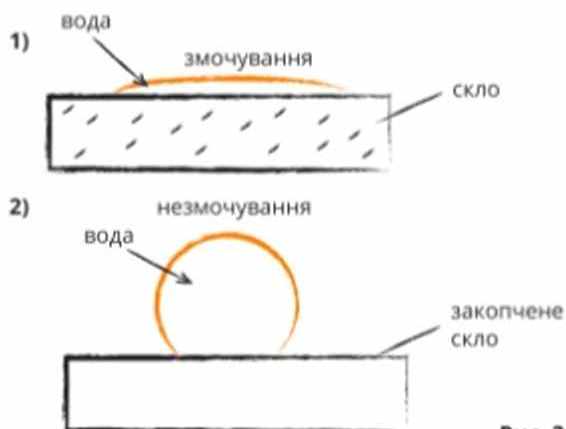


Рис. 3

Демонстрацію досліду дивіться тут:



Усе це свідчить, що різні пари речовин взаємодіють по-різному. Приклади змочування: вода — скло; ртуть — метали; розплавлені метали (олово, свинець) — тверді метали (наприклад, мідь, залізо, цинк). Приклади незмочування: вода — вуглець (сажа); ртуть — скло; вода — жир.

Явища змочування і незмочування широко застосовуються в техніці та виявляються в природі. Змочування можна використовувати, наприклад, під час склеювання різних речовин. Клей — це речовина, що має дві важливі властивості. По-перше, він змочує поверхні, які потрібно склеїти. Для цього клей має спеціальний хімічний склад. Друга його властивість — він через певний час твердішає. Тому, коли ми склеюємо дві певні поверхні, клей змочує обидві. А після того, як затвердіє, він міцно їх з'єднає.

Оскільки розплавлене олово добре змочує інші тверді метали, цим також можна скористатися. Технологія поєднання різних металів іншим розплавленим металом називається **паянням**. У цьому разі використовують припій — найчастіше сплав олова й свинцю. Припій розтікається та добре змочує поверхні твердих металів, а після охолодження твердіє та міцно з'єднує поверхні, які потрібно спаяти (рис. 4).



Рис. 4

## ■ ТРИ СТАНИ РЕЧОВИНИ

Усі тіла поділяються на три великі класи — тверді, рідкі й газоподібні. Ці три стани називають **трьома агрегатними станами речовини** (рис. 5).

По-перше, важлива зовнішня ознака. Тверді тіла зберігають свою **форму**. Рідкі тіла, як і газоподібні, на відміну від твердих, своєї форми не мають, а набувають форми посудини, у яку їх поміщено.

Наступна характеристика — **об'єм**. Тверді тіла зберігають об'єм так само, як і рідкі. Завдяки тому, що рідина може змінювати свою форму, але залишається завжди тілом певного об'єму, в неї є **вільна поверхня**, що відмежовує ділянку, де рідина є, від тієї, де рідини немає. Ця поверхня має дуже цікаві властивості, які нам ще належить вивчити. Що ж до газу, то його об'єм змінюється залежно від стану, в якому він перебуває, та завжди збігається з об'ємом посудини.

Тепер перейдемо від зовнішніх ознак до аналізу на молекулярному рівні. Навіть стародавні вчені намагалися

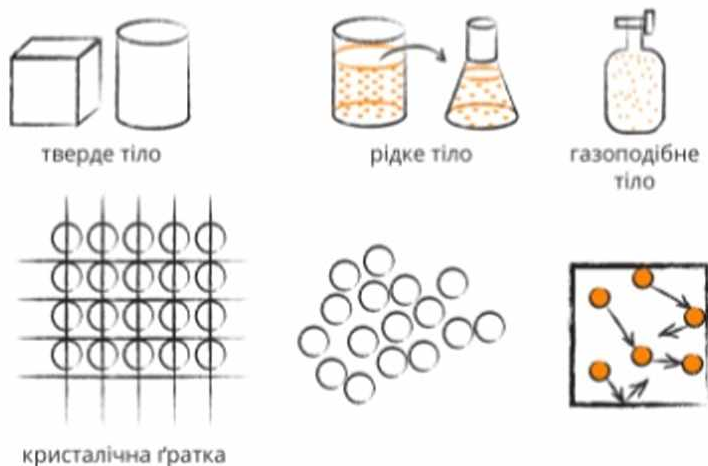


Рис. 5

Це відношення можна переписати через величини, які легко виміряти:

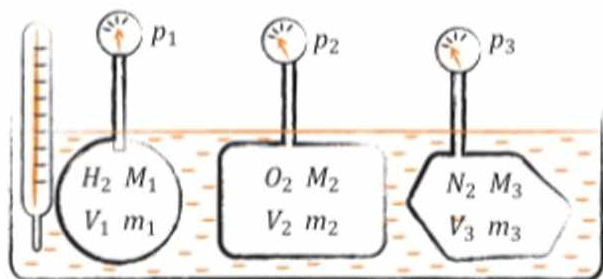
$$\frac{p}{n} = \frac{pMV}{mN_A}$$

За допомогою цієї формули можна знайти відношення тиску до концентрації, а отже, опосередковано виміряти середню кінетичну енергію хаотичного поступального руху молекул.

Перейдемо від теорії до експерименту: візьмемо кілька різних газів з не надто високим тиском (щоб гази поводитися як ідеальні) та приведемо їх до стану теплової рівноваги. Для цього помістимо в одну посудину з водою балони з воднем, киснем і азотом, з'єднаємо кожен з окремим манометром (рис. 2).

Об'єм і масу кожного газу можемо виміряти, молярна маса нам теж відома. Таким чином, маємо всі дані, щоб знайти відношення тиску до концентрації, тобто середню кінетичну енергію з точністю до коефіцієнта.

Якщо проведемо такий дослід, можемо помітити, що для всіх газів відношення тиску до концентрації стане однаковим, щойно гази досягнуть стану теплової рівноваги (простіше кажучи, якомога довше полежать у воді).



$$\frac{p_1 M_1 V_1}{m_1 N_A} = \frac{p_2 M_2 V_2}{m_2 N_A} = \frac{p_3 M_3 V_3}{m_3 N_A}$$

Рис. 2



Рис. 3

повітря та підвищення його тиску на воду → витіснення води з колби в трубку.

Отже, найлегше розширюються гази. На другому місці — рідини, на третьому — тверді тіла.

Різні тверді тіла зі зміною температури на однакову величину розширюються по-різному. Переконатися в цьому можна, якщо виготовити так звану **біметалеву пластину**. Це пластина з двох смужок різних металів (наприклад, заліза й цинку), накладених одна на одну та з'єднаних між собою (скажімо, за допомогою заклепок) (рис. 4).

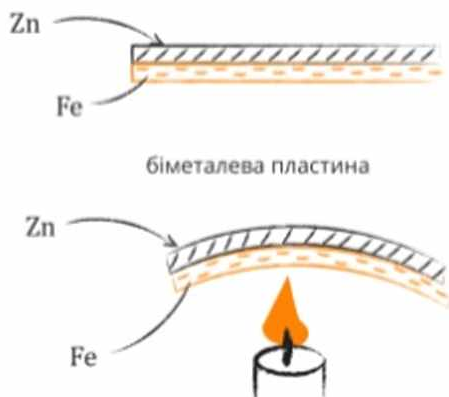


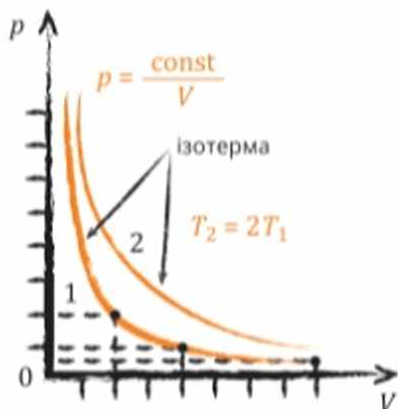
Рис. 4



Опишемо цей закон за допомогою графіка. Як правило, під час проведення дослідів змінюють об'єм газу опусканням або підніманням поршня, після чого вимірюють тиск. Тому вважатимемо об'єм незалежною змінною і відкладатимемо по горизонтальній осі графіка, а тиск обчислюватимемо й відкладатимемо по вертикальній осі. Із формули (1) випливає:

$$p = \frac{\text{const}}{V}.$$

Такий зв'язок тиску з об'ємом називається **обернено пропорційною залежністю**. Графік цієї залежності матиме такий вигляд:



Припустимо, що об'єм і тиск дорівнюють двом певним довільним одиницям. У разі збільшення об'єму вдвічі тиск зменшиться теж удвічі. І об'єму в 4 одиниці відповідатиме тиск в 1 одиницю. Якщо візьмемо 8 одиниць об'єму, тиск становитиме вже 0,5 одиниці. Якщо зменшимо об'єм з 2-х одиниць до 1-ї — тиск зросте вдвічі й т. д. Як наслідок, отримуємо набір точок, через які можна провести плавну криву (крива 1). Математики називають таку криву гіперболою, а фізики — **ізогермою**. У будь-якій точці ізогерми температура одна й та сама.

Знову звертаємося до рівняння Клапейрона–Менделєєва:

$$pV = \frac{m}{M} RT.$$

Праворуч від знака рівності розташуємо величини, які не змінюються впродовж ізохорного процесу, а решту перенесемо в ліву частину:

$$\frac{p}{T} = \frac{mR}{MV}.$$

$$\boxed{\frac{p}{T} = \text{const.}} \quad (3)$$

Ми отримали окремий газовий закон для ізохорного процесу. Його можна подати й у такому вигляді:

$$\boxed{\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}.$$

Обидва варіанти є формами запису закону, що має назву **закон Шарля**.

**За сталого об'єму відношення тиску даної маси газу до його абсолютної температури є сталою величиною.**

Дослідимо цю залежність, змінюючи температуру та відстежуючи зміни тиску. З формули (1) випливає:

$$p = \text{const} \cdot T.$$

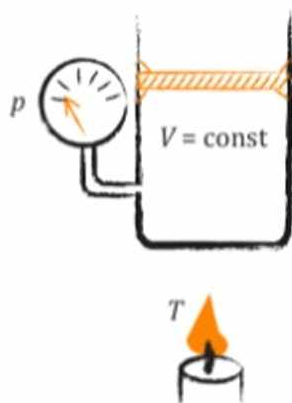


Рис. 3

пальника й теж прогрівається. Отже, конвекція — це перенесення енергії струменями, у нашому разі рідини.

Демонстрацію досліду дивіться тут:



Ще яскравіше конвекція виявляється в газах, тому що гази набагато краще розширюються під час нагрівання, їхня густина значно знижується.

Щоб спостерігати конвекцію в газах, виготовимо пристрій у вигляді штатива, на якому вертикально закріплено голку зі встановленою на ній картонною «змійкою» (спіраллю) (рис. 3).

Створимо конвекційний потік: нагріємо повітря під «змійкою» за допомогою ввімкненої лампи розжарювання. Змійка почне обертатися в струменях теплого повітря.



Рис. 3

Демонстрацію досліду дивіться тут:



Ми бачимо, що, на відміну від теплопровідності, під час конвекції перенесення енергії супроводжується перенесенням речовини.

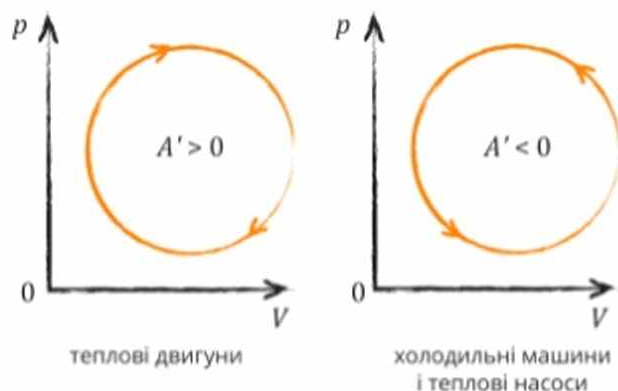


Рис. 8

Робота в цьому разі відрізнятиметься лише за знаками. Якщо цикл проходить за годинниковою стрілкою, система здійснює роботу над зовнішніми тілами. Якщо ж обхід відбувається проти годинникової стрілки, зовнішні сили виконують роботу над системою, а сама система виконує від'ємну роботу. Обидва типи циклів застосовують у техніці. Перший вид — у теплових двигунах, коли за рахунок процесів у газі виконується механічна робота, щоб, наприклад, розігнати автомобіль. А цикли другого типу використовують у холодильних машинах і в теплових насосах — пристроях, де за рахунок роботи зовнішніх сил (яку виконує, скажімо, електродвигун) теплота передається від менш нагрітого тіла до більш нагрітого.

Розв'язки задач  
для закріплення матеріалу  
дивіться тут:

