

Внутрішня енергія тіл. Кількість теплоти. Робота термодинамічного процесу. Перший закон термодинаміки. Адіабатний процес

Завдання 1. Скласти опорний конспект.

1.1 Внутрішня енергія. (означення, формула)

1.2 Перший закон термодинаміки (означення, формула)

1.3 Застосування першого закону термодинаміки до ізопроцесів.)

Завдання 2. (письмові відповіді на питання і розв'язання задач)

Перший рівень

- 1. Який розділ фізики називають термодинамікою?*
- 2. Що таке внутрішня енергія?*
- 3. Як змінюється внутрішня енергія твердого тіла під час: а) нагрівання; б) охолодження; в) плавлення?*
- 4. Які ви знаєте способи зміни внутрішньої енергії?*
- 5. Ви потримали в руці монету, і вона нагрілася. Який був цього разу спосіб зміни внутрішньої енергії монети?*
- 6. Що таке кількість теплоти? Яка одиниця кількості теплоти?*
- 7. Сформулюйте перший закон термодинаміки.*
- 8. Тілу передали деяку кількість теплоти, причому тіло не виконувало роботу. Чи змінилася при цьому внутрішня енергія тіла? Якщо так, то збільшилася вона чи зменшилася?*
- 9. Наведіть приклади застосування першого закону термодинаміки до газових процесів.*
- 10. У якому процесі вся кількість теплоти, передана газу, перетворюється в роботу?*

Другий рівень

- 11. Наведіть приклади процесів, у яких внутрішня енергія змінюється. Як вона змінюється в кожному випадку — збільшується чи зменшується?*
- 12. Як пов'язана кількість теплоти, передана тілу, зі зміною внутрішньої енергії тіла за умови ізохорного процесу?*
- 13. Чому під час ізобарного нагрівання газу передають більшу кількість теплоти, ніж під час ізохорного? Зміна температури в обох випадках однакова.*

Третій рівень.

1. На скільки змінилася внутрішня енергія газу, що здійснив роботу 50 кДж, доставши кількість теплоти 85 кДж? (Збільшилась на 35 кДж)
2. У ході ізотермічного розширення газу була передана кількість теплоти 33 Дж. Яку роботу виконав газ? (300 Дж)
3. Одноатомному газу ($\nu = 2$ молі) передана кількість теплоти 1,2 кДж. При цьому газ здійснив роботу 600 Дж. На скільки змінилася температура газу? (Збільшилась на 24 K)
4. Гелій масою 1,1 кг ізобарно нагріли на 810 K. Необхідно знайти: 1) роботу, що здійснив гелій; 2) кількість теплоти, що передано гелію; 3) зміну внутрішньої енергії.

Енергія хаотичного руху молекул є лише малою часткою всієї енергії, яка міститься в тілі. Річ у тім, що атоми і молекули не тільки рухаються, а й взаємодіють між собою, тобто мають не тільки кінетичну, а й потенціальну енергію.

Суму кінетичної енергії хаотичного руху всіх частинок, що входять до складу даного тіла, і потенціальної енергії їх взаємодії називають **внутрішньою енергією**.

У ЯКИХ ПРОЦЕСАХ І ЯК МОЖЕ ЗМІНЮВАТИСЯ ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ?

Під час зміни температури тіла змінюється кінетична енергія хаотичного руху атомів і молекул, а також потенціальна енергія взаємодії атомів і молекул (наприклад, через зміну об'єму тіл, а отже, і відстані між молекулами).

За визначенням внутрішня енергія обчислюється за формулою:

$$U = \sum E_{ki} + \sum E_{pi}$$

де E_{ki} , E_{pi} – кінетична і потенціальна енергія окремої молекули.

Для ідеального газу $E_{pi} = 0$; тому

$$U = \sum E_{ki} = NE = (mN_a/M) * (3kT/2) = 3mRT/2M$$

E – середня кінетична енергія молекули.

$$U = 3mRT/2M$$

Для даної маси газу виконується рівняння: (зміна внутрішньої енергії)

$$\Delta U = 3mR\Delta T/2M$$

Для двохатомного ідеального газу:

$$\Delta U = 5mR\Delta T/2M$$

Для трьохатомного ідеального газу:

$$\Delta U = 6mR\Delta T/2M$$

Під час хімічних реакцій (наприклад, горіння або вибуху) та зміни агрегатного стану речовини (наприклад, під час переходу з рідкого стану у твердий чи газоподібний) змінюється потенціальна енергія атомів, що входять до складу молекул.

Під час ядерних реакцій змінюється потенціальна енергія частинок, що входять до складу атомного ядра. Розглянемо приклади, що допоможуть вам уявити «масштаби* змін внутрішньої енергії».

ПРИКЛАДИ ЗМІН ВНУТРІШНЬОЇ ЕНЕРГІЇ

У чому виявляється зміна внутрішньої енергії	Приклад механічного еквівалента
Нагрівання та охолодження	
Унаслідок зміни температури змінюється кінетична енергія хаотичного руху молекул, а в рідині та твердому тілі — також і потенціальна енергія взаємодії молекул.	Щоб нагріти від кімнатної температури до температури кипіння 1 літр води, треба затратити стільки ж енергії, скільки потрібно для підняття легкового автомобіля на дванадцять поверхів (рис. 24.1). Така сама енергія виділяється у результаті охолодження 1 л води від температури кипіння до кімнатної температури.
Плавлення і кристалізація	
Під час руйнування або утворення кристалічних ґраток змінюється потенціальна енергія взаємодії атомів чи молекул.	Щоб розплавити 1 кг льоду, треба затратити стільки ж енергії, скільки потрібно для підняття легкового автомобіля на дванадцять поверхів. Така сама енергія виділяється у результаті кристалізації 1 л води.
Випаровування і конденсація	
Під час розриву або утворення зв'язків між молекулами змінюється потенціальна енергія їхньої взаємодії.	Щоб випарувати 1 кг води, треба затратити стільки ж енергії, скільки потрібно для підняття легкового автомобіля на 70 поверхів. Така сама енергія виділяється у результаті конденсації 1 кг водяної пари.
Хімічні реакції, що проходять з виділенням тепла	
Під час перебудови молекул відбувається перетворення потенціальної енергії	Унаслідок згоряння 1 кг бензину виділяється стільки ж енергії, скільки

взаємодії атомів у кінетичну енергію хаотичного руху молекул.	потрібно для підняття легкового автомобіля на гору заввишки 4,5 км.
Ядерні реакції	
Під час поділу або синтезу (об'єднання) атомних ядер відбувається перетворення потенціальної енергії взаємодії частинок, що входять до складу атомного ядра, у кінетичну енергію хаотичного руху частинок і енергію випромінювання.	За поділу ядер у 1 кг урану виділяється енергія, достатня для «закидання, навантаженого потягу із Землі на Місяць.

З курсу фізики попередніх класів ви знаєте, що внутрішню енергію тіла можна змінити двома способами

- 1) **за допомогою теплопередачі**, тобто без виконання роботи (унаслідок контакту з тілом іншої температури);
- 2) **за допомогою виконання роботи.**

Міру зміни внутрішньої енергії в процесі теплопередачі називають кількістю теплоти і позначають Q . Кількість теплоти вимірюють у джоулях.

Позначимо зміну внутрішньої енергії тіла ΔU , а роботу, виконану над цим тілом, позначимо A . Відповідно до закону збереження енергії

зміна внутрішньої енергії тіла дорівнює сумі кількості теплоти, переданого тілу, і роботи, виконаної над тілом:

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

Закон збереження енергії для теплових явищ називають першим законом термодинаміки.

Часто використовують і таке формулювання першого закону термодинаміки, у якому отримана тілом кількість теплоти виражається через зміну внутрішньої енергії та роботу, виконану тілом.

Позначимо цю роботу A_r , оскільки в теплових двигунах роботу виконує газ. Робота A_r пов'язана з роботою A , виконаною над тілом, співвідношенням $A_r = -A$. Тоді перший закон термодинаміки можна сформулювати так:

кількість теплоти, передана тілу, дорівнює сумі зміни внутрішньої енергії тіла і роботи, виконаної тілом:

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

ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРШОГО ЗАКОНУ ТЕРМОДИНАМІКИ

1. ІЗОХОРНИЙ ПРОЦЕС

У тому випадку, якщо газ нагрівається або остигає за незмінюваго об'єму (наприклад, у товстостінному металевому балоні), він не рухає поршень, тобто не здійснює роботи.

Отже, внутрішня енергія газу змінюється лише за допомогою теплопередачі. З першого закону термодинаміки випливає, що в цьому випадку $\Delta U = Q$.

В ізохорному процесі внутрішня енергія змінюється лише внаслідок теплообміну.

Причому збільшення тиску вимагає надходження теплоти, зменшення тиску – віддачі теплоти.



2. ІЗОТЕРМІЧНИЙ ПРОЦЕС

В ізотермічному процесі ($T = \text{const}$) зміна температури дорівнює нулю: $\Delta T = 0$.

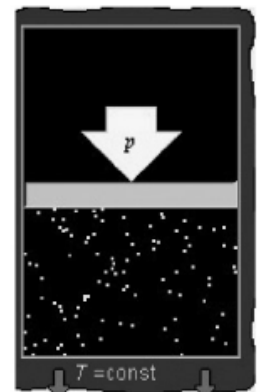
Оскільки внутрішня енергія ідеального газу залежить лише від температури, то в ізотермічному процесі вона не змінюється, тобто $\Delta U = 0$. Унаслідок підведення до газу деякої кількості теплоти (досить повільно) змінюються лише тиск і об'єм, а внутрішня енергія залишається незмінною.

В ізотермічному процесі вся підведена кількість теплоти витрачається на роботу, здійснену газом проти зовнішнього тиску:

$$Q = A_r$$

Якщо процес являє собою ізотермічне стискання, то $A_r < 0$ і $Q = -A_r$. Або інакше $A_r = -Q$.

Відємне значення Q вказує на те, що газ унаслідок стискання віддає тепло, причому в кількості, що дорівнює здійсненій роботі.



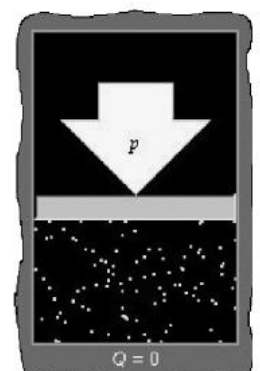
3. АДІАБАТИЧНИЙ ПРОЦЕС

Розглянемо процес, що протікає в системі, яка не обмінюється теплою з оточуючими тілами.

Процес у теплоізованій системі називаються адіабатичним.

Оскільки в цьому процесі відсутній теплообмін між газом і навколишнім середовищем, то $Q = 0$. Перший закон термодинаміки набуває вигляду:

$$A_r = -\Delta U$$



За умов відсутності теплообміну газу із зовнішнім середовищем робота газу проти зовнішніх сил здійснюється за рахунок зменшення його внутрішньої енергії.

Отже, у разі адіабатного стискання температура газу підвищується, а в процесі адіабатного розширення — знижується. Якщо стискання газу відбувається дуже швидко, температура підвищується досить значно. На цьому ґрунтується дія двигунів Дизеля: температура повітря внаслідок швидкого стискання в циліндрі стає настільки високою, що пальне загоряється без системи запалювання.

Остиганням газу внаслідок адіабатного розширення пояснюється утворення хмар.

4. ІЗОБАРНИЙ ПРОЦЕС

У процесі розширення газ здійснює роботу, тобто $A_r > 0$. Відповідно до закону Гей-Люссака, унаслідок ізобарного розширення газу температура збільшується, отже, збільшується і його внутрішня енергія, тобто $\Delta U > 0$.

В ізобарному процесі кількість теплоти, підведена до газу, витрачається на збільшення внутрішньої енергії й на роботу розширення, яку здійснює газ проти зовнішнього тиску:

$$Q = \Delta U + A_r$$

Якщо $Q > 0$, то газ може розширюватися ізобарно лише за умови, що до нього підводять деяку кількість теплоти.

Приклади розв'язання задач

Задача 1. Вважаючи, що внутрішня енергія ідеального газу складається з кінетичної енергії всіх його молекул, обчисліть, яку внутрішню енергію має 500г гелію при температурі $T = 300\text{K}$.

Дано:

$$m = 500\text{г}$$

$$M = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$T = 300\text{K}$$

$$R = 8,31 \text{ Дж/моль} \cdot \text{K}$$

$U = ?$

$$0,5\text{кг}$$

Розв'язання:

Гелій - одноатомний газ. Вважатимемо його ідеальним. Тоді $E = 3kT/2$ - середня кінетична енергія одного атома;

k - стала Больцмана.

$N = m N_A / M$ - кількість атомів, де N_A - число Авогадро.

$$\text{Отже, } U = E \cdot N = (3kT/2) \cdot (m N_A / M) = 3mRT/2M$$

$$[U] = (\text{кг} \cdot \text{Дж} \cdot \text{K} \cdot \text{моль}) / (\text{кг} \cdot \text{моль} \cdot \text{K}) = \text{Дж}$$

$$U = (3 \cdot 0,5 \cdot 8,31 \cdot 300) / (2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}) = 4,67 \cdot 10^5 \text{ (Дж)}$$

Відповідь: $4,67 \cdot 10^5$ Дж

Задача 2. Визначити роботу розширення 20л газу при ізобарному нагріві від 270С до 120⁰С. Тиск газу 80 кПа.

Дано:

$V_1 = 20\text{л}$	$20 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
$T_1 = 27^{\circ}\text{C}$	300К
$T_2 = 120^{\circ}\text{C}$	397К
$P = 80 \text{ кПа}$	$80 \cdot 10^3 \text{ Па}$

Розв'язання:

Для визначення роботи необхідно визначити зміну об'єму газу, так як невідомо V_2

$$A = P(V_2 - V_1)$$

При постійному тиску маємо співвідношення $V_1/V_2 = T_1/T_2$

$$V_2 = V_1 \cdot T_2 / T_1$$

$A - ?$

$$A = P \left((V_1 \cdot T_2 / T_1) - V_1 \right)$$

$$[A] = \text{Па м}^3 = (\text{Н/м}^2) \cdot \text{м}^3 = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}$$

$$A = 80 \cdot 10^3 \left((20 \cdot 10^{-3} \cdot 397 / 300) - 20 \cdot 10^{-3} \right) = 500 \text{ Дж}$$

Відповідь: 500 Дж

Задача 3. На скільки змінилась внутрішня енергія газу, який виконав роботу 50 кДж, коли отримав кількість теплоти 85 кДж?

Дано:

$A = 50 \text{ кДж}$	$50 \cdot 10^3 \text{ Дж}$
$Q = 85 \text{ кДж}$	$85 \cdot 10^3 \text{ Дж}$

Розв'язання:

В цьому випадку запишемо формулу

I закону термодинаміки так

$$Q = \Delta U + A$$

$$\Delta U = Q - A$$

$\Delta U - ?$

$$[U] = \text{Дж} - \text{Дж} = \text{Дж}$$

$$\Delta U = 85 \cdot 10^3 - 50 \cdot 10^3 = 35 \cdot 10^3 \text{ (Дж)}$$

Відповідь: збільшиться на $35 \cdot 10^3 \text{ Дж}$.

Задача 4. Одноатомному газу, кількістю речовини 2 моля, передано кількість теплоти 1,2 кДж. При цьому газ виконав роботу 600 Дж. На скільки змінилась температура газу?

Дано:

$\nu = 2 \text{ моль}$	$1,2 \cdot 10^3 \text{ Дж}$
$Q = 1,2 \text{ кДж}$	
$A = 600 \text{ Дж}$	

Розв'язання:

I закон термодинаміки для цього випадку має вигляд

$$Q = \Delta U + A$$

Зміна внутрішньої енергії одноатомного газу $\Delta U = 3\nu R\Delta T/2$

$\Delta T - ?$

$$\text{а кількість речовини визначимо } \nu = m/M \quad \Delta U = 3 \nu R\Delta T/2$$

Рівняння I закону термодинаміки стане

$$Q = (3 \nu R\Delta T/2) + A$$

$$3 \nu R\Delta T/2 = Q - A$$

$$\Delta T = (Q - A) \cdot 2/3 \nu R$$

$$[\Delta T] = \text{Дж} \cdot \text{моль} \cdot \text{К/моль} \cdot \text{Дж} = \text{К}$$

$$\Delta T = (1200 - 600) \cdot 2/3 \cdot 2 \cdot 8,31 = 24 \text{ (К)}$$

Відповідь: збільшилась на 24 К.