

Тема 14. Основи термодинаміки.

Макропараметрами термодинамічної системи називають фізичні величини, які характеризують тіло загалом, незалежно від його молекулярної будови. До таких величин належать, зокрема, маса, об'єм, густина, тиск, температура тощо.

Температура – один з основних макропараметрів термодинамічної системи., що характеризує стан її **теплової**, або **термодинамічної рівноваги**.

Температура тіла залежить від швидкості руху атомів і молекул, з яких воно складається, – чим швидкість більше, тим більше температура.

Тіла з вищою температурою віддають теплову енергію тілам з нижчою температурою: теплообмін відбувається доти, поки їхні температури не вирівнюються.

Таким чином, із часом у термодинамічних системах унаслідок теплообміну настає стан термодинамічної рівноваги, коли температури всіх тіл стають однаковими й теплообмін між ними припиняється.

Внутрішня енергія тіла.

Будь-яке макроскопічне тіло має енергію, яка зумовлена його мікростаном. Ця енергія називається **внутрішньою** (позначається U). Вона дорівнює енергії всіх мікрочастинок речовини, з яких складається тіло.

Модель ідеального газу передбачає, що *енергією взаємодії молекул можна знехтувати*. Тому внутрішня енергія ідеального газу складається із кінетичної енергії всіх його молекул.

Змінити внутрішню енергію тіла можна двома способами: або в процесі теплообміну, або завдяки здійсненню роботи.

Перший закон термодинаміки.

У 1842 р. німецький природодослідник Р. Майєр теоретично встановив, а згодом у 1843 р. англійський учений Дж. Джоуль експериментальним шляхом виміряв еквівалентність значень кількості теплоти і роботи. За їхніми результатами було здійснено узагальнення щодо збереження енергії в природі: *енергія в природі не виникає з нічого і не зникає безслідно; вона лише переходить з однієї форми в іншу*.

Пізніше цей фундаментальний закон природи набув форми **першого закону термодинаміки**: кількість теплоти Q , що передана системі, дорівнює сумі зміни внутрішньої енергії системи ΔU та роботи системи A над зовнішніми тілами:

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

Величину **внутрішньої енергії ідеального газу** можна обчислити за допомогою ряду наступних формул:

$$U = NE_k = \frac{3NkT}{2} = \frac{3NRT}{2N_A} = \frac{3\nu RT}{2} = \frac{3mRT}{2M} = \frac{3PV}{2} .$$

Роботу газу для різних процесів обчислюють за різними формулами.

В ізобарному процесі ($P = const$): $A = P\Delta V$.

В ізохорному процесі ($V = const$): $A = 0$.

Адіабатний (адіабатичний) **процес** – це процес, який відбувається у теплоізолюваній системі, для якої кількість теплоти, переданої системі, $Q = 0$. Для цього процесу $A = -\Delta U$.

Робота газу в загальному випадку чисельно дорівнює **площі фігури під графіком залежності тиску від об'єму**, побудованим в координатах (P, V).

Теплові двигуни.

Теплові двигуни – це пристрої, які перетворюють теплову енергію палива в механічну роботу. Будь-який тепловий двигун має три обов'язкові елементи: **нагрівник**, **робоче тіло** та **холодильник**. Зараз ми розглядаємо теплові двигуни, в яких робочим тілом є ідеальний газ.

При згорянні палива виділяється кількість теплоти $Q = qt$, де q – питома теплота згорання палива (теплотворна здатність), t – маса палива.

Одержавши від нагрівника кількість теплоті Q_1 , газ виконує роботу A і віддавши холодильнику кількість теплоти Q_2 , повертається у початковий стан. Звідси випливає, що, по-перше, теплові двигуни працюють **циклічно**, тобто зміна параметрів стану газу відбувається у замкненому циклі. По-друге, не вся теплова енергія перетворюється у роботу, тому теплові двигуни характеризують **коефіцієнтом корисної дії** (ККД), який позначається η .

Робота газу за цикл чисельно дорівнює площі циклу, побудованого в координатах (P, V) . Вона також дорівнює різниці кількості теплоти, одержаної газом від нагрівника (Q_1) та відданої холодильнику (Q_2) :

$$A = Q_1 - Q_2.$$

Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна обчислюють за формулою:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}.$$

Максимальний ККД, який може мати тепловий двигун (так званий «ідеальний тепловий двигун») дорівнює

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

де T_1 – температура нагрівника, T_2 – температура холодильника.

Приклад 1. Якщо макроскопічні параметри системи з часом залишаються незмінними, то:

- А) віддача тепла системою компенсується виконанням над нею роботи зовнішніми силами;
- Б) система виконує додатну роботу за рахунок відповідного зменшення внутрішньої енергії;
- В) система перебуває в тепловій рівновазі;
- Г) отримання тепла системою компенсується виконаною нею роботою.

Відповідь: В.

Приклад 2. Процес, під час якого ідеальний газ виконує додатну роботу і не змінює своєї внутрішньої енергії, називається:

- А) адіабатним розширенням;
- Б) ізобарним нагріванням;
- В) ізотермічним розширенням;
- Г) ізохорним нагріванням.

Відповідь: В.

Приклад 3. Як змінюється внутрішня енергія ідеального одноатомного газу за ізотермічного збільшення об'єму газу в 2 рази?

Відповідь: не змінюється.

Приклад 4. Газ стискають за постійного тиску 200 кПа, виконуючи над ним роботу 40 кДж. На скільки змінився об'єм газу?

$$P = 2 \cdot 10^5 \text{ Па}, \quad A = 4 \cdot 10^4, \quad P = \text{const}$$

$$A = P \Delta V, \quad \Delta V = \frac{A}{P} = \frac{4 \cdot 10^4}{2 \cdot 10^5} = 0,2 \text{ м}^3.$$

Відповідь: на $0,2 \text{ м}^3$.

Приклад 5. У циліндрі під поршнем знаходиться 40 г гелію. Унаслідок теплопередачі температура газу збільшилась на 20° С . Визначте зміну внутрішньої енергії газу.

$$m = 0,04 \text{ кг}, \quad \Delta T = 20.$$

$$\Delta U = \frac{3mR\Delta T}{2M} = \frac{3 \cdot 0,04 \cdot 8,31 \cdot 20}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}} = 2500 \text{ Дж} = 2,5 \text{ кДж}.$$

Відповідь: 2,5 кДж.

Приклад 6. Під час ізохорного нагрівання газ отримав кількість теплоти 9 кДж. На скільки збільшилась його внутрішня енергія?

$$Q = 9 \text{ кДж}, \quad A = 0.$$

$$Q = \Delta U + A, \quad \Delta U = Q = 9 \text{ кДж}.$$

Відповідь: 9 кДж.

Приклад 7. Під час ізобарного нагрівання 0,04 кг неону його температура змінилась на 20° С. Яку кількість теплоти отримав газ?

$$\Delta T = 20, \quad m = 40 \text{ г}, \quad M = 0,02 \text{ кг/моль}$$

$$Q = \Delta U + A = \frac{3}{2}P\Delta V + P\Delta V = \frac{5}{2}P\Delta V = \frac{5}{2} \cdot \frac{m}{M}RT$$

$$Q = \frac{5}{2} \cdot \frac{0,04}{0,02} \cdot 8,31 \cdot 20 = 831 \text{ Дж}$$

Відповідь: 831 Дж.

Приклад 8. Яку роботу виконує кисень масою 0,64 кг під час ізобарного нагрівання на 40° С?

$$m = 0,64 \text{ кг}, \quad \Delta T = 40$$

$$A = P\Delta V = \frac{m}{M}R\Delta T = \frac{0,64}{0,032} \cdot 8,31 \cdot 40 = 6648 \text{ Дж} = 6,65 \text{ кДж}$$

Відповідь: 6,65 кДж.

Приклад 9. Під час ізобарного нагрівання 80 г аргону його об'єм збільшився на 50%. На скільки змінилась внутрішня енергія газу, якщо його початкова температура становила 300 К?

$$m = 0,08 \text{ кг}, \quad P = \text{const}, \quad V_2 = 1,5V_1. \quad T_1 = 300 \text{ К.}$$

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{T_2}{T_1}, \quad \frac{T_2}{T_1} = 1,5, \quad T_2 = 1,5 \cdot 300 = 450 \text{ К}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot \frac{m}{M}R\Delta T = \frac{3}{2} \cdot \frac{0,08}{0,04} \cdot 8,31 \cdot (450 - 300) = 3739 \text{ Дж} = 3,7 \text{ кДж}$$

Відповідь: на 3,7 кДж.

Приклад 10. Під час ізобарного нагрівання одноатомного ідеального газу було виконано роботу 24 кДж. На скільки збільшилась при цьому внутрішня енергія газу?

$$\Delta U = \frac{3}{2} P\Delta V, \quad A = P\Delta V, \quad \Delta U = \frac{3}{2} A = 36 \text{ кДж.}$$

Відповідь: на 36 кДж.

Приклад 11. Під час розширення певної маси ідеального газу його об'єм збільшився на 50%, а тиск зменшився на 25%. Як змінилася (у відсотках) внутрішня енергія газу?

Відповідь: збільшилась на 12,5%.

Приклад 12. Оберіть правильне співвідношення між кількістю теплоти Q_1 , яку отримало робоче тіло від нагрівача, кількістю теплоти Q_2 , яку передано холодильнику, та корисною роботою $A_{\text{кор}}$ для машини, ККД якої становить 25%.

А $A_{\text{кор}} = 0,75 Q_1$	Б $Q_1 = 0,25 Q_2$	В $Q_2 = 0,75 Q_1$	Г $A_{\text{кор}} = 0,25 (Q_1 + Q_2)$
-------------------------------	--------------------	--------------------	---------------------------------------

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 0,25, \quad Q_1 - Q_2 = 0,25 Q_1, \quad Q_2 = 0,75 Q_1.$$

Відповідь: В.

Приклад 13. Для збільшення ККД теплової машини потрібно:

А) збільшити температуру тільки холодильника;

Б) зменшити температуру тільки нагрівача;

В) збільшити температуру холодильника, зменшити температуру нагрівача;

Г) зменшити температуру холодильника, збільшити температуру нагрівача;

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Відповідь: Г.

Приклад 14. Від нагрівача робоче тіло теплової машини за певний час отримує 400 МДж тепла. Визначте ККД машини, якщо в навколишнє середовище в процесі виконання роботи вона за цей час витрачає 300 МДж тепла.

Відповідь: 25%.

Приклад 15. На атомних електростанціях температура водяної пари на виході з реактора становить 297°C . Яким може бути максимальний розрахунковий ККД атомної електростанції як теплової машини, якщо температура озера біля станції, яке використовується як холодильник, становить 27°C ?

Відповідь: 47,4%.

Приклад 16. Установіть відповідність між поведінкою газу під час процесу і описом процесу.

1	Газ виконує додатну роботу й отримує тепло
2	Газ виконує від'ємну роботу й віддає тепло
3	Газ виконує додатну роботу, тепло не отримує й не віддає
4	Газ роботу не виконує, але тепло отримує

А	Адіабатне розширення
Б	Ізохорне нагрівання
В	Ізобарне розширення
Г	Ізотермічне стискання
Д	Ізохорне охолодження

Відповідь: 1 – В, 2 – Г, 3 – А, 4 – Б.

Приклад 17. У герметичному сталевому балоні знаходиться кисень масою 1,6 кг. Йому передають 14,55 кДж тепла, що призводить до підвищення температури кисню на 10 К. Визначте, на скільки зросла внутрішня енергія кисню. Тертя не враховуйте.

Відповідь: 10,4 кДж.

Домашнє завдання:

основне: 2.32, 2.35, 2.37, 2.38, 2.39, 2.50, 2.51, 2.52, 2.53, приклади 11, 14, 15, 17.

додаткове: 2.34, 2.57.