

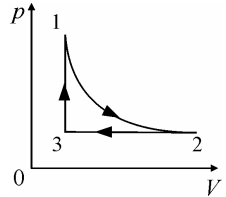
Розділ 5. Молекулярна фізика та термодинаміка
Основи термодинаміки

399. Чому в медичних термометрах використовують ртуть, а не спирт?
400. Чому в літню спеку температура поверхневих шарів води у відкритих водоймах (ставках, річках і озерах) завжди буває нижча, ніж температура навколишнього повітря?
401. Чим пояснити, що на початку осені в річках і озерах вода не замерзає, хоча температура повітря на кілька градусів нижча нуля?
402. Чому нагрівається велосипедний насос під час накачування повітря?
403. Чому під час холостих пострілів дуло нагрівається більше, ніж під час пострілів кулями?
404. Якою за знаком буде робота газу в нижче наведених процесах?
а) ізобарне нагрівання; б) ізобарне охолодження;
в) ізохорне нагрівання; г) ізохорне охолодження.
405. Як змінюється внутрішня енергія газу в нижче наведених процесах?

- а) ізотермічне розширення; б) ізобарне охолодження;
в) ізохорне нагрівання; г) ізохорне охолодження.

406. Як змінюється внутрішня енергія газу в нижче наведених процесах?

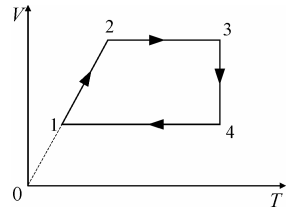
- а) ізотермічне стиснення; б) ізобарне нагрівання;
в) адіабатне розширення; г) адіабатне стиснення;



Мал. 37

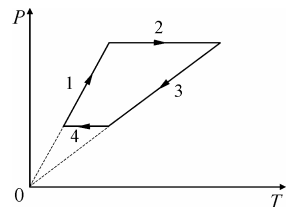
407. Ідеальний одноатомний газ здійснив замкнутий цикл, зображений на малюнку 37. Вказати, отримував чи віддавав теплоту газ в процесах 1-2, 2-3 та 3-1.

408. Ідеальний одноатомний газ здійснив замкнутий цикл, зображений на малюнку 38. Вказати, отримував чи віддавав теплоту газ в процесах 1-2, 2-3, 3-4 та 4-1.



Мал. 38

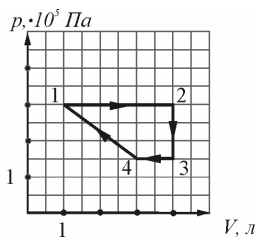
409. Ідеальний одноатомний газ здійснив замкнутий цикл, зображений на малюнку 39. Вказати, чи виконувалась газом (над газом) робота в процесах 1-2, 2-3, 3-4 та 4-1.



Мал. 39

410. Ідеальний одноатомний газ здійснив замкнутий цикл, зображений на малюнку 40. Визначити роботу газу за цикл. Обчислити кількість теплоти, яку віддає чи отримує газ на ділянках 1-2 та 3-4.

411. Ідеальний одноатомний газ здійснив замкнутий цикл, зображений на малюнку 41. Визначити роботу газу за цикл. Обчислити кількість теплоти, яку віддає чи отримує газ на ділянці 4-1.

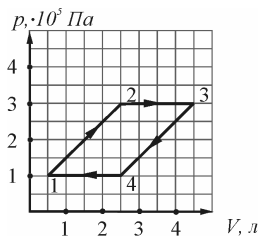


Мал. 40

412. Повітря масою 2 кг знаходиться в циліндрі під поршнем при температурі 289 К. Яку роботу воно виконує при ізобарному нагріванні до 405 К?

413. Ідеальний газ при нагріванні на 20 К виконав роботу 831 Дж. Визначити кількість молів газу, вважаючи процес ізобарним.

414. При ізобарному розширенні 10 молів ідеального газу виконали роботу 1662 Дж. На скільки градусів нагрівся при цьому газ?



Мал. 41

415. Об'єм ідеального одноатомного газу при нагріванні збільшився на $0,02 \text{ м}^3$, а внутрішня енергія – на 1280 Дж. Яку кількість теплоти було передано газу, якщо процес відбувався при постійному тиску $1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$?

416. Два молі ідеального одноатомного газу розширюються без теплообміну з навколишнім середовищем. Температура газу зменшується на $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначити роботу, виконану газом.

417. Гелій масою 1 кг стискають без теплообміну з навколишнім середовищем. При цьому температура збільшується на $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначити, яку роботу виконують над газом.

418. Ідеальний одноатомний газ, розширюючись без теплообміну з навколишнім середовищем, виконав роботу 2493 Дж. Визначити кількість молів газу, якщо його температура понизилася на $5 \text{ }^\circ\text{C}$.

419. На скільки збільшиться температура 1 моля ідеального одноатомного газу, якщо під час ізохорного процесу йому надано 600 Дж теплоти?

420. Повітря об'ємом 3 м^3 знаходиться під тиском $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ при $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначити роботу, виконану повітрям при ізобарному нагріванні на 12 К.

421. Визначити роботу, яку виконали над ідеальним одноатомним газом при ізобарному охолодженні від 450 К до 300 К, якщо початковий тиск газу 10^5 Па , а його об'єм $0,2 \text{ м}^3$.

Розв'язання

$A - ?$

$$T_0 = 450 \text{ К}$$

$$T_1 = 300 \text{ К}$$

$$p_0 = 10^5 \text{ Па}$$

$$V_0 = 0,2 \text{ м}^3$$

Робота газу $A = p\Delta V = p(V_1 - V_0)$. При ізобарному процесі тиск сталий і дорівнює початковому. Кінцевий об'єм газу

можна знайти із закону Гей-Люссака $\frac{V_0}{T_0} = \frac{V_1}{T_1}$. Звідси

$$V_1 = \frac{V_0 \cdot T_1}{T_0} = \frac{0,2 \text{ м}^3 \cdot 300 \text{ К}}{480 \text{ К}} = 0,125 \text{ м}^3. \text{ Робота}$$

$A = 10^5 \text{ Па} \cdot (0,125 \text{ м}^3 - 0,2 \text{ м}^3) = -7,5 \text{ кДж}$. Тоді робота над газом $A' = 7,5 \text{ кДж}$.

422. Визначити кінцеву температуру і тиск ідеального одноатомного газу, який знаходиться в закритому балоні об'ємом $1,5 \text{ м}^3$ при температурі 300 К і тиску $0,18 \text{ МПа}$, якщо йому надано 54 кДж теплоти.
423. Газу, що знаходиться в циліндрі, закритому поршнем, надають 15 кДж теплоти. В результаті цього газ при постійному тиску $0,2 \text{ МПа}$ розширюється і поршень піднімається на 30 см . Визначити зміну внутрішньої енергії газу, якщо площа поршня 10 дм^2 .
424. Під час ізобарного процесу 1 моль ідеального газу нагрівається на 50 К , отримавши 1662 Дж теплоти. Визначити роботу, виконану газом, та зміну його внутрішньої енергії.
425. Над 2 молями ідеального одноатомного газу під час ізобарного стискання виконують роботу 1200 Дж . Визначити зміну температури газу, зміну внутрішньої енергії і кількість теплоти, наданої газу.
426. Чотири молі ідеального одноатомного газу нагрівають на 20 К при постійному тиску. Визначити зміну внутрішньої енергії газу і кількість наданої йому теплоти.

Теплові двигуни

427. Як буде змінюватися температура в кімнаті, якщо на тривалий час відкрити дверцята холодильника?
428. У процесі роботи теплової машини за деякий час робоче тіло отримало від нагрівника 1 МДж теплоти, передало холодильнику $0,8 \text{ МДж}$ теплоти. Обчислити ККД машини.
429. У процесі роботи теплової машини за деякий час робоче тіло передало холодильнику 60 кДж теплоти, виконавши при цьому роботу 40 кДж . Обчислити ККД машини.
430. Теплова машина, коефіцієнт корисної дії якої 40% , за деякий час отримує від нагрівника 4 МДж теплоти. Яку кількість теплоти віддає машина за цей час холодильнику?

431. Температура нагрівника ідеальної теплової машини $727\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура холодильника 400 K . Визначити максимальний ККД такої машини.
432. Нагрівник ідеальної теплової машини має температуру $627\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура холодильника $27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Від нагрівника протягом 5 хв у машину поступає 1000 кДж теплоти. Визначити ККД машини, кількість теплоти, яку забирає холодильник та корисну потужність, яку розвиває машина.

$\eta - ?$ $Q_x - ?$

$N - ?$

$t_n = 627\text{ }^{\circ}\text{C}$

$t_x = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$

$\tau = 5\text{ хв} = 300\text{ с}$

$Q_n = 1000\text{ кДж}$

Розв'язання

Температури нагрівника і холодильника за шкалою Кельвіна: $T_n = 900\text{ K}$, $T_x = 300\text{ K}$. Коефіцієнт корисної дії

$$\eta = \frac{T_n - T_x}{T_n} \cdot 100\% \quad (1). \quad \eta = \frac{900\text{ K} - 300\text{ K}}{900\text{ K}} \cdot 100\% \approx 66\%.$$

Коефіцієнт корисної дії $\eta = \frac{Q_n - Q_x}{Q_n} \cdot 100\% \quad (2).$

З рівнянь (1) і (2) отримаємо: $1 - \frac{T_x}{T_n} = 1 - \frac{Q_x}{Q_n}.$

$Q_x = \frac{T_x \cdot Q_n}{T_n} = \frac{300\text{ K} \cdot 1000\text{ кДж}}{900\text{ K}} \approx 333\text{ кДж}.$ Корисна

потужність

$N = \frac{A}{\tau} = \frac{Q_n - Q_x}{\tau} = \frac{1000\text{ кДж} - 333\text{ кДж}}{300\text{ с}} \approx 2220\text{ Вт}.$

433. Яка температура нагрівника, якщо при температурі холодильника $57\text{ }^{\circ}\text{C}$ ККД ідеальної теплової машини становить $70\text{ }%$?
434. ККД ідеальної теплової машини $60\text{ }%$. Щосекунди машина отримує від нагрівника кількість теплоти 1 МДж . Визначити роботу, яку здійснює машина і її потужність.
435. Температура холодильника ідеальної теплової машини $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Визначити температуру нагрівника, якщо, виконуючи корисну роботу 5 кДж , машина віддає холодильнику 3 кДж теплоти.
436. В ідеальній тепловій машині за рахунок 1 кДж енергії, одержаної від нагрівника виконується робота 400 Дж . Визначити ККД машини і температуру нагрівника, якщо температура холодильника $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.
437. Теплова машина працює за циклом Карно. Абсолютна температура нагрівника у 4 рази більша за температуру холодильника. Який ККД машини і яка частина теплоти віддається холодильнику?

Приклад розв'язку завдань для тематичного контролю
Рівень А (початковий)

1. За яким з нижче наведених виразів можна визначити кількість теплоти, отриманої тілом під час плавлення (кристалізації)?

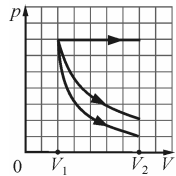
а) $\dots = \lambda m$; б) $\dots = \frac{A'}{Q_n}$; в) $\dots = mc\Delta T$; г) $\dots = Q_n - Q_x$.

2. Якого виду теплопередачі немає?

а) конвекції; б) ...теплопровідності; в) згоряння; г) випромінювання.

3. Як записується перший закон термодинаміки (зміна внутрішньої енергії системи у випадку переходу її з одного стану в інший ΔU дорівнює сумі роботи зовнішніх сил A' над системою і кількості теплоти, переданої системі Q) для ізотермічного процесу?

а) $\Delta U = Q$; б) $\Delta U = A'$; в) $\Delta U = A' + Q$; г) $\theta = A' + Q$.



Мал. 1

Рівень В (середній)

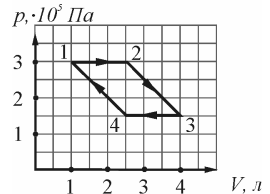
1. При якому процесі вся передана газу кількість теплоти йде на збільшення внутрішньої енергії газу?

а) ізотермічному; б) ізохорному; в) ізобарному; г) адіабатному.

2. На малюнку 1 схематично зображено адіабатний, ізотермічний та ізобарний процеси, які відбуваються з однаковою масою газу. В якому процесі при зміні об'єму від V_1 до V_2 робота газу найменша?

а) в адіабатному; б) в ізотермічному; в) в ізобарному; г) робота у всіх процесах однакова.

3. Яку роботу виконує газ, якщо ізобарно розширюючись при тиску 100 кПа його об'єм змінився від 10^{-3} м^3 до $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$?



Мал. 2

Рівень С (достатній)

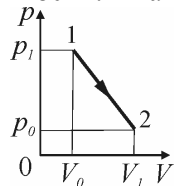
1. Ідеальний одноатомний газ здійснив замкнутий цикл, зображений на малюнку 2. Визначити роботу газу за цикл.

2. Температура холодильника ідеальної теплової машини 280 К. Яка температура нагрівника, якщо ККД двигуна 40%?

Рівень D (високий)

1. Визначити зміну внутрішньої енергії і зміну температури одного моля ідеального одноатомного газу у процесі, зображеному на малюнку 3, якщо $p_0 = 100 \text{ кПа}$, $p_1 = 400 \text{ кПа}$, $V_0 = 2 \text{ л}$, $V_1 = 6 \text{ л}$.

2. Віддає чи отримує теплоту газ на ділянці 1-2 (мал. 2)? Обчислити цю кількість теплоти.



Мал. 3

Рівень А (початковий)

- 1. а
- 2. в
- 3. г

Рівень В (середній)

- 1. б
- 2. а
- 3.

$A = ?$	
$p = 100 \text{ кПа} = 10^5 \text{ Па}$	
$V_1 = 10^{-3} \text{ м}^3$	
$V_2 = 3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	

Розв'язання

Робота газу $A = p\Delta V = p(V_2 - V_1)$ Після підстановки
 $A = 10^5 \text{ Па} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 200 \text{ Дж}$.

Рівень С (достатній)

- 1.

Розв'язання

Повна робота за цикл дорівнює сумі робіт, виконаних у ході кожного процесу циклу. Згідно з геометричним змістом роботи, робота газу в ході процесу 1–2 чисельно дорівнює площі прямокутника, сторони якого $(p_2 - p_1)$ і $(V_2 - V_1)$; об'єм збільшується, тому ця робота додатна. Робота газу в процесі 2–3 чисельно дорівнює площі трапеції і теж додатна. В процесі 3–4 – площі прямокутника; від'ємна, в процесі 4–1 – площі трапеції; від'ємна. Віднявши від двох перших площ дві інші, отримуємо площу паралелограма. Його площа і дорівнюватиме чисельно роботі газу за цикл. $A = (p_2 - p_4) \cdot (V_2 - V_1)$. Необхідні значення знаходимо з графіка і підставляємо у формулу:
 $A = (3 \cdot 10^5 \text{ Па} - 1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}) \cdot (2,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 - 10^{-3} \text{ м}^3) = 2,25 \cdot 10^2 \text{ Дж}$.

2. $T_n = ?$	
$T_x = 282 \text{ К}$	
$\eta = 40 \%$	

Розв'язання

Коефіцієнт корисної дії ідеальної теплової машини
 $\eta = \frac{T_n - T_x}{T_n} \cdot 100\%$. Звідси $\frac{\eta}{100\%} T_n = T_n - T_x$;
 $T_n \left(1 - \frac{\eta}{100\%}\right) = T_x$; $T_n = \frac{T_x}{1 - \frac{\eta}{100\%}} = \frac{282 \text{ К}}{1 - 0,4} = 470 \text{ К}$.

Рівень D (високий)

1.

$$\Delta U - ? \Delta T - ?$$

$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$p_0 = 100 \text{ кПа}$$

$$p_1 = 400 \text{ кПа}$$

$$V_0 = 2 \text{ л} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$V_1 = 6 \text{ л} = 6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Розв'язання

Враховуючи рівняння Менделєєва-Клапейрона,

$$U = \frac{3}{2} \nu RT = \frac{3}{2} pV . \text{ Тоді зміна внутрішньої}$$

$$\text{енергії } \Delta U = U_2 - U_1 = \frac{3}{2} (p_1 \cdot V_1 - p_0 \cdot V_0) . \text{ Після}$$

підстановки

$$\Delta U = (4 \cdot 10^5 \text{ Па} - 10^5 \text{ Па}) \cdot (6 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 - 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3) = 12 \cdot 10^2 \text{ Дж} .$$

Оскільки для одноатомного ідеального

$$\text{газу } \Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T , \text{ то}$$

$$\Delta T = \frac{2\Delta U}{3\nu R} = \frac{2 \cdot 12 \cdot 10^2 \text{ Дж}}{3 \cdot 1 \text{ моль} \cdot 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}} \approx 96 \text{ К} .$$

2.

Розв'язання

Ділянка 1-2 це ізобарне розширення. Температура точки 2 більша за температуру точки 1. Газ на цій ділянці тепло отримує. Згідно I закону термодинаміки $Q = A + \Delta U$. Оскільки газ ідеальний одноатомний, то

$$\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T . \text{ Враховуючи рівняння Менделєєва-Клапейрона } pV = \nu RT ,$$

$$\text{можна записати: } \Delta U = \frac{3}{2} p \Delta V . \text{ Робота газу } A = p \Delta V . \text{ Отже } Q = \frac{5}{2} p \Delta V .$$

З графіка $p = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$, $\Delta V = 1,5 \text{ л} = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Підставивши значення,

$$\text{отримаємо: } Q = \frac{5}{2} \cdot 3 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 1125 \text{ Дж} .$$

Завдання для тематичного контролю (для самостійного розв'язку)

Рівень А (початковий)

1. За яким з нижче наведених виразів можна визначити холодильний коефіцієнт?

а) $\dots = p\Delta V$; б) $\dots = \frac{A'}{Q_n}$; в) $\dots = \frac{Q_x}{Q_n - Q_x}$; г) $\dots = Q_n - Q_x$.

2. «Неможливим є процес, єдиний результат якого – передача енергії у формі теплоти від менш нагрітого тіла до більш нагрітого». Це є формулювання...

а) ...адіабатного процесу; б) ...першого закону термодинаміки;
в) ...другого закону термодинаміки; г) ...теплого балансу.

3. Як записується перший закон термодинаміки (кількість теплоти Q передана системі витрачається на зміну її внутрішньої енергії ΔU і на виконання системою роботи A над зовнішніми тілами) для адіабатного процесу?

а) $Q = \Delta U$; б) $Q = \Delta U + A$; в) $Q = A$; г) $0 = \Delta U + A$.

Рівень В (середній)

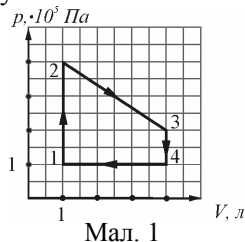
1. При якому процесі вся передана газу кількість теплоти йде на виконання роботи?

а) ізотермічному; б) ізобарному; в) ізохорному; г) адіабатному.

2. Тепловий двигун виконує механічну роботу за рахунок...

а) збільшення внутрішньої енергії нагрівника;
б) зменшення внутрішньої енергії нагрівника;
в) зменшення внутрішньої енергії холодильника.

3. Теплова машина за цикл виконує роботу 25 Дж і віддає холодильнику кількість теплоти 75 Дж. Визначити ККД теплової машини.



Мал. 1

Рівень С (достатній)

1. Ідеальний одноатомний газ здійснив замкнутий цикл, зображений на малюнку 1. Визначити роботу газу за цикл.
2. При ізобарному розширенні 10 молів ідеального газу виконали роботу 1662 Дж. На скільки градусів нагрівся при цьому газ?

Рівень D (високий)

1. Температура нагрівника теплової машини 727°C , а температура холодильника 127°C . Від нагрівника за 1 хв у машину поступає 210 кДж теплоти. Визначити корисну потужність, яку розвиває машина.
2. Віддає чи отримує теплоту газ на ділянці 4-1 (мал.1)? Обчислити цю кількість теплоти.