Основні поняття розділу «Молекулярна фізика. Термодинаміка»

Молекулярна фізика — розділ фізики, у якому розглядаються закономірності атомно-молекулярної будови макроскопічних тіл (систем).

Основні положення молекулярно-кінетичної теорії

І положення. Усі речовини складаються з молекул або інших структурних одиниць (атомів, іонів і електронів), розділених проміжками.

Свідченням дискретної побудови речовини є фотографії, одержані за допомогою іонного, електронного і тунельного мікроскопів. Про наявність проміжків між молекулами свідчить зміна об'єму твердих тіл і рідини при змінюванні їхньої температури.

ІІ положення. Молекули або інші структурні частинки перебувають у неперервному хаотичному русі. Підтвердженням цього положення є явища дифузії, броунівського руху, осмосу (рис. 1, а).

Дифузія — це процес перерозподілу концентрації атомів у просторі шляхом хаотичної, тобто теплової, міграції.

Осмос - одностороння дифузія.

Броунівський рух — хаотичний рух частинок твердого тіла, що зависли у рідині або в газі (рис. 1, б). Відкритий у 1827 р. англійським ботаніком Р. Броуном. Спостерігається в оптичний мікроскоп із збільшенням Г = 500. Пояснюється поштовхами молекул, які оточують частинку, внаслідок їх неупорядкованого теплового руху.

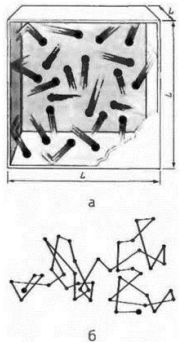

Рис.1

ІІІ положення. Молекули або атоми одночасно притягуються відштовхуються, а рівнодійна цих сил називається силою молекулярної взаємодії. Свідченням є виникнення пружних сил при деформації тіл, виникнення сил поверхневого натягу.

Сили молекулярної взаємодії є силами притягання й відштовхування, залежать від відстані між молекулами і виникають унаслідок взаємодії електричних зарядів, які входять до їх складу. Ці сили є короткодіючими.

Графік залежності сили молекулярної взаємодії в від відстані між молекулами для найпростіших молекул зображений на рис. 2.

Якщо r = r0 = dM (dM —діаметр молекули), молекули перебувають у рівновазі.

Якщо r < r0, переважають сили відштовхування.

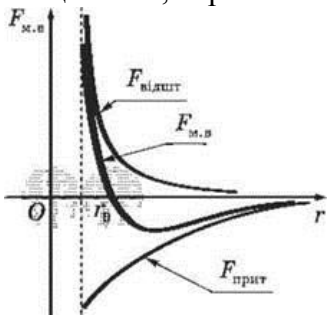

Рис. 2

Якщо 10r0 > r > r0, переважають сили притягання.

Якщо r = 10 r0, сили притягання мізерно малі, так що ними можна знехтувати. Отже, відстань дії молекулярних сил близько ~ 10-9 м.

Найпростіші молекули — це одно-, триатомні молекули, які можна уявити як кульку певного діаметрado ≈ 10-10 м.

Молекула — найменша стійка частинка речовини, яка зберігає її основні хімічні властивості. Вона складається з атомів однакових або різних хімічних елементів, наприклад H2, NaCl, C6H12O6.

Сукупність молекул зберігає фізичні властивості речовини.

Речовина є те, із чого складається фізичне тіло.

Атом — найменша частинка речовини, яка не ділиться при хімічних реакціях, наприклад H, Na, Cl, C, O.

Маси атомів і молекул прийнято порівнювати з 1/12 маси атома ізотопу Карбону 126C.

Відносною молекулярною масою Mr називають відношення маси молекули mo до 1/12 маси атома Карбону m0c (атомної одиниці маси, а. о. м.):

$$M_r = \frac{m_0}{\frac{1}{12} m_{0c}},$$

де Mr — безрозмірна величина.

Маса молекули визначається за допомогою періодичної системи Менделєєва, де вказані відносні атомні маси речовин Mr.

Один моль — кількість речовини, у якій міститься стільки ж молекул або атомів, скільки в Карбоні 126С масою 0,012 кг.

Стала Авогадро (N_A) — число атомів або молекул в 1 молі будь-якої речовини:

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

Згідно із законом Авогадро 1 моль ідеального газу займає за нормальних умов

$$\left(p_0 = 1{,}01 \cdot 10^5 \text{ Па}, \ T = 273 \text{ К}\right)$$

об'єм

$$V_м = 22{,}4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{моль}^{-1}.$$

Кількість речовини (υ) дорівнює відношенню числа молекул (N) у даному тілі до сталої Авогадро (NA), тобто до числа молекул в 1 молі речовини:

$$V = \frac{N}{N_A}.$$

Одиниця кількості речовини — 1 моль.

Маса одного моля речовини називається молярною масою:

$$M = m_0 N_A,$$

або

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

Одиниця молярної маси — 1 кг/моль.

Маса молекули (в кг) виражена через молярну масу:

$$m_0 = \frac{M}{N_A}.$$

Маса тіла (в кг) виражена через масу однієї молекули і число молекул:

$$m = m_0 N.$$

Кількість речовини (в молях) дорівнює відношенню маси речовини до її молярної маси:

$$V = \frac{m}{M}.$$

Ідеальний газ — де газ, у якому середня відстань між молекулами набагато більша від розмірів молекул, і тому в ньому потенціальною енергією молекул нехтують (рис. 3).

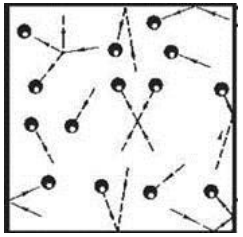

Рис. 3

Середня квадратична швидкість молекул ($\upsilon_{кв}$) — це корінь квадратний із середнього квадрата швидкості:

$$\vec{\upsilon}_{кв} = \sqrt{\vec{\upsilon}^2}.$$

Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії газу (рівняння Клаузіуса) зв'язує мікропараметри (m0,n, $\bar{\vartheta}$) і макропараметри (p, V, т):

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \vec{\upsilon}^2,$$

де m0 — маса молекули, n — концентрація молекул, $\bar{\vartheta}$ — середня квадратична швидкість руху молекул.

Якщо $\vec{E}_к = \frac{m_0 \vec{\upsilon}^2}{2}$ — середня кінетична енергія поступального руху молекули, то основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії (МКТ) можна записати у вигляді

$$p = \frac{2}{3} n\bar{E}_к .$$

Температура — це величина, яка характеризує теплову рівновагу системи. У всіх частинах системи, що перебуває в тепловій рівновазі, температура однакова.

У молекулярно-кінетичній теорії температура — це величина, зумовлена середньою кінетичною енергією частинок, із яких складається система:

$$\bar{E}_к = \frac{3}{2} kT$$ - для одноатомних молекул,

$$\bar{E}_к = \frac{5}{2} kT$$ — для двоатомних молекул.

$k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К - стала Больцмана, яка зв'язує температуру в енергетичних одиницях з температурою в кельвінах (Т):

$$\theta = kT .$$

Основне рівняння МКТ, яке виражає залежність тиску газу (р) від концентрації молекул (n) і температури (Т):

$$p = nkT .$$

Закон Авогадро: у рівних об'ємах газів при однакових температурах і тиску міститься однакова кількість молекул:

$$p = nkT , \; n = \frac{N}{V} , \text{ отже, } p = \frac{N}{V} kT .$$

Концентрація (n) дорівнює кількості частинок в одиниці об'єму:

$$n = \frac{N}{V} , \; [n] = м^{-3} .$$

Температура вимірюється рідинними або газовими термометрами, відповідним чином градуйованими. Висока температура вимірюється оптичними термометрами (за спектром випромінювання) або електричними (напівпровідникові термістори, термопари).

У міжнародній шкалі температур за нуль прийнято температуру танення льоду при нормальному атмосферному тиску, за 100 °С — температуру пари киплячої води при нормальному атмосферному тиску. 1/100 цього інтервалу — це 1 °С (Цельсія). Позначається t °С.

У термодинамічній шкалі температур за нуль прийнята температура, при якій припинився б тепловий рух частинок, із яких складається тіло, Ця температура називається абсолютним нулем температур. Одиниця термодинамічної шкали температур у системі СІ — кельвін (К). Позначається Т (1 К = 1 °С) (рис. 4).

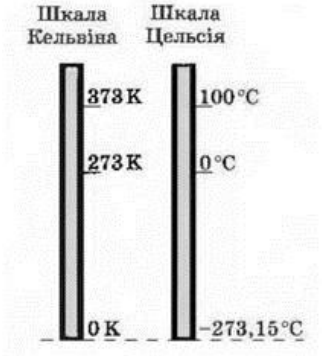

Рис. 4

Формула зв'язку термодинамічної температури (Т) і температури за міжнародною шкалою температур:

$$T = (273{,}15 + t) K .$$

За міжнародною шкалою абсолютний нуль відповідає температурі -273,15 °С.

Середня швидкість теплового руху одноатомних молекул:

$$\bar{\upsilon} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} ,$$

$$R = 8{,}31 \frac{Дж}{К \cdot моль}$$ - універсальна газова стала, що дорівнює добутку сталої Больцмана і сталої Авогадро:

$$R = k \cdot N_A .$$

Дослід Штерна (1920) дає змогу визначити середню швидкість руху молекул експериментально за формулою

$$\vec{v} = \frac{2\pi n (R_B - R_A) R_B}{S},$$

де n — частота обертання циліндрів;
Rв — радіус більшого циліндра;
RA — радіус меншого циліндра;
S — ширина розмитості смуги срібла
— Не зберігають ні форми, ні об'єму.
— Характер молекулярного руху: безладний (хаотичний) рух.

Рівняння стану ідеального газу зв'язує макроскопічні параметри p, V, T, які характеризують стан даної маси тіла.

Рівняння стану ідеального газу (рівняння Клапейрона—Менделєєва), яке зв'язує макропараметри одного стану газу:

$$pV = \frac{m}{M} RT, \text{ або } pV = \upsilon RT.$$

Рівняння стану ідеального газу (рівняння Клапейрона), яке зв'язує макроскопічні стани системи даної маси газу при переході зі стану 1 у стан 2:

$$(p_1, V_1, T_1) \xrightarrow{m = \text{const}} (p_2, V_2, T_2),$$

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}.$$

Газові закони визначають кількісну залежність між двома параметрами даної маси газу при фіксованому значенні третього параметру.

Процеси, перебіг яких відбувається при незмінному значенні одного із параметрів, називаються ізопроцесами.

$$T = \text{const}, \ \Delta T = 0, \ m = \text{const}.$$

Ізотермічний процес описується законом Бойля—Маріотта: для даної маси газу добуток тиску газу на його об'єм є сталим, якщо температура газу не змінюється:

$$p_1 V_1 = p_2 V_2, \text{ або } pV = \text{const}.$$

Ізотерма — графік залежності між параметрами даної маси газу за сталої температури (рис. 5).

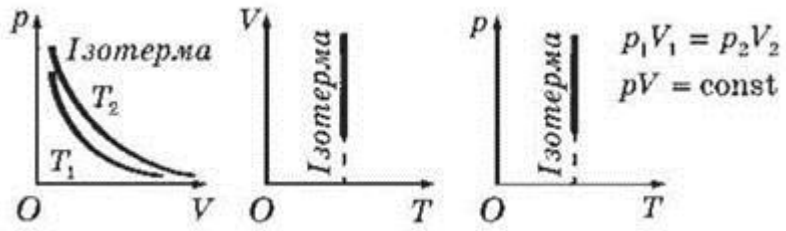

Рис. 5

Ізотермічний процес проходить повільно, оскільки він зумовлений теплообміном з навколишнім середовищем.

$$p = \text{const}, \ \Delta p = 0, \ m = \text{const}.$$

Ізобарний процес описується законом Гей-Люссака: для даної маси газу відношення об'єму і температури є сталим, якщо тиск газу не змінюється:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \text{ або } \frac{V}{T} = \text{const}.$$

Закон Гей-Люссака можна подати у вигляді

$$V = V_0 (1 + \beta t) \text{ або } \frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta T,$$

де t — температура за міжнародною шкалою;
V0 — об'єм при 0 °C;
β — коефіцієнт об'ємного розширення газу;

$$\beta = \frac{1}{273} \text{ К}^{-1}$$

— при сталому тиску для ідеального газу.

Ізобара — графік залежності між параметрами стану даної маси газу за сталого тиску (рис. 6, 7).

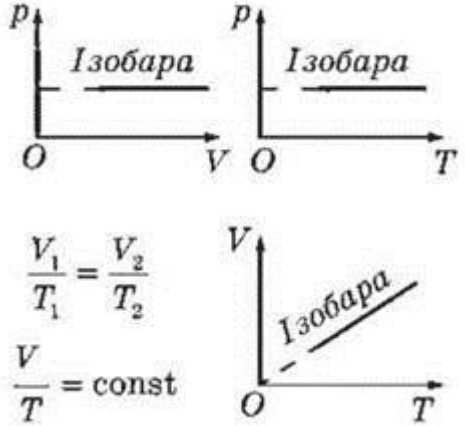

Рис. 6

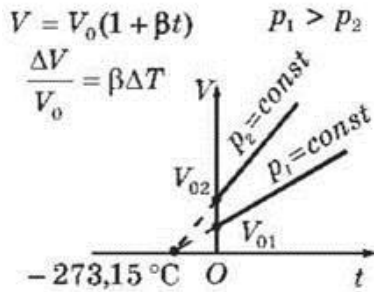

Рис. 7

Ізохорний процес описується законом Шарля: для даної маси газу відношення тиску до температури є сталим, якщо об'єм не змінюється:

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}, \text{ або } \frac{P}{T} = \text{const}.$$

Закон Шарля можна подати у вигляді:

$$p = p_0(1 + \gamma t), \text{ або } \frac{\Delta p}{p_0} = \gamma \Delta T,$$

де p — тиск газу при температурі t;

p0 — тиск газу при температурі 0 °C;

γ — термічний коефіцієнт тиску;

$$\gamma = \frac{1}{273} \text{ К}^{-1}.$$

для всіх газів

Ізохора — графік залежності між параметрами стану даної маси газу при сталому об'ємі (рис. 8, 9).

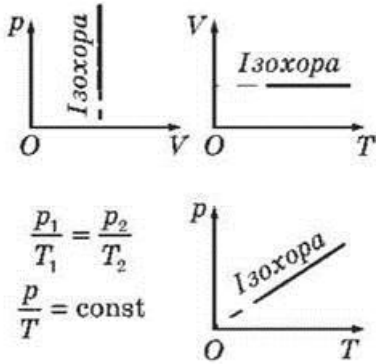

Рис. 8

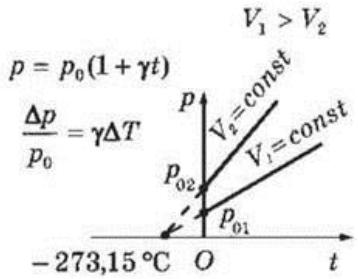

Рис. 9

Закон Дальтона: тиск суміші газів дорівнює сумі парціальних тисків складових газів:

$$p = p_1 + p_2 + \ldots + p_n.$$

Парціальний тиск — це тиск, який створював би газ, якби він займав даний об'єм сам.

Пара — це газоподібний стан речовини, у який можуть переходити як рідини (випаровування) (рис. 10), так і тверді тіла (сублімація).

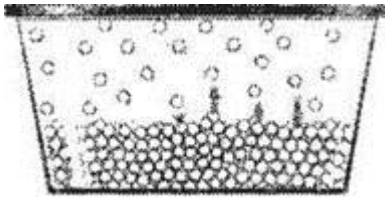

Рис. 10

Випаровування — процес перетворення рідини на пару. Відбувається за будь-якої температури. Рідина при випаровуванні охолоджується, оскільки її покидають «найшвидкіші» молекули, які розташовані ближче до поверхневого шару. Значна частина кінетичної енергії руху молекул витрачається на роботу виходу (Ek > Авих).

Для того щоб температура рідини при випаровуванні не знижувалась, до неї треба підводити тепло.

Швидкість випаровування залежить від:

1) виду рідини;
2) температури рідини;
3) площі вільної поверхні;
4) наявності вітру.

Конденсація — процес перетворення пари на рідину.

Пара, яка перебуває в динамічній (рухомій) рівновазі зі своєю рідиною, називається насиченою парою.

Динамічна рівновага настає тоді, коли швидкість пароутворення стає однаковою зі швидкістю конденсації. Якщо випаровування переважає над конденсацією — пара ненасичена.

Графік залежності тиску від температури для насиченої і ненасиченої пари зображений на рис. 11, а.

АВ — насичена пара; залежність p від T нелінійна, оскільки від T залежить концентрація молекул насиченої пари.

ВС — ненасичена пара, або ідеальний газ;

$$p \sim T\left(p = nkT\right).$$

Графік залежності густини рідини та її насиченої пари від температури зображений на рис. 11, б.

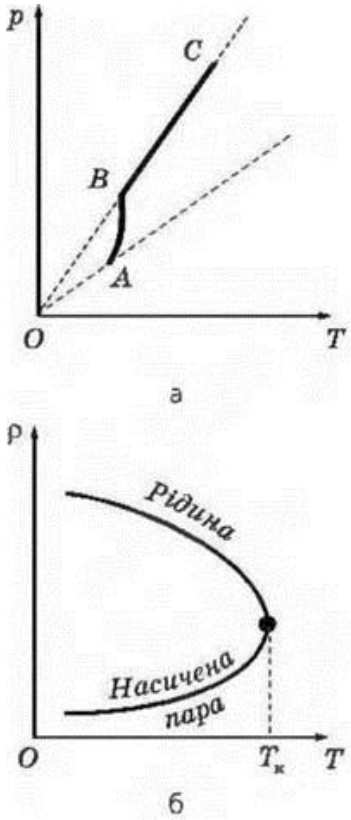

Рис. 11

Криві зливаються, якщо T = Тк,де Тк — критична температура.

Кипінням називається процес швидкого утворення й збільшення бульбашок насиченої пари, які прориваються крізь вільну поверхню.

Або:

Кипіння — пароутворення, яке відбувається як у всьому об’ємі рідини, так і з її поверхні за сталої температури, названої температурою кипіння.

Умова кипіння:

1) Рідина кипить, коли тиск насиченої пари дорівнює зовнішньому тиску на рідину. Температура кипіння води дорівнює 100 °С при нормальному атмосферному тиску:

$$p_{\text{насич}100} = p_{\text{атм}} \approx 10^5 \text{ Па}, \quad p_{\text{н. п}} = p_{\text{зовнішн}}, \quad p_{\text{н. п}} = p_{\text{атм}}.$$

2) Температура кипіння рідини залежить від виду рідини, наявності домішок, зовнішнього тиску на рідину.

3) При зменшенні зовнішнього тиску температура кипіння знижується, і навпаки. Якщо з рідини видалити розчинене повітря (багатократним кип'ятінням) і можливі центри пароутворення (пилинки, іони тощо), то можна зробити температуру рідини, дещо вищою від температури кипіння. Такий стан називається перегрітою рідиною. Перегріту рідину також можна одержати за умови, якщо зовнішній тиск стане меншим порівняно з тиском насиченої пари при даній температурі.

Розрізняють кристалічні та аморфні тверді тіла.

У аморфних тіл зберігається ближній порядок у розташуванні атомів, але відсутній дальній. Звідси випливають властивості аморфних тіл:

1. Вони не мають температури плавлення, оскільки немає кристалічної ґратки. При нагріванні вони розм'якшуються.

2. Вони ізотропні: їхні фізичні властивості однакові в усіх напрямках.

До аморфних тіл належать смола, скло, пластмаси.

Кристали — це тверді тіла, атоми й молекули яких займають певне, упорядковане положення в просторі. Наслідком упорядкованого розміщення атомів у кристалі є геометрична правильність його внутрішньої будови.

Властивості кристалів:

1. Анізотропія фізичних властивостей (їх залежність від вибраного в кристалі напряму).

2. Наявність температури плавлення. Кристалічне тіло, досягаючи температури плавлення, починає плавитись. Уся енергія, що підводиться до тіла, витрачається на збільшення потенціальної енергії взаємодії молекул при руйнуванні кристалічних ґраток, а кінетична енергія молекул стабільна, тому температура тіла при плавленні не змінюється.

3. Властивості кристала зумовлюються не лише тим, із яких атомів він складається, але й видом кристалічних ґраток. Наприклад, з тих самих атомів Карбону складаються алмаз (18, а) і графіт (рис. 18, б), але фізичні властивості у них різні.

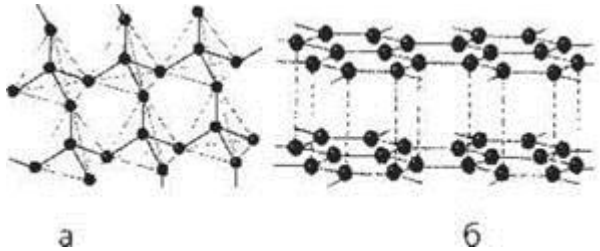

Рис. 18

Графік залежності температури від часу для кристалічного тіла (наприклад льоду, якщо ратм = 106Па) зображений на рис. 19.

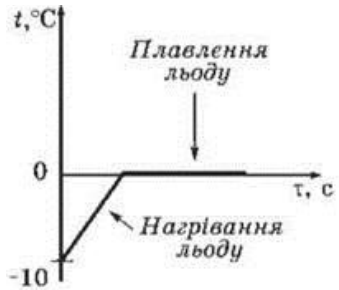

Рис. 19

Одиночні кристали — монокристали. Тверде тіло, яке складається з великої кількості маленьких кристалів, називають полікристалом (наприклад, метали, цукор). Полікристалам властива ізотропія.

Вузол кристалічних ґраток — точка, відносно якої атом (молекула) здійснює коливання.

ДІАГРАМА РОЗТЯГУ ТВЕРДИХ ТІЛ

Діаграма показана на рис. 20.

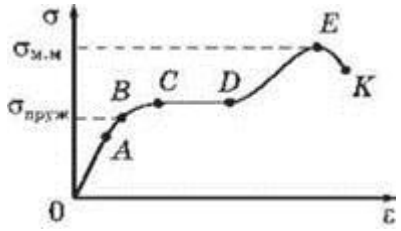

Рис. 20

Ділянка ОА: при малих деформаціях напруга о прямо пропорційна відносному подовженню є. Виконується закон Гука: $\sigma = |\varepsilon| E$. Деформація пружна.

Ділянка АВ: закон Гука не виконується, але деформація пружна. Максимальна напруга, за якої ще не виникає помітна залишкова деформація, називається межею пружності σпруж.

Ділянка ВС: пластична деформація.

Ділянка CD: ділянка плинності матеріалу. Видовження відбувається практично без збільшення навантаження.

Ділянка DE: зміцнення матеріалу: видовження відбувається при значному збільшенні навантаження.

При досягненні максимального значення механічної напруги σм.м. (межа міцності) матеріал розтягується без збільшення зовнішнього навантаження до самого зруйнування в точці К.

Термодинаміка — розділ фізики, який вивчає загальні властивості макроскопічних систем, що перебувають у стані термодинамічної рівноваги. Термодинаміка вивчає найбільш загальні закономірності перетворення енергії, але не розглядає молекулярної будови речовини.

Будь-яка система, що складається з великої кількості частинок — атомів, молекул, іонів та електронів, які здійснюють хаотичний тепловий рух і при взаємодії між собою обмінюються енергією, називається термодинамічною системою. Такими системами є гази, рідини й тверді тіла (їх ще називають макроскопічними тілами).

Стан термодинамічної системи зумовлюється температурою, об’ємом, зовнішнім тиском та іншими термодинамічними параметрами.

Внутрішня енергія макроскопічного тіла дорівнює сумі кінетичних енергій безладного руху всіх молекул (або атомів) відносно центра мас тіла і потенціальних енергій взаємодії всіх молекул одна з одною.

Внутрішня енергія змінюється при:

— теплопередачі (рис. 21, а);

— виконанні роботи над тілом або самим тілом. Наприклад, при терті пробірки виділяється тепло, і розігрітий газ виштовхує корок (рис. 21, б).

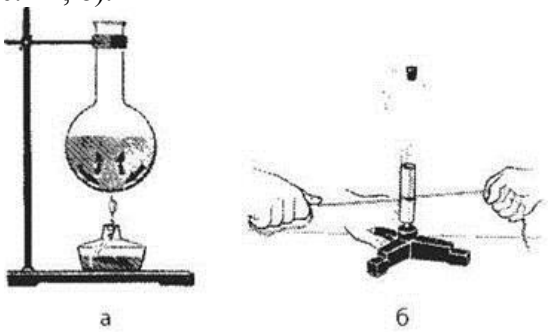

Рис. 21

Внутрішня енергія ідеального газу обумовлюється лише кінетичною енергією руху молекул; потенціальною енергією їх взаємодії можна знехтувати. Для ідеального газу масою m внутрішня енергія обчислюється за формулою

$$U = \frac{i}{2}\frac{m}{M}RT,$$

де i — число ступенів свободи молекули.

Числом ступенів свободи називають число незалежних величин, за допомогою яких може бути задане положення тіла або частинки. Для одноатомного газу i = 3, двоатомного —

i = 5, триатомного і більше — i = 6.

Термодинамічна робота виконується тілами при зміні їхнього об’єму.

Оскільки тверді й рідкі тіла при нагріванні розширюються незначною мірою, то незначною є і виконувана ними термодинамічна робота. Роботу в термодинаміці може виконувати лише газ, який значно змінює свій об’єм при нагріванні.

Робота ідеального газу при ізобарному процесі:

$$A' = p(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1).$$

Робота ідеального газу при ізотермічному процесі:

$$A' = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1}.$$

Геометричне тлумачення роботи газу:

Робота газу чисельно дорівнює площі фігури, обмеженої графіком залежності p від V, віссю V та ординатами початкового (рис. 22, а) і кінцевого стану (рис. 22, б).

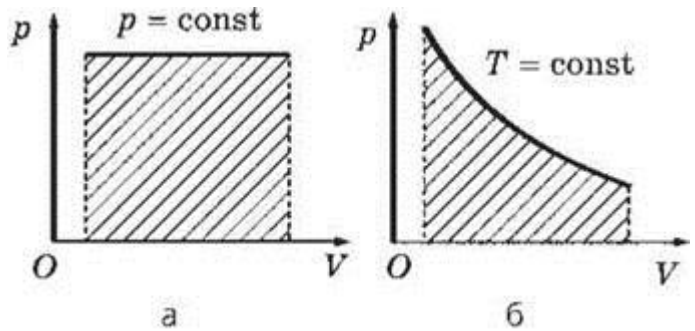

Рис. 22

Теплопередачею або теплообміном називається процес передавання енергії від одного тіла до іншого без виконання роботи.

Існує три способи теплопередачі:

— теплопровідність;

— конвекція;

— випромінювання.

Теплопровідність — вид теплопередачі, за якої передавання внутрішньої енергії від одних тіл до інших відбувається при їх безпосередньому контакті й зумовлене взаємодією атомів і молекул. Висока теплопровідність, наприклад, у металів. Вовна, поролон та інші пористі тіла мають низьку теплопровідність. Вакуум теплопровідністю не наділений.

Конвекція — вид теплопередачі, за якої внутрішня енергія від одних тіл до інших передається рухомими струменями рідини чи газу. Конвекція призводить до виникнення вітру (бриз) на березі моря.

При випромінюванні теплообмін зумовлений передачею енергії світловим потоком (здебільшого інфрачервона ділянка шкали електромагнітних хвиль). Цей вид теплопередачі відрізняється від інших тим, що може здійснюватися в повному вакуумі. Випромінюванням передається на Землю і сонячна енергія.

Та частина внутрішньої енергії, яку тіло втрачає чи отримує при теплопередачі, називається кількістю теплоти (Q):

$[Q] = \text{Дж}.$

При теплообміні не відбувається перетворення енергії з однієї форми на іншу: частина внутрішньої енергії гарячого тіла передається холодному; теплообмін припиняється при вирівнюванні їхніх температур.

Теплообмін у замкненій системі описується рівнянням теплового балансу:

$$Q_1 + Q_2 + \ldots + Q_n = 0,$$

$$Q_{\text{одерж}} = Q_{\text{від}},$$

де $Q_{\text{одерж}}$ і $Q^{\text{в}}_{\text{ід}}$ — сумарна кількість теплоти, відповідно одержана і віддана тілом при теплообміні.

Питома теплоємність речовини (c) — це величина, яка чисельно дорівнює кількості теплоти, що отримує або віддає 1 кг речовини при зміні її температури на 1 К:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}.$$

Одиниця питомої теплоємності — джоуль на кілограм-кельвін:

$$[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}.$$

Кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання тіла і яка виділяється при охолодженні тіла, обчислюється за формулами:

при нагріванні: $Q = cm(t_к - t_п);$

при охолодженні: $Q = cm(t_п - t_к),$

де $t_п$ і $t_к$ — відповідно початкова і кінцева температура.

Питома теплоємність речовини залежить від виду речовини, її агрегатного стану та інтервалу температур, у якому проходить теплопередача.

Рідкі й тверді речовини розширюються при нагріванні незначною мірою, їхні питомі теплоємності за сталого об'єму й сталого тиску залишаються сталими і наведені в таблицях.

Якщо нагрівати газ за сталою об'єму, його молярну теплоємність (CV) і питому теплоємність (cV) можна обчислити за формулами:

$$C_V = \frac{iR}{2}, \; c_V = \frac{C_V}{M} = \frac{iR}{2M},$$

де M — молярна маса речовини.

Якщо нагрівати газ за сталого тиску, його молярну теплоємність (Cp) і питому теплоємність (cp) можна обчислити за формулами:

$$C_p = C_V + R = \frac{(i+2)}{2}R, \; c_p = \frac{(i+2)R}{2M}.$$

Молярна теплоємність речовини — величина, яка визначається кількістю теплоти, необхідної для нагрівання 1 моля речовини на 1 К.

Одиниця молярної теплоємності — джоуль на моль-кельвін:

$$[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}.$$

Для калориметричних вимірювань використовується прилад — калориметр. Найпростіший калориметр являє собою посудину з покришкою, яка має форму склянки. Посудину ставлять на пробкову підставку, вміщену в іншу, більшу, посудину, так, що між ними залишається шар повітря, який є теплоізолятором.

Питомою теплотою згоряння палива називається величина, яка вимірюється кількістю теплоти, що виділяється при повному згорянні одного кілограма палива:

$$q = \frac{Q}{m}.$$

Одиницею питомої теплоти згоряння палива є «джоуль на кілограм»:

$$[q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Пристрої, у яких відбувається згоряння палива, називаються нагрівачами. Це печі, топки і горілки різної конструкції або камери згоряння в теплових машинах.

При оцінюванні ефективності нагрівача вводиться поняття коефіцієнта корисної дії (ККД) нагрівача η, який визначає, яка частина виділеної при нагріванні енергії використовується з користю:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{пов}}} = \frac{Q_{\text{кор}}}{q_m}.$$

Процес перетворення твердого кристалічного тіла на рідину називається плавленням; процес перетворення рідини на тверде кристалічне тіло — кристалізацією.

Питома теплота плавлення (кристалізації) (λ) — це величина, яка чисельно дорівнює кількості теплоти, необхідної для перетворення 1 кг кристалічної речовини за температури плавлення на рідину тієї самої температури:

$$\lambda = \frac{Q}{m}.$$

При кристалізації тіла виділяється така сама кількість теплоти, яка була витрачена на його плавлення.

Питома теплота пароутворення (конденсації) (L) - це величина, яка чисельно дорівнює кількості теплоти, яку необхідно витратити для перетворення 1 кг рідини на пару за незмінної температури:

$$L = \frac{Q}{m}.$$

Одиниця питомої теплоти плавлення і пароутворення — «джоуль на кілограм» (Дж/кг).

При конденсації пари у рідину виділяється така сама кількість теплоти, яка була витрачена на її випаровування.

Внутрішня енергія тіла змінюється при нагріванні або охолодженні, пароутворенні або конденсації, плавленні або кристалізації. У всіх випадках тілу передається або від нього віднімається деяка кількість теплоти.

Графік залежності температури від часу для кристалічного тіла при зміні його агрегатного стану (т. т.→ р. → п.) зображений на рис. 23.

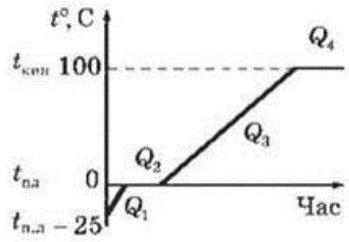

Рис. 23

Наприклад, лід → вода → водяна пара при нормальному атмосферному тиску:

$$Q_1 = c_л m\left(t_{пл} - t_{п.л}\right),\ Q_2 = \lambda m,$$

$$Q_3 = c_в m\left(t_{кип} - t_{пл}\right),\ Q_4 = Lm.$$

Закон збереження і перетворення енергії, поширений на теплові явища, називається першим законом (першим началом) термодинаміки.

Зміна внутрішньої енергії ΔU при переході її із одного стану в інший дорівнює сумі роботи зовнішніх сил A і кількості теплоти Q, переданої системі:

$$\Delta U = Q + A.$$

Якщо система сама виконує роботу A' над зовнішніми тілами, то (оскільки A' = -A) перший закон термодинаміки зручно формулювати так: кількість теплоти Q, передана системі, витрачається на зміну її внутрішньої енергії ΔU і на виконання системою роботи A' над зовнішніми тілами:

$$Q = \Delta U + A'.$$

Застосування першого закону термодинаміки до різних ізопроцесів у газах подано в таблиці.

Ізопроцеси у газах

Ізотермічний $T = \text{const}$, $m = \text{const}$	Ізохорний $V = \text{const}$, $m = \text{const}$	Ізобарний $p = \text{const}$, $m = \text{const}$	Адіабатний $Q = 0$
$\Delta T = 0$	$\Delta V = 0$	$\Delta p = 0$	$Q = 0$
$\Delta U = 0$	$A' = 0$	$Q = \Delta U + A'$	$\Delta U + A' = 0$
$Q = A'$	$Q = \Delta U$		$\Delta U = -A'$
			$\Delta U = A$

Адіабатний процес — процес у теплоізольованій системі (рис. 24, а):

$$Q = 0.$$

Рівняння Пуассона для адіабатного процесу в ідеальному газі:

$$pV^{\nu} = \text{const},$$

$$\nu = \frac{C_p}{C_V} = \frac{i+2}{i}$$ - це відношення молярних (чи питомих) теплоємкостей газу за сталих тиску й об'єму.

Діаграма адіабатного процесу в координатах p, V.

Адіабата (pV = const) розміщується більш круто, ніж ізотерма (T = const, pV = const). Це пояснюється тим, що при адіабатному стисненні збільшення тиску газу зумовлено не тільки зменшенням його об'єму, як при ізотермічному стисненні, а й підвищенням температури. При адіабатному розширенні температура знижується (ΔU = —A'), при стисненні — підвищується (ΔU = A) (рис. 24, б).

Оскільки ідеальної теплоізолюючої оболонки бути не може, адіабатний процес у природі може бути тільки швидкоплинним: Q → 0.

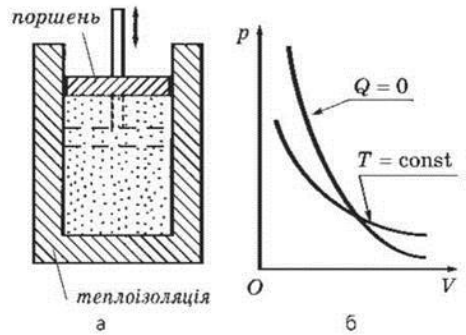

Рис. 24

Тепловий двигун — машина, що перетворює внутрішню енергію палива на механічну енергію.

Тепловий двигун має працювати циклічно; після розширення газу настає стиснення.

Три основні частини теплового двигуна (рис. 25, а):

1) нагрівач (Т1) —джерело внутрішньої енергії;

2) робоче тіло (газ або пара), що виконує механічну роботу за рахунок внутрішньої енергії, отриманої від нагрівача;

3) холодильник (Т2 < Т1), що забезпечує природний процес передачі тепла від більш нагрітого тіла до більш холодного, чим здійснює компенсацію процесу перетворення теплової енергії на механічну. Холодильником може бути навколишнє середовище (так охолоджується радіатор побутового кондиціонера, радіатор двигуна внутрішнього згоряння).

Цикл Карно — схема ідеальної теплової машини (з найвищим ККД).

Робота газу, що здійснюється, повністю відбувається за рахунок кількості теплоти, відданої нагрівачем. При стисненні газу робота зовнішніх сил повністю перетворюється на теплоту, що віддається холодильнику (рис. 25, б).

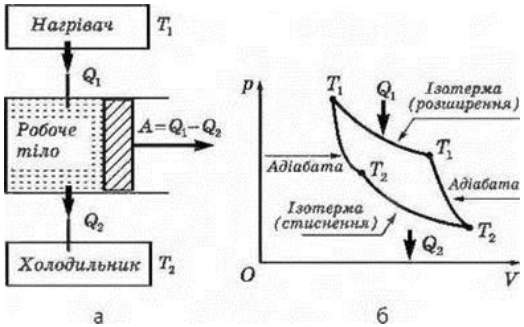

Рис. 25

Термодинамічний (термічний) ККД теплового двигуна:

$$\eta_т = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}, \text{ де } Q_1 - Q_2 = A_{\text{робочого тіла}}.$$

Теорема Карно. Термічний ККД циклу Карно не залежить від природи робочого тіла і є лише функцією температур нагрівача (Т1) і холодильника (Т2):

$$\eta_1 = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

ККД реальних теплових машин менший від ККД ідеальної машини. У реальній тепловій машині завжди наявні втрати на нагрівання, механічну роботу в механізмі машини; таким чином, корисна робота є меншою за роботу робочого тіла:

$$A_{кор} < Q_1 - Q_2.$$

Економічний ККД теплової машини —це відношення корисної роботи двигуна (Акор = N·t) до кількості теплоти, виділеної при згорянні палива:

$$\eta_{ек} = \frac{A_{кор}}{qm}$$

Деякі види теплових машин:

— парова і газова турбіни;

— парові машини;

— поршневі двигуни внутрішнього згоряння: а) карбюраторні (бензинові); б) дизелі;

— безпоршневі двигуни внутрішнього згоряння (реактивні двигуни).