

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Кафедра математики, інформатики і фізики

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних занять і тестові та контрольні завдання
з фізики за темами „Молекулярна фізика” та „Термодинаміка”**
(для студентів 1-го та 2-го курсів усіх напрямів підготовки)

ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні кафедри
"Математики, інформатики та фізики".
Протокол № 7 від 23.03.16

СЄВЕРОДОНЕЦЬК 2016

УДК 53 (07)

Методичні вказівки до практичних занять і тестові та контрольні завдання з фізики за темами „Молекулярна фізика” та „Термодинаміка” (для студентів 1-го та 2-го курсів усіх напрямів підготовки) / Укл. Г.О. Татарченко, В.М.Холодняк .— Сєвєродонецьк: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. — 175 с.

Наведено методичні вказівки до практичних занять і тестові та контрольні завдання з дисципліни "Фізика" приклади виконання завдань та варіанти індивідуального завдання.

Укладачі:

Г.О. Татарченко,
проф. кафедри МІФ, д.т.н.
В.М. Холодняк,
ст. викл. каф. МІФ

Відповідальний за випуск:

О.В. Поркуян,
зав. каф. МІФ, проф., д. т. н.

Рецензент:

О. М. Іванов доц., к.т.н.

ЗМІСТ

Вступ.....	5
СИСТЕМА ТЕСТОВИХ ОЦІНОК	7
Витягз робочої програми.....	10
Розділ 1.Основи молекулярної фізики	11
<i>Молекулярна фізика</i>	11
Приклад розв'язання типових задач	14
Тестові завдання.....	15
Середній рівень	19
Достатній рівень.....	20
Високий рівень	21
Молекулярно-кінетична теорія ідеальних газів	23
Приклади розв'язання типових задач	31
<i>Розв'язання.</i>	34
Тестові завдання.....	39
Задачі для самостійного розв'язання.	51
Середній рівень	51
Достатній рівень.....	62
Розділ 2.Елементи статистичної фізики Основи термодинаміки.....	75
Реальні гази та рідини. Властивості рідин.....	75
Приклад розв'язання типових завдань.....	88
Тестові завдання.....	94
Задачі для самостійного розв'язання	117
Середній рівень	117
Достатній рівень.....	126
Високий рівень	135
Рівняння стану реальних газів	139
Приклад розв'язання типових задач	143
Задачі для самостійного розв'язання	146
Тестові завдання.....	146

Середній рівень	152
Достатній рівень	155
Високий рівень	156
Явища переносу	158
Приклад розв'язання типової задачі.	162
Задачі для самостійного розв'язання	163
Список використаної літератури	166
Додатокі	168

Вступ

Дані методичні вказівки являють собою систему тестових завдань із тем „**Молекулярна фізика та термодинаміка**”. Сучасна концепція освіти передбачає переорієнтацію процесу навчання на розвиток особистості майбутнього фахівця. При вивченні курсу загальної фізики важливе значення має вміння студента розв’язувати задачі. Задачі розвивають навички у використанні загальних законів матеріального світу для розв’язання конкретних проблем, що мають практичне й пізнавальне значення. Уміння вирішувати задачі є одним із найкращих критеріїв оцінки глибини вивчення програмного матеріалу і його засвоєння. Це вимагає підвищення якості та об’єктивності оцінювання знань майбутніх спеціалістів. Запропонована система різнорівневих завдань(включаючи тестові завдання) передбачає контроль за різноманітними розумовими операціями студентів, включаючи контроль за вміннями та певними навичками . При оцінюванні враховуються такі якісні показники як оптимальність обраного способу розв’язання задачі, глибина(відповідність застосування основних законів, правил, понять і принципів, що вивчаються в курсі фізики)усвідомлення(уміння застосовувати здобуті знання відповідно до вимог навчальної програми, зокрема аналізувати графіки залежностей між фізичними величинами, будувати графіки, робити висновки, правильно визначати та використовувати одиниці фізичних величин, робити алгебраїчні перетворення, знаходити недостаючи данні з спеціальної довідкової літератури тощо), повнота викладу, кількість та характер помилок і таке інше.

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Критерії оцінювання рівня знань студентів

Рівні компетенції	Оцінки	Критерії оцінювання
Середній	До 50	Студент без пояснень описує явища, наводить приклади, опираючись на власні спостереження, на матеріали підручника, на розповідь викладача.
	60	Студент описує явища, відтворює значну частину навчального матеріалу, у тому числі експерименту, при сторонній допомозі.
	70	Студент може зі сторонньою допомогою пояснити явища, виправляє допущені неточності (свої й інших), виконує по детальній інструкції та за додатковими поясненнями експеримент (лабораторну роботу), виявляє знання й розуміння основних положень (законів, понять, формул, теорій), вирішує прості задачі, які не поділяються на підзадачі (логічні кроки).
Достатній	до 75	Студент може застосовувати знання в стандартних ситуаціях (експеримент по детальній інструкції), за допомогою викладача аналізує отримані результати.
	80	Студент уміє пояснювати явища, здійснювати аналіз, узагальнення, систематизацію, висновки зі сторонньою допомогою (викладача, додаткової літератури й т.п.).
	85	Студент вільно володіє вивченим матеріалом, застосовує його на практиці в стандартних ситуаціях, наводить аргументи на підтвердження своїх думок.

Високий	До 90	Студент виявляє творчі здібності, самостійно визначає окремі цілі власної навчальної діяльності, оцінює нові факти, явища, ідеї, знаходить джерела інформації й самостійно використовує їх відповідно до поставлених цілей.
	95	Студент вільно висловлює власні думки, визначає програму власної пізнавальної діяльності, самостійно оцінює різноманітні явища, факти, виявляючи особисту позицію щодо них, знаходить джерела інформації й використовує одержані знання й уміння в нестандартних ситуаціях, переконливо аргументує особисту життєву позицію, погоджуючи її із загальнолюдськими цінностями.
	100	Студент виявляє творчі нахили, самостійно розвиває власні здібності, уміє поставити мету дослідження і вказує шляхи її реалізації, робить висновки, бере участь у творчих змаганнях.

СИСТЕМА ТЕСТОВИХ ОЦІНОК

Тестова перевірка з фізики передбачає відповіді на питання трьох рівнів складності, розв'язання задач і вправ з усіх розділів фізики, що становлять базовий рівень підготовки фахівців, передбачений чинними навчальними програмами. За критерій складності завдання прийнята кількість логічних кроків, які необхідно виконати для розв'язання поставленого завдання. Природно, що складність завдання або питання визначається не тільки кількістю операцій, але й рядом інших факторів, наприклад, формою запису умови, структурою, необхідністю використовувати штучні прийоми розв'язання завдань, які спеціально формулюються. Завдання тестів, як правило, мають звичну (стандартну) форму запису умови, аналогічну тим, які пропонуються в шкільних підручниках і різних посібниках

У даних методичних вказівках передбачена наступна структура завдань:

I рівень - це завдання, розраховані на засвоєння студентом основних понять, на просте відображення матеріалу або нескладні розрахунки. У більшості випадків можна вибрати правильну відповідь із декількох запропонованих.

II рівень - включає більш складні завдання на 2-4 логічні кроки. Їхнє розв'язання вимагає від студента більш широких знань за курсом.

I і II рівні містять вправи й питання для перевірки обов'язкових результатів навчання студентів. Вони характеризують основний рівень базової підготовки з фізики.

III рівень - це завдання, розв'язання яких вимагає від студентів творчого використання набутих знань. Вправи цього рівня являють підвищений рівень базової підготовки фахівців, що становить основу базової природно-математичної освіти.

Вправи I рівня, як правило, виконуються усно, тобто студентові досить записати тільки відповідь.

Вибір відповіді на завдання II і III рівня складності необхідно супроводжувати короткими письмовими поясненнями, які б повинні свідчити про самостійність роботи студента. Вони повинні містити необхідні рисунки, ілюстрації, обчислення, пояснення, обґрунтування та ін. Для зручності оцінювання правильності виконання тестового завдання воно спочатку оцінюється в системі "плюс-мінус", а потім у балах.

I рівень

- правильна відповідь " + " або 1 бал,
- неправильна відповідь, або її відсутність " - " або 0 балів.

II рівень

- правильна відповідь із відповідними записами "±" або Д.
- неправильна відповідь при наявності записів, що містять вірні логічні кроки до розв'язання завдання - "+" або 1 бал.
- в інших випадках - "-" або 0 балів

III рівень

- за правильну відповідь і записи без помилок виставляється "+" або 10.

- за правильну відповідь, що супроводжується записами з помилками, або за неправильну відповідь, записи до якої свідчать про правильність ходу міркувань або розв'язання, виставляється "±" або 10. балів

- за часткове розв'язання або часткову відповідь, що не доведена до логічного завершення, виставляється "±" або 10. балів

- в інших випадках виставляється " - " або 0 балів. З урахуванням структури тесту й рівня складності завдань на їхнє виконання орієнтовно виділяється наступний час: на I рівні - 4 хвилини, на II рівні - 8 хвилин, на III рівні - 12 хвилин.

Завдання містять у собі не тільки обчислювальні завдання, але і якісні, графічні, які по можливості наближені до експериментальних завдань. Значна кількість завдань може бути вирішена студентами різними способами. До практичних умінь і навичок студентів відносяться вміння користуватися довідковими таблицями. Тому при виконанні завдань студенти можуть використовувати довідкові таблиці, які є, наприклад, у збірниках задач.

Номер деяких завдання складається із числа номеру завдання та цифри(1, 2, 3). яка відповідає Зразковим критеріям оцінювання рівня знань студентів (1- середній, 2- достатній, 3- високий) .

Критерії оцінювання

Завдання для перших двох рівнів сформовані у вигляді тестів, у яких необхідно вибрати тільки одну правильну відповідь. Виконання завдань високого рівня вимагає наявності запису розв'язання. Максимальна кількість балів, яку можуть набрати студенти, правильно відповівши на завдання тестів, дорівнює 100 балам. Підсумкова оцінка підраховується за схемою:

Правильне розв'язання тестових завдань

№1,2 завдання по $5б \times 2 = 10$ бал.;

№3,4 завдання по $10б \times 2 = 20$.балів;

№5,6 завдання по $20б \times 2 = 40$ бали;

№7- завдання - до 50 балів

Витяг з робочої програми

Основи молекулярної фізики.

Основні положення молекулярно-кінетичної теорії (МКТ). Молярна маса. Кількість речовини. Відносна атомна маса. Ідеальний газ. Рівняння стану ідеального газу. Ізопроееси. Основне рівняння МКТ ідеального газу. Приклади.

Елементи статистичної фізики.

Закон рівномірного розподілу енергії за ступенями свободи молекул. Середня енергії молекул. Розподіл Максвелла. Розподіл Больцмана. Середнє число зіткнень молекул. Середня довжина вільного пробігу молекул. Явище переносу в термодинамічних не рівноважних процеслах. Вакуум.

Розділ 1. Основи молекулярної фізики

МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА вивчає фізичні властивості макроскопічних тіл в різних агрегатних станах на основі розгляду їх мікроскопічної, а саме молекулярної, будови.

Предмет молекулярної фізики.

Коло питань, що охоплює молекулярна фізика, дуже широке. У молекулярній фізиці розглядаються: будова речовини і зміни будови під впливом зовнішніх факторів (тиску, температури, електричних і магнітних полів), явища переносу (дифузія, теплопровідність, внутрішнє тертя), фазові рівноваги й процеси фазових перетворень (кристалізація, плавлення, випаровування, конденсація тощо), критичні стани речовини, поверхневі явища на границі розподілу фаз.

Основою молекулярної фізики є молекулярно-кінетична теорія будови речовини. Відповідно до цієї теорії, всі тіла складаються із дрібних частинок – молекул (атомів, іонів), які перебувають у безперервному хаотичному русі, названому тепловим рухом. Інтенсивність теплового руху залежить від температури.

Оскільки предметом вивчення молекулярної фізики є тіла, що складаються з величезного числа молекул (атомів, іонів), то опис їх поведінки через характеристики кожної частинки методами класичної механіки - не прийнятний. Задачі молекулярної фізики вирішуються методами фізичної статистики, термодинаміки й фізичної кінетики.

Статистичний метод заснований на використанні теорії ймовірності. У сукупному поведженні великої кількості частинок існують певні статистичні закономірності. Системи, що складаються з великої кількості частинок, характеризують середніми значеннями фізичних величин.

Термодинамічний метод не враховує внутрішню будову речовини тіл; він заснований на дослідженнях різних перетворень енергії в тілах (системах тіл).

Основні поняття молекулярної фізики й термодинаміки

Термодинамічна система – макроскопічний об'єкт (тіло, система тіл), що може обмінюватися енергією з іншими термодинамічними системами і зовнішнім середовищем. Термодинамічна система, що не обмінюється з іншими термодинамічними системами й зовнішнім середовищем ні енергією, ні речовиною є **ізолюваною (замкненою)**.

Стан термодинамічної системи, що не змінюється із часом, називають **рівноважним** (станом термодинамічної рівноваги). Всі параметри рівноважної термодинамічної системи мають певні значення, які не змінюються із часом. Стан, у якому хоча б один з параметрів термодинамічної системи не має певного значення є **нерівноважним**.

Перехід термодинамічної системи з одного стану в інший називається **термодинамічним процесом**. Процес, в результаті якого система повертається у вихідний стан, називають **коловим або циклом**. Якщо при коловому процесі в навколишньому середовищі не відбувається ніяких змін, то процес вважається **оборотним**. Оборотний процес є фізичною моделлю (абстракцією). Усі природні процеси в тій чи іншій мірі супроводжуються тертям, випромінюванням тощо і є **необоротними**.

Для опису стану термодинамічних систем вводяться фізичні величини, називані термодинамічними параметрами (параметрами стану):

тиск	$P = \frac{F_{\perp}}{S},$	$[P] = [\text{Па}];$
об'єм	$V = \frac{m}{\rho},$	$[V] = [\underline{\text{м}}^3];$
температура	$T,$	$[T] = [\text{К}].$

Температура рівноважної термодинамічної системи є мірою інтенсивності теплового руху її молекул (атомів, іонів).

T - термодинамічна (абсолютна) температура; 0 К - абсолютний нуль температури.

Шкали температур:

шкала Цельсія	(°C)		0°C..... 100° C
шкала Кельвіна	(K)	$T\ K = t\ ^\circ C + 273,15$	273,15 K.....373,15 K
шкала Фаренгейта	(°F)	$t\ ^\circ F = 5/9\ t\ ^\circ C + 32$	32°F..... 212° F
шкала Реомюра	(°R)	$t\ ^\circ R = 4/5\ t\ ^\circ C$	0°R..... 80°R

Маса й розмір атомів і молекул

Для характеристики мас атомів і молекул використовуються величини, названі відносною атомною масою (атомною масою) хімічного елемента й відносною молекулярною масою (молекулярною масою) речовини.

Маса атомів і молекул зазвичай вимірюється в атомних одиницях маси.

Одна атомна одиниця маси дорівнює 1/12 маси нукліда вуглецю ^{12}C :

$$1\ \text{а.о.м.} = 1,6605655(86) \cdot 10^{-27}\ \text{кг.}$$

Відносною атомною масою A_r хімічного елемента називається відносне значення маси атома, виражене в атомних одиницях маси.

Приклад 1. Атом кисню O. Маса 1 атома кисню $A_r = 15,99\ \text{а.о.м.} = 15,99 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}\ \text{кг.}$

Приклад 2. Молекула води H_2O . Маса 1 молекули води $M_r = (1,00 \cdot 2 + 15,99 \cdot 1)\ \text{а.о.м.} = 18 \cdot 1,66 \cdot 10^{-27}\ \text{кг.}$

Молярною масою речовини називається маса одного моля цієї речовини.

Моль – це кількість речовини, у якій міститься стільки ж структурних одиниць (атомів, молекул, іонів), скільки міститься в 12 г ізотопу вуглецю ^{12}C . Тобто в одному молі будь-якої речовини міститься одне й те саме число атомів (молекул, іонів), що називається числом Авогадро:

$$N_A = 6,023 \cdot 10^{23}\ \text{моль}^{-1}$$

Розміри атомів (молекул)– порядку $\text{\AA}$ ($1 \text{\AA} = 10^{-10}\text{м}$).

ПРИКЛАД РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВИХ ЗАДАЧ

Якісні задачі

Приклад 1. Чи може будь яка молекула складатися з 0,5, 08, 1,0,10,20,10¹⁰ атомів?

Розв'язання. Найпростіша молекула(інертних газів) складається з одного атома. Отже,молекула може складатися з 1,0, 10,20,10¹⁰ атомів,а не може складатися з 0,5, 0,8 атомів.

Приклад 2. Чому злипання пластинок свинцю чи алюмінію дуже посилюється, якщо супроводити їх стикання незначним зсувом поверхонь?

Розв'язання. Поверхня будь-якого металу вкрита молекулами газів зі складу повітря, тому стискання пластинок не призводить до злипання. При зсуві поверхні обов'язково пошкоджуються, міжатомні відстані зменшуються і у взаємодію вступають чисті ділянки металу, що дуже посилює злипання. Процес має велике технічне значення.

Приклад 3. Маса одного моля води становить $M_{\text{води}} = (1 \cdot 2 + 16) \cdot 10^{-3} = 18 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. З огляду на те, що густина води $\rho_{\text{води}} = 10^3 \text{ кг/м}^3$, об'єм одного моля води $V_{\mu} = \frac{\mu}{\rho} = 18 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$. Число молів води в склянці складає $\nu = \frac{V}{V_{\mu}} = \frac{200 \cdot 10^{-6}}{18 \cdot 10^{-6}} \approx 11,11 \text{ моль}$

Оскільки в одному молі води міститься $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ молекул (число Авогадро), то в склянці міститься $N = N_A \cdot \nu \approx 6,7 \cdot 10^{24}$ молекул. Маса однієї молекули води

$m_0 = \frac{\mu}{N_A} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{6 \cdot 10^{23}} \approx 3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$. Наближений об'єм однієї молекули води $V_0 = \frac{m_0}{\rho} \approx 3 \cdot 10^{-29} \text{ м}^3$, а наближений розмір молекули $a = \sqrt[3]{V_0} = \sqrt[3]{3 \cdot 10^{-29}} \text{ м}$.

Приклад 4. Моль таких газів, як гелій, водень, азот, кисень займає при нормальних умовах ($t = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 101,3 \text{ кПа}$) об'єм, рівний 22,4 л. Чому дорівнює число молекул в одиниці об'єму?

Дано:

$t = 0 \text{ }^{\circ}\text{C} = 273 \text{ К}$

$p = 101,3 \text{ кПа} =$

Розв'язання:

З рівняння стану газу

$$= 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$V = 22,4 \text{ л} =$$

$$= 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

$$\nu = 1 \text{ моль}$$

$$N_1 - ?$$

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

помножимо ліву й праву частини на N_A - число Авогадро, одержуємо

$$pVN_A = \frac{m}{M}RT \cdot N_A$$

число молекул $N = \frac{m}{M} N_A$, то робимо заміну

$$pVN_A = NRT \Rightarrow N = \frac{pVN_A}{RT} -$$

кількість молекул в об'ємі V , для $V = 1 \text{ м}^3$ $N_1 = \frac{pN_A}{RT}$ - кількість молекул газу в 1 м^3 .

$$N_1 = \frac{1,013 \cdot 10^5 \text{ Па} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}}{8,31 \text{ Дж / моль} \cdot \text{К} \cdot 273 \text{ К}} = 2,68 \cdot 10^{29} = 268 \cdot 10^{27} \text{ шт.}$$

Відповідь: $N_1 = 268 \cdot 10^{27} \text{ шт.}$

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Які сили діють між молекулами речовини?

А - тільки притягання;

Б - тільки відштовхування;

В - притягання й відштовхування;

Г - або притягання або відштовхування, у залежності від агрегатного стану;

Д - правильної відповіді немає.

2. В якому з агрегатних станів речовина має найбільшу упорядкованість у розташуванні його частинок (атомів, молекул, іонів)?

А - у твердому кристалічному; Б - у рідинному;

В - у газоподібному; Г - однозначно відповісти на запитання неможливо;

Д - правильної відповіді немає.

3. Рух броунівської частинки (броунівський рух) є наслідком:

А - дії сили тяжіння;

Б - виникаючих у рідині конвекційних потоків;

В - узгоджених ударів частинки молекулами рідини;

Г - хаотичного теплового руху молекул та їхніх неузгоджених ударів із частинкою;
Д - немає правильної відповіді.

4. За одиницю виміру маси атомів і молекул прийнято:

А - масу одного атома; Б - масу атома водню m_H ;

В - атомну одиницю маси, що дорівнює $\frac{1}{12}$ маси атома ізотопу вуглецю ^{12}C , —

$m_{^{12}\text{C}}$; Г - $\frac{1}{12}$ маси будь-якого атома вуглецю;

Д) правильної відповіді немає.

5. Число Авогадро ($N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$) показує:

А - масу одного моля речовини;

Б - кількість структурних елементів, що містяться в 1 молі речовини;

В - кількість структурних елементів, що містяться в 1 кг речовини;

Г - кількість структурних елементів, що містяться в 1 м^3 речовини;

Д - правильної відповіді немає.

6. Укажіть формулу для визначення молярної маси M речовини за відомим значенням відносної маси молекули m_r ;

$$\text{А} - M = m_r \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}};$$

$$\text{Б} - M = m_r \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{моль}};$$

$$\text{В} - M = m_r \frac{\text{г}}{\text{моль}};$$

$$\text{Г} - M = m_r \frac{\text{кг}}{\text{моль}};$$

Д - правильної відповіді немає.

7. Укажіть, яка з формул для розрахунку кількості речовини ν є правильною:

$$\text{А} - \nu = \frac{m}{M};$$

$$\text{Б} - \nu = \frac{N}{N_A};$$

$$\text{В} - \nu = \frac{M}{m};$$

$$\text{Г} - \nu = \frac{N_A}{N};$$

$$\text{Д} - \nu = \frac{m}{M} \text{ і } \nu = \frac{N}{N_A}$$

8. При нагріванні більшість тіл розширюється. Це пояснюється тим, що при нагріванні збільшуються:

А - розміри атомів;

Б - розміри молекул;

В - розміри атомів і молекул;

Г - відстані між молекулами;

Д - правильної відповіді немає.

9. Як різняться розміри молекул води і льоду?

19. При спостереженні в мікроскоп за броунівськими частинками можна помітити, що вони рухаються

- А -... в одному напрямі з однаковими по модулю швидкостями;
 Б -... у різних напрямках з однаковими по модулю швидкостями;
 В - ... у різних напрямках з різними по модулю швидкостями;
 Г -... в одному напрямі з різними по модулю швидкостями.

20. За якою формулою можна обчислити кількість речовини в тілі?

А - $v = \frac{N}{N_A}$; Б - $n = \frac{N}{V}$; В - $M_r = \frac{m_0}{1/12 m_{0c}}$; Г - $m = m_0 \cdot N$.

21. На поверхню води впала крапелька гасу і розтеклася, утворивши тонку плівку.

За допомогою цього досвіду можна оцінити ...

- А - ...середній розмір молекул гасу;
 Б - ...швидкість хаотичного руху молекул води;
 В - ...швидкість хаотичного руху молекул гасу;
 Г - ...сили взаємодії молекул.

22. Кількість речовини, яка містить стільки ж структурних елементів, скільки атомів міститься в 12г карбону, називається:

- А - молярною масою; Б - відносною молекулярною масою;
 В - молем; Г- правильної відповіді немає.

23. Деяке тіло містить 10^{26} молекул. Яка кількість речовини в цьому тілі?

- А - від 100 моль до 200 моль; Б - від 50 моль до 90 моль;
 В.- від 15 моль до 45 моль; Г - від 10 моль до 14 моль.

24. Маса атома деякого хімічного елемента рівна $6,68 \cdot 10^{-27}$ кг. Який це елемент?

- А - водень; Б – літій; В - гелій; Г - хлор.

Середній рівень

1. Чому із збільшенням температури інтенсивність броунівського руху зростає?
2. За допомогою таблиці Менделєєва визначити відносну атомну масу хімічного елемента з порядковим номером 30, а потім розрахуйте молярну масу цієї речовини.
3. Маса атома деякого хімічного елемента дорівнює $6,64 \cdot 10^{-27}$ кг. Визначити відносну масу цього атома, якщо $1 \text{ а.о.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27}$. За таблицею Менделєєва відшукайте назву цього елемента. Яка молярна маса цієї речовини?
4. Молярна маса кисню O_2 дорівнює 0,032 кг/моль. Яка кількість речовини міститься у 16 г кисню?
5. Скільки молекул водню H_2 міститься у 5 моль цього газу?
6. Скільки атомів заліза Fe міститься в 1г цієї речовини? Молярна маса заліза дорівнює: $M = 0,056$ кг/моль.
7. Деяка речовина містить $24,06 \cdot 10^{23}$ структурних елементів. Визначити кількість цієї речовини.
8. Крапля нафти об'ємом 1 мм^3 розпливлася по поверхні води, створивши пляму площею 3 м^2 . Оцінити максимальні розміри молекул нафти.
9. Скільки молекул міститься у 2 молях вуглекислого газу CO_2 ? Скільки атомів вуглецю C й кисню O міститься у цій кількості речовини?
10. У скільки разів молярна маса μ азоту N_2 більша за молярну масу μ водню H_2 ?
11. Визначити масу молекул водню в 10г води.
12. Яка маса 50моль вуглекислого газу?
13. Яка кількість речовини міститься в алюмінієвій пластинці масою 5,4кг?
14. Який об'єм займає 100моль ртуті?
15. Скільки молекул міститься в 12г водню?
16. Добре відкачана лампа розжарювання об'ємом 100 см^3 має тріщину через яку кожну секунду приникає один мільйон молекул. Скільки часу знадобиться для наповнення лампи до нормального тиску, якщо вважати, що швидкість проникнення газу весь час залишається сталою? Температура $t = 0^\circ \text{C}$.

ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ

1. Обчислити маси однієї молекули водню й кисню.
2. В озеро об'ємом $V=0,2 \text{ км}^3$ кинули кришталік йоду I ($\mu=127 \text{ г/моль}$) масою $m=127 \text{ мг}$. Яка концентрація молекул йоду n утвориться в озері, якщо вони після розчинення рівномірно розподіляться по всьому об'єму води?
3. Обчислити число n_0 молекул, що містяться в об'ємі $V=1 \text{ см}^3$ газу за нормальних умов.
4. Скільки молекул знаходиться в $V=1 \text{ м}^3$ газу при температурі $t=27^\circ\text{C}$ и тиску $p=10^5 \text{ Па}$?
5. Скільки молекул знаходиться в $V=1 \text{ дм}^3$ газу при температурі $t=7^\circ\text{C}$ и тиску $p=10^5 \text{ Па}$?
6. Знайти число атомів в алюмінієвому предметі масою 135 г .
7. На виріб, площа поверхні якого $S=20 \text{ см}^2$, нанесли захисний прошарок срібла товщиною $h=1 \text{ мкм}$. Скільки атомів срібла міститься в захисному покритті?
8. Порівняти число атомів, які містяться в срібній та алюмінієвій ложці однакового об'єму.
9. Вважаючи, що діаметр молекул водню складає близько $d=2,3 \cdot 10^{-10} \text{ м}$, підрахувати, якої довжини отримали б нитку, якби всі молекули, які містяться $m=1 \text{ мг}$ цього газу, були вишикувані в один ряд впритул одна до одної. Порівняти довжину цієї нитки з середньою відстанню до Місяця ($s=3,38 \cdot 10^5 \text{ км}$).
10. Вода масою $m=200 \text{ г}$, яка містилася в склянці, повністю випарувалася за $t=20 \text{ діб}$. Скільки молекул N вилітало з її поверхні за $t=1 \text{ с}$?
11. Скільки молекул міститься в $m=1 \text{ г}$ водяної пари?
12. Скільки молекул N міститься в краплі води діаметром $d=0,1 \text{ мм}$ при температурі $t=4^\circ\text{C}$?
13. Визначити кількість атомів N у алюмінієвій кульці діаметром $d=1 \text{ см}$. Густина алюмінію $\rho=2700 \text{ кг/м}^3$

14. Густина алмазу дорівнює $\rho = 3,5 \text{ кг/м}^3$. Який об'єм V займає 1 моль цієї речовини?
15. Який об'єм V займає водень, який містить таку ж саму кількість речовини, яку містить об'єм $V = 2 \text{ м}^3$ азоту? Тиск та температура газів однакові.

ВИСОКИЙ РІВЕНЬ

1. Скільки електронів, протонів та нейтронів міститься в $m = 1 \text{ мг}$ нікелю, якщо його порядковий номер в періодичній системі Менделєєва 28, а відносна атомна маса 59?
2. Скільки електронів N міститься в $V = 1 \text{ см}^3$ срібла? Порядковий номер елемента в періодичній системі Менделєєва 47, а відносна атомна маса 108.
3. Визначити, яку частину об'єму, в якому міститься газ при нормальних умовах (температура 0°C , тиск 760 мм. рт. ст.) займають молекули.
4. а) Де більше атомів: у склянці води чи в склянці ртуті?
А – однаково. Б - у склянці води. В - у склянці ртуті.
б) Поясніть явища, які відбуваються, коли ви дуєте на борщ в ложці, коли він гарячий. в) Оцініть розміри атомів свинцю, вважаючи відомими його густину ($\rho = 11300 \text{ кг/м}^3$), відносну атомну масу (207) і число Авогадро ($6,023 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$).
5. Крапля масла об'ємом $V = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ см}^3$ розтілася по поверхні води, утворивши плівку площею $S = 0,60 \text{ дм}^2$. Визначити розміри та об'єм молекули масла, вважаючи її кулею. (Густину масла вважати рівною $\rho = 900 \text{ кг / м}^3$).
6. Кристал солі NaCl має кубічну структуру. Знайдіть середню відстань між центрами сусідніх іонів Na^+ і Cl^- , якщо густина солі $\rho = 2,2 \text{ г/см}^3$.
7. Порівняйте число атомів у срібному й алюмінієвому виробих однакових об'ємів. Густина срібла й алюмінію дорівнює відповідно $\rho_1 = 10,5 \text{ г/см}^3$, $\rho_2 = 2,7 \text{ г/см}^3$.
8. Вода об'ємом $V = 200 \text{ см}^3$ випарувалася зі склянки за 5 діб. Скільки молекул N вилітало щосекунди з поверхні води?

9. Визначити середній об'єм V і розміри r атомів міді. Густина міді $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$.
10. Оцініть кількість молекул, які потрапляють на $s = 1 \text{ см}^2$ кімнати за одну секунду. Тиск нормальний, температура кімнатна. ($t = 20^\circ \text{C}$).

Молекулярно-кінетична теорія ідеальних газів

Ідеальним називають газ, взаємодією між молекулами якого можна знехтувати. Ідеальними можна вважати розріджені гази, молекули яких практично не взаємодіють одна з одною. Вони лише іноді зіштовхуються між собою. Але зіткнення відбуваються настільки рідко, що більшу частину часу молекули рухаються вільно. Особливо близькі за своїми властивостями до ідеального газу гелій і водень.

Закони ідеального газу

Закон Авогадро. Молі будь-яких газів за однакових температур й тисків займають однакові об'єми.

За нормальних умов ($t = 0^\circ\text{C}$, $P = 10^5 \text{ Па}$) об'єм одного молю становить:

$$V_\mu = 22,4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \quad (22,4 \text{ л}).$$

Закон Дальтона. Тиск суміші ідеальних газів дорівнює сумі парціальних тисків газів, що входять у склад суміші:

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n .$$

$P_1, P_2, \dots, P_n$ - парціальні тиски.

Парціальний тиск – тиск, який би здійснювався окремим газом суміші, якби він один займав весь об'єм при тій же температурі.

Закон Бойля-Маріотта. Для даної маси газу при сталій температурі добуток тиску газу на його об'єм є величина незмінна:

$$PV = \text{const} .$$

Термодинамічний процес, який протікає при постійній температурі називається **ізотермічним**.

Закон Гей-Люссака. Об'єм даної маси газу при постійному тиску змінюється лінійно з температурою:

$$V = V_0(1 + \alpha t) ,$$

V_0 – об'єм даної маси газу при $t = 0^\circ\text{C}$, $\alpha = 1/273,15 \text{ К}^{-1}$.

З урахуванням значення коефіцієнта α :

$$V = V_0 \alpha T .$$

Процес, який протікає при сталому тиску називається *ізобарним*.

Закон Шарля. Тиск даної маси газу при сталому об'ємі змінюється лінійно з температурою:

$$P = P_0(1 + \alpha t) ,$$

P_0 – тиск даної маси газу при $t = 0^\circ\text{C}$, $\alpha = 1/273,15 \text{ K}^{-1}$.

З урахуванням значення коефіцієнта α :

$$P = P_0 \alpha T .$$

Процес, який протікає при постійному об'ємі називається *ізохорним*.

Рівняння стану ідеального газу

Рівнянням стану називається рівняння вигляду $f(P, V, T) = 0$.

Рівняння стану ідеального газу було отримано шляхом узагальнення законів Бойля-Маріотта, Гей-Люссака й Авогадро французьким фізиком Б. Клапейроном і російським вченим Д.І. Менделєєвим і носить їх ім'я:

$$PV = \frac{m}{\mu} RT \quad \text{рівняння Клапейрона-Менделєєва,}$$

де P – тиск газу, T – температура газу, V – об'єм газу, μ – молярна маса газу, $R = 8,31 \text{ Дж/моль К}$ – молярна (універсальна) газова стала, m – маса газу.

$$\frac{m}{\mu} = \nu - \text{число молів газу; } k = \frac{R}{N_A} = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К} - \text{стала Больцмана.}$$

З рівняння стану ідеального газу як окремі випадки випливають:

закон Бойля-Маріотта

$$T = \text{const}, m = \text{const},$$

$$PV = \text{const}$$

рівняння ізоермічного процесу;

закон Гей-Люссака

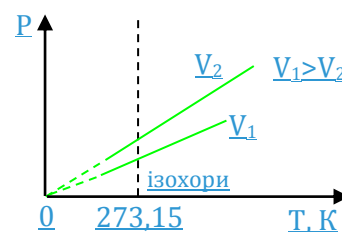
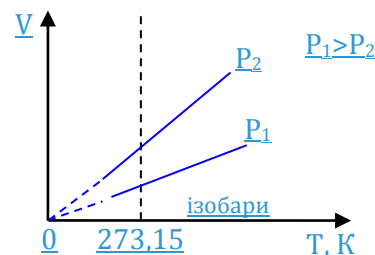
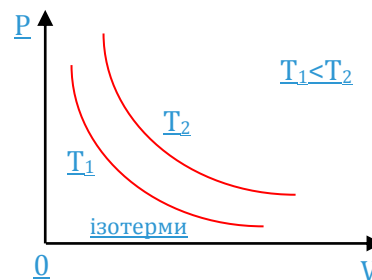
$$P = \text{const}, m = \text{const},$$

$$\frac{V}{T} = \text{const} \text{ рівняння ізобарного процесу;}$$

закон Шарля

$$V = \text{const}, m = \text{const},$$

$$\frac{P}{T} = \text{const} \text{ рівняння ізохорного процесу.}$$



Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу

Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу встановлює зв'язок між макро- і мікро- характеристиками системи, а саме – між тиском газу і середньою кінетичною енергією поступального руху однієї молекули газу:

$$P = \frac{2}{3} n \langle \varepsilon_{\text{кін.пост.}} \rangle$$

$$\langle \varepsilon_{\text{кін.пост.}} \rangle = \frac{m_0 \langle v^2 \rangle}{2}$$

основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу

середня кінетична енергія поступального руху однієї молекули

Із зіставлення основного рівняння молекулярно-кінетичної теорії з рівнянням стану ідеального газу випливає:

$$\langle \varepsilon_{\text{кін.пост.}} \rangle = \frac{3}{2} kT .$$

Тобто, середня кінетична енергія поступального руху однієї молекули ідеального газу пропорційна термодинамічній температурі. При $T=0$ ($\langle \varepsilon_0 \rangle = 0$) поступальний рух молекул газу припиняється. Фізичний сенс термодинамічної температури полягає в тому, що вона є мірою середньої кінетичної енергії поступального руху молекул. Чим вище температура, тим швидше рухаються молекули.

Середня квадратична швидкість руху молекул

$$v_{\text{сер.кв.}} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} .$$

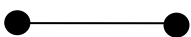
Закон рівномірного розподілу енергії за ступенями вільності



$$i=3$$

Числом ступенів вільності системи називається кількість не-

залежних величин, за допомогою яких може бути задане положення системи в просторі в будь-який момент часу.



$$i=3+2=5$$

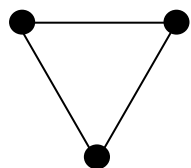
Положення матеріальної точки визначається трьома координатами



$$i=3+3=6$$

(x, y, z) або

(φ, ψ, τ) . Число ступенів вільності матеріальної точки дорівнює 3.



$$i=3+3=6$$

а) Одноатомна молекула, що розглядається в молекулярно-кінетичній теорії як матеріальна точка, має 3 ступені вільності.

б) Двохатомна молекула із жорстким зв'язком має 3 поступальні ступені вільності й 2 обертальні.

в) Двохатомна молекула із гнучким зв'язком має 3 поступальні, 2 обертальні ступені вільності й 1 коливальний.

г) Трьохатомна молекула із жорстким зв'язком має 3 поступальні й 3 обертальні ступені вільності.

Будь-яка молекула має тільки 3 поступальні ступені вільності.

Закон рівномірного розподілу енергії за ступенями вільності. На кожний ступінь вільності (поступальний, обертальний і коливальний) в середньому припадає однакова кінетична енергія:

$$\langle \varepsilon_{\text{кін}} \rangle = \frac{1}{2} kT .$$

Середня кінетична енергія молекули визначається виразом:

$$\langle \varepsilon_{\text{кін}} \rangle = \frac{i}{2} kT ,$$

i – сума числа поступальних, числа обертальних й подвоєного числа коливальних ступенів вільності молекули: $i = i_{\text{пост}} + i_{\text{оберт}} + 2i_{\text{кол}} .$

Коливальний рух пов'язаний з наявністю в коливної системи не тільки кінетичної, але й потенціальної енергії, які чисельно рівні. Тому на коливальний ступінь вільності доводиться в середньому $2 \cdot (1/2) \cdot kT .$

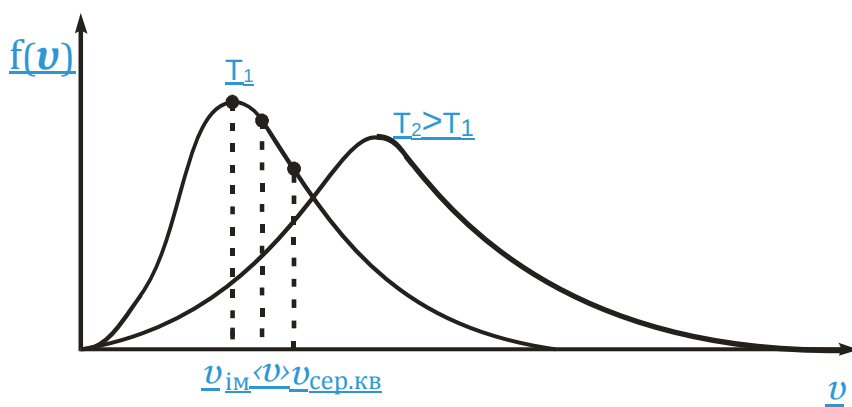
Закон розподілу Максвелла молекул за швидкостями

Статистичний закон розподілу молекул ідеального газу за швидкостями в стані рівноваги теоретично отримав Максвелл, засновуючись на методах теорії ймовірності.

Розподілом Максвелла називається залежність відносної кількості молекул газу, абсолютні значення швидкості яких при даній температурі знаходяться в інтервалі від v до $v + dv$, від цієї швидкості:

$$f(v) = \frac{1}{n} \frac{dn}{dv} = 4\pi \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} v^2 .$$

Розподіл Максвелла отримано у припущенні безперервного теплового руху тотожних молекул і відсутності силових полів. Цей закон дає змогу знайти число молекул dn , швидкості яких лежать у заданому інтервалі від v до $v + dv$, із загальної кількості n молекул газу при даній температурі:



$$dn = 4\pi n \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} v^2 dv.$$

Конкретний вигляд функції розподілу залежить від температури газу T і маси молекули газу m_0 .

Керуючись законом Максвелла, можна визначити середню арифметичну швидкість молекул:

$$\langle v \rangle = \int_0^{\infty} f(v) v dv, \quad \langle v \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}.$$

Графік функції розподілу має максимум, який відповідає *найбільш імовірній швидкості* v_{im} :

$$v_{im} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{2RT}{\mu}}.$$

Співвідношення між найбільш імовірною, середньою арифметичною і середньою квадратичною швидкостями:

$$\sqrt{\frac{2RT}{\mu}} : \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}} : \sqrt{\frac{3RT}{\mu}} = 1 : 1,13 : 1,22.$$

З підвищенням температури швидкості молекул в загальні збільшуються, максимум кривої розподілу, тобто найбільш імовірна швидкість, зсувається в бік більших значень. При цьому крива розподілу розтягується і знижується. Кількість молекул, що мають швидкості більші v_{im} , зростає, а кількість молекул зі швидкостями меншими v_{im} — зменшується. Крім того, аналіз кривих розподілу Максвелла показує, що швидкості, які дуже відрізняються від найбільш імовірної, зустрічаються рідко.

Від розподілу молекул газу за швидкостями можна перейти до розподілу молекул за кінетичною енергією, здійснивши перехід від змінної v до змінної $\varepsilon = m_0 v^2 / 2$:

$$f(\varepsilon) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (kT)^{-3/2} \varepsilon^{1/2} e^{-\frac{\varepsilon}{kT}} \quad \text{функція розподілу молекул за енергіями}$$

Розподіл Больцмана. Барометрична формула

Молекули газів в земних умовах, перебуваючи в безперервному тепловому русі, знаходяться в потенціальному полі тяжіння Землі. Сила тяжіння при віддаленні від поверхні Землі зменшується. Встановлено, що тиск ($P = F_{\perp} / S$) оточуючої Землю газоподібної оболонки, називаної атмосферою, змінюється з висотою.

Залежність тиску від висоти для ізотермічної атмосфери визначається барометричною формулою:

$$P = P_0 e^{-\frac{\mu gh}{RT}}, \quad P - \text{тиск на висоті } h, \quad P_0 - \text{тиск на рівні відліку висоти.}$$

Зміни температури атмосфери з висотою порівняно невеликі: на висоті 10 км температура менша за температуру у поверхні землі на декілька десятків кельвін. Тому барометрична формула достатньо точна. Ця формула дозволяє обчислити тиск на заданій висоті або за виміряним тиском визначити висоту. Із барометричної формули випливає, що для більш важких газів тиск з висотою зменшується швидше.

Скориставшись рівнянням $P = nkT$, перетворимо барометричну формулу до вигляду:

$$n = n_0 e^{-\frac{\mu gh}{RT}}, \quad n - \text{концентрація молекул на висоті } h, \quad n_0 - \text{концентрація молекул на рівні відліку висоти.}$$

Тобто, концентрація молекул в ізотермічній атмосфері зменшується з висотою. З огляду на те, що $\frac{\mu}{R} = \frac{m_0}{k}$ і $m_0 gh = \varepsilon_{nom}$ – потенціальна енергія молекули в полі тяжіння, отримаємо $n = n_0 e^{-\frac{\varepsilon_{nom}}{kT}}$.

Больцман показав, що остання формула справедлива для молекул, які знаходяться у стані хаотичного теплового руху не тільки в полі тяжіння, а в будь-якому потенціальному полі сил.

Статистично рівноважний розподіл тотожних молекул (частинок) в стані хаотичного теплового руху при сталій температурі в присутності зовнішніх потенціальних полів визначається **розподілом Больцмана**:

$$n = n_0 e^{-\frac{\varepsilon_{nom}}{kT}},$$

n – концентрація молекул в місці, де їх потенціальна енергія дорівнює ε_{nom} , n_0 – концентрація молекул в місці, де $\varepsilon_{nom} = 0$. Тобто, при сталій температурі концентрація молекул газу більше там, де менше потенціальна енергія його молекул.

Закон Максвелла- Больцмана

Розподіл Максвелла визначає розподіл молекул за абсолютними значеннями їх швидкості, і відповідно – за кінетичною енергією, а розподіл Больцмана – за потенціальною енергією. Обидва розподіли поєднуються в законі Максвелла - Больцмана.

Закон Максвелла-Больцмана. Концентрація молекул, що знаходяться в потенціальному полі, які мають потенціальну енергію ε_{nom} і швидкість в інтервалі від v до $v + dv$ визначається за формулою:

$$dn(v, \varepsilon_{nom}) = 4\pi n_0 \left(\frac{m_0}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-\frac{\varepsilon_{nom} + m_0 v^2 / 2}{kT}} v^2 dv.$$

Приклади розв'язання типових задач

Графічні задачі. Приклад 1. Накреслити графік залежності тиску сталої маси газу від температури, якщо внаслідок дисоціації концентрація частинок у ньому при температурі T_1 зросла втричі.

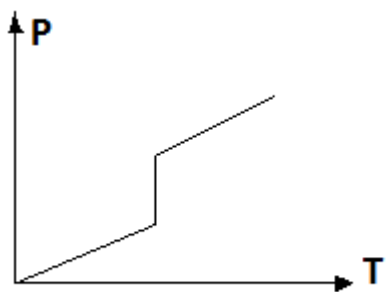


рис. 1

Розв'язання.

З формули $p = nkT$ випливає, що тиск прямо пропорційний T . скориставшись рис 1 і врахувавши перехід $p_0 \rightarrow 3p_0$ приходимо до графіка 2

Обчислювальні задачі. Приклад 1. Скільки молекул N

кисню містить киснева подушка об'ємом $V=20$ л при тиску $p=1,1$ атм, якщо температура у приміщенні $t=27^\circ\text{C}$? Яка маса m кисню у подушці?

Розв'язання.

Температура кисню у подушці $T=300\text{K}$, тому для обчислення кількості молекул зручно скористатись основним рівнянням молекулярно - кінетичної теорії для ідеального газу:

$p = nkT = \frac{N}{V}kT \Rightarrow N = \frac{pV}{kT}$. Обчислюючи, треба записати об'єм кисню не в літрах, а у кубічних метрах ($20\text{л}=0,02\text{м}^3$). Отже,

$$N = (1,1 \cdot 10^5 \text{Па} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \text{м}^3) / (1,6 \cdot 10^{-23} \text{Дж} \cdot \text{К}^{-1} \cdot 3 \cdot 10^2 \text{К}) = 4,6 \cdot 10^{23} \text{молекул}$$

Для обчислення маси кисню використаємо рівняння кількості речовини

$$\nu = \frac{N}{N_A} = \frac{m}{\mu} \Rightarrow m = \frac{N\mu}{N_A}$$

Підставивши сюди значення $N=4,6 \cdot 10^{23}$ і значення молярної

маси кисню $M = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{кг/моль}$, отримаємо $m = \frac{(3,2 \cdot 10^{-2} \cdot 4,6 \cdot 10^{23})}{6 \cdot 10^{23}} = 0,024 \text{кг} = 24 \text{г}$.

Приклад 2. Газове пальне для двигуна газобалонного автомобіля міститься у двох балонах під тиском $P_1 = 200$ атм. Об'єм кожного балона $V = 8 \cdot 10^{-2} \text{м}^3$. Визначити, скільки кілограмів газу було витрачено за час поїздки, якщо тиск у балонах знизився до $P_2 = 100$ атм? Температура $t = 0^\circ\text{C}$. Густина пального за нормальних умов $\rho = 600 \text{кг/м}^3$. (температура 0°C , тиск 760мм. рт. ст.)

Розв'язання.

Вважаючи, що об'єм і температура газу до і після витрати пального залишалися незмінними, можна записати рівняння стану:

$$p_1 \cdot 2V = \frac{m_1}{M} RT_0, \quad p_2 \cdot 2V = \frac{m_2}{M} RT_0, \quad \text{де } T_0 = t + 273.$$

Віднявши від першого рівняння друге, дістанемо: $2V(P_1 - P_2) = \frac{m_1 - m_2}{M} RT_0$,

звідки $\Delta m = m_1 - m_2 = \frac{2V(P_1 - P_2)M}{RT_0}$. Молярну масу M газу знайдемо через його густину при нормальних умовах, скориставшись рівнянням Клапейрона-Менделєєва

$$P_0 V_0 = \frac{m}{\mu} RT_0, \quad \frac{m}{V_0} = \frac{\mu P_0}{RT_0}. \quad \text{Врахуємо, що } \rho = \frac{m}{V_0}, \text{ тобто}$$

$$\rho = \frac{\mu P_0}{RT_0}. \quad \text{Звідки } \mu = \rho \frac{RT_0}{P_0}. \quad \text{Остаточно } \Delta m = \frac{2V(P_1 - P_2)\rho}{P_0} = 9,6 \text{ кг.}$$

Приклад 3. У балоні міститься $m_1 = 16$ г кисню і $m_2 = 10$ г водню. У скільки разів зміниться тиск у балоні, коли весь кисень сполучиться з необхідною для реакції частиною водню? Температура в балоні підтримується сталою. Тиском насиченої водяної пари знехтувати.

Розв'язання.

До початку реакції тиск в балоні дорівнював сумі парціальних тисків кисню і водню: $P = P_1 + P_2 = \frac{RT}{V} \left(\frac{m_1}{M_1} + \frac{m_2}{M_2} \right)$, де $M_1 = 32 \cdot 10^{-3}$ кг/моль і $M_2 = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль

– молярні маси молекулярних кисню й водню відповідно.

З рівняння реакції сполучення водню з киснем $2H_2 + O_2 = 2H_2O$ випливає, що один моль кисню (32г) сполучається з 2 молями водню (4г). Тобто 16 г кисню сполучається з 2 г водню і в балоні залишиться $m_2' = 8$ г водню. Тиск в балоні після реакції.

$$P' = \frac{RT}{V} \cdot \frac{m_2'}{M_2}. \quad \text{Відношення } \frac{P'}{P} = \frac{M_1 m_2'}{M_1 m_2 + M_2 m_1} \approx 0.73.$$

Приклад 4. Для уникнення окислення розжареної нитки лампи розжарювання з її балона відкачують повітря до тиску $P = 0,13 \cdot 10^{-2}$ Па. Скільки молекул N газів

повітря знаходиться в балоні лампи при цьому тиску, якщо об'єм балона $V = 0,1 \text{ дм}^3$? Середню квадратичну швидкість хаотичного руху молекул газів повітря вважати такою, що дорівнює $v_{\text{ср хв}} = 400 \text{ м/с}$.

Розв'язання.

З основного рівняння кінетичної теорії газів

$$P = \frac{1}{3} n m_0 \langle v^2 \rangle$$

визначимо кількість молекул в одиниці об'єму: $n = 3P / (m_0 \langle v^2 \rangle)$.

$$N = nV = \frac{3P}{m_0 \langle v^2 \rangle} V$$

Тоді загальне число молекул в балоні

Для обчислення N треба знати масу однієї молекули m_0 .

Визначимо масу однієї молекули з молярної маси:

$$m_0 = \frac{\mu}{N_A}, \text{ де } N_A - \text{число Авогадро.} \quad \text{Тоді } N = \frac{3PV N_A}{\mu \langle v^2 \rangle} \approx 5,7 \cdot 10^{14}.$$

Приклад 5. Число молекул в об'ємі газу дорівнює числу Авогадро N_A . Вважаючи газ ідеальним, визначити число ΔN молекул, швидкості v яких менші 0,001 найбільш імовірної швидкості $v_{\text{ім}}$.

Розв'язання.

Скористаємося розподілом молекул за відносними швидкостями u ($u = v/v_{\text{ім}}$).

Число $dN(u)$ молекул, відносні швидкості u яких знаходяться в межах від u до $u + du$

, визначається за формулою $dN(u) = \frac{4N}{\sqrt{\pi}} e^{-u^2} u^2 du$ (*), де N – загальна кількість молекул в об'ємі.

За умовою задачі максимальна швидкість молекул, що нас цікавить, становить

$$u_{\text{max}} = \frac{v_{\text{max}}}{v_{\text{ім}}} = 0,001$$

$v_{\text{max}} = 0,001 v_{\text{ім}}$, звідки . Для таких малих значень u формулу

(*) можна спростити (при $u \ll 1$: $e^{-u^2} = 1 - u^2$; $u^2 = (0,001)^2 \ll 1$):

$dN(u) = \frac{2N_A}{\sqrt{\pi}} u^2 du$ Проінтегруємо останнє рівняння за змінною u в межах від 0 до $u_{\max}$:

$$\Delta N = \frac{4N_A}{\sqrt{\pi}} \int_0^{u_{\max}} u^2 du = \frac{4N_A}{\sqrt{\pi}} \frac{u^3}{3} \Big|_0^{u_{\max}}, \quad \text{або} \quad \Delta N = \frac{4N_A}{3\sqrt{\pi}} u_{\max}^3.$$

Підставивши числові значення величин, дістанемо: $\Delta N = 4,53 \cdot 10^{17}$ молекул.

Приклад 6. Порошинки, загальна маса яких $m = 10^{-18}$ г, завислі в повітрі. Визначити товщу шару повітря, в межах якого концентрація порошинок різниться не більше, ніж на 1%. Температура повітря $T = 300\text{K}$.

Розв'язання.

При рівноважному розподілі порошинок їх концентрація залежить тільки від координати уздовж осі z , спрямованої вертикально вгору. В даному випадку можна застосовувати формулу Больцмана $n = n_0 e^{-U/(kT)}$.

Оскільки в однорідному полі сили тяжіння $U = mgz$, то $n = n_0 e^{-mgz/(kT)}$.

За умовою задачі зміна концентрації Δn з висотою мала в порівнянні з концентрацією n ($\Delta n/n = 0,01$), тому зміну концентрації Δn можна замінити диференціалом dn .

Продиференцуємо формулу для n за змінною z : $dn = -n_0 \frac{mg}{kT} e^{-mgz/(kT)} dz$.

Оскільки $n_0 e^{-mgz/(kT)} = n$, то $dn = -\frac{mg}{kT} n dz$. Звідси знайдемо координати:

$dz = -\frac{kT}{mg} \frac{dn}{n}$. Знак « $\leftrightarrow$ » указує на те, що додатній зміні координати ($dz > 0$) відповідає зменшення відносної концентрації ($dn < 0$).

Опустимо знак « $\leftrightarrow$ » (в даному випадку він неістотний) і замінимо диференціали dz і dn кінцевими величинами Δz і Δn :

$\Delta n : \Delta z = \frac{kT}{mg} \frac{\Delta n}{n}$. Підставивши числові значення, отримаємо: $\Delta z = 4,23\text{мм}$.

Приклад 7. Середня швидкість та середнє число зіткнень за одну секунду молекул водню при нормальних умовах (температура 0°C , тиск 760 мм. рт. ст.) відповідно дорівнюють 1800 м/с та $1,5 \cdot 10^{10} \text{ с}^{-1}$. Знайти довжину вільного пробігу молекул водню.

Розв'язання

$$\lambda = v/z \quad \lambda = \frac{1800}{1.5 \cdot 10^{10}} = 1.2 \cdot 10^{-7} (\text{м}).$$

Приклад 8. У балоні втримується газ при температурі $t_1 = 100^\circ\text{C}$. До якої температури треба нагріти газ, щоб його тиск збільшився у два рази?

Дано:	Розв'язання:
$t_1 = 100^\circ\text{C}$	$V = \text{const}$ - процес ізохорний: рівняння процесу $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$.
$P_2 = 2 P_1$	
$(T_2) \quad t_2 - ?$	Знайдемо температуру T_2 :

$$T_2 = \frac{P_2 \cdot T_1}{P_1} = \frac{2P_1 \cdot T_1}{P_1} = 2T_1$$

$$T_2 = 2T_1 \quad T_2 = 2(273 + 100) = 2 \cdot 373\text{K} = 746\text{K}; \quad t_2 = 746\text{K} - 273\text{K} = 473^\circ\text{C}.$$

Приклад 9. У балонах об'ємом $V_1 = 20$ л і $V_2 = 44$ л утримується газ. Тиск у першому балоні $P_1 = 24$ МПа, у другому – $P_2 = 1,6$ МПа. Визначити загальний тиск P і парціальні тиски P'_1 й P'_2 після з'єднання балонів, якщо температура залишилася сталою.

Розв'язання:

Дано:	1) Стан газу в кожному балоні можна описати рівнянням Менделєєва – Клапейрона (рівняння стану ідеального газу):
$V_1 = 20 \text{ л} = 20 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	$PV = \frac{m}{M} RT$
$V_2 = 44 \text{ л} = 44 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$	
$P_1 = 24 \text{ МПа} = 24 \cdot 10^6 \text{ Па}$	Для першого балона: $P_1 V_1 = \frac{m_1}{M_1} RT_1$
$P_2 = 1,6 \text{ МПа} = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$	
$P - ? \quad P'_1 \text{ й } P'_2 - ?$	Для другого балона: $P_2 V_2 = \frac{m_2}{M_2} RT_2$

2) Після з'єднання балонів утворюється посудина з об'ємом $V = V_1 + V_2$, де міститься газова суміш масою $m = m_1 + m_2$.

За умови, що $T_1 = T_2 = T$; $M_1 = M_2 = M$, можемо записати наступне рівняння ста-

ну:
$$P(V_1 + V_2) = \frac{m_1 + m_2}{M} \cdot RT,$$

Звідси шуканий тиск $P = \frac{(m_1 + m_2)RT}{M(V_1 + V_2)}$, оскільки що $m_1 = \frac{P_1 V_1 M}{RT}$, $m_2 = \frac{P_2 V_2 M}{RT}$, тоді

$$P = \frac{P_1 V_1 + P_2 V_2}{V_1 + V_2} = \frac{24 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-3} + 1,6 \cdot 10^6 \cdot 44 \cdot 10^{-3}}{(20 + 44) \cdot 10^{-3}} \approx 8,6 \cdot 10^6 \text{ Па} = 8,6 \text{ МПа}.$$

3) Згідно із законом Дальтона для даної суміші, що складається із двох газів, можемо записати: $P = P_1' + P_2'$,

$$\text{де } P_1' = \frac{m_1 RT}{(V_1 + V_2)M} = \frac{\frac{P_1 V_1 M}{RT} RT}{(V_1 + V_2)M} = \frac{P_1 V_1}{V_1 + V_2} = \frac{24 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{(20 + 44) \cdot 10^{-3}} = 7,5 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

відповідно:

$$P_2' = \frac{P_2 V_2}{V_1 + V_2} = \frac{1,6 \cdot 10^6 \cdot 44 \cdot 10^{-3}}{(20 + 44) \cdot 10^{-3}} = 1,1 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Приклад 10. У колбі місткістю $V = 240 \text{ см}^3$ перебуває газ при температурі $T = 290 \text{ К}$ и тиску $P = 50 \text{ кПа}$. Визначити кількість речовини ν газу й число його молекул.

Розв'язання:

Дано:	1) Опишемо стан газу рівнянням Менделєєва – Клапейрона: $PV = \nu RT$ (1),
$V = 240 \text{ см}^3 = 240 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$	де $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$ - універсальна газова стала; ν - кількість речовини (моль).
$T = 290 \text{ К}$	
$P = 50 \cdot 10^3 \text{ Па}$	
N - ?	

2) Визначимо з рівняння (1) кількість речовини ν

$$\nu = \frac{PV}{RT} = \frac{50 \cdot 10^3 \cdot 240 \cdot 10^{-6}}{8,32 \cdot 290} \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ моль}.$$

3) Визначимо число молекул N у даному газі. Для цього використовуємо те, що в одному молі кожного міститься число молекул (або атомів, якщо атоми не об'єднані в молекули), рівне числу Авогадро $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ молекул, отже

$$N = \nu \cdot N_A = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 30 \cdot 10^{20} \text{ молекул}.$$

Приклад 11. Кінетична енергія поступального руху молекул азоту, що перебуває в балоні об'ємом $0,02 \text{ м}^3$, дорівнює $5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$, а середньоквадратична швидкість

його молекул - $2 \cdot 10^3$ м/с. Знайти: 1) кількість азоту в балоні; 2) тиск, під яким перебуває азот.

Розв'язання:

Дано:	1) Стан газу в балоні опишемо рівнянням Менделєєва – Клапейрона:
$N_2; \Rightarrow M = 28 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	$PV = \nu \cdot R \cdot T$ (1)
$V = 0,02 \text{ м}^3$	2) Середня квадратична швидкість молекули
$E_{\text{кин.}} = 5 \cdot 10^3, \text{ Дж}$	$\vec{v}_{\text{кв.}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$ (2)
$\vec{v}_{\text{кв.}} = 2 \cdot 10^3 \text{ м/с}$	Звідси температура газу:
/ - ?	$T = \frac{M(\vec{v}_{\text{кв.}})^2}{3R} \Rightarrow$ (3)
P (Па) - ?	

3) Кінетична енергія поступального руху молекул азоту запишеться так:

$$E_{\text{кин.}} = N \cdot \frac{3}{2} \kappa T \quad (4),$$

де N - число молекул азоту в балоні; $\frac{3}{2} \kappa T = \vec{W}_n$ - середня кінетична енергія поступального руху однієї молекули.

З (4) знаходимо N :

$$N = \frac{2}{3} \frac{E_{\text{кин.}}}{\kappa T} = \frac{2}{3} \frac{E_{\text{кин.}} \cdot 3R}{3M \cdot (\vec{v}_{\text{кв.}})^2} = \text{оскільки, } \left| \frac{R}{\kappa} = N_A \right|, \text{ тоді } mg = \frac{2E_{\text{кин.}} \cdot N_A}{M \cdot (\vec{v}_{\text{кв.}})^2}, \text{ тоді концентрація молекул у балоні}$$

$$n_o = \frac{N}{V} = \frac{2E_{\text{кин.}} \cdot N_A}{M \cdot V \cdot (\vec{v}_{\text{кв.}})^2}.$$

Отже, використовуючи основне рівняння МКТ, визначимо тиск P (Па), створюваний газом у балоні за формулою:

$$P = \frac{2}{3} n_o \cdot \vec{W}_n = \frac{2}{3} \frac{2E_{\text{кин.}} \cdot N_A}{M \cdot V \cdot (\vec{v}_{\text{кв.}})^2} \cdot \frac{3}{2} \kappa T = \frac{2}{3} \cdot \frac{2E_{\text{кин.}} \cdot N_A}{M \cdot V \cdot (\vec{v}_{\text{кв.}})^2} \cdot \frac{3}{2} \kappa \cdot \frac{M(\vec{v}_{\text{кв.}})^2}{3R} =$$

$$= \frac{2}{3} \frac{E_{\text{кин.}}}{V} = \frac{2}{3} \cdot \frac{5 \cdot 10^3}{0,02} \approx 166,7 \cdot 10^3 \text{ Па} = 1,7 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

З урахуванням отриманого значення $P = 166,7 \cdot 10^3$ Па на основі формули (1) і (3), обчислимо кількість молів азоту ν :

$$\nu = \frac{PV}{RT} = \frac{\frac{2}{3} \frac{E_{кин.}}{V} \cdot V}{\frac{M(\bar{v}_{кв.})^2}{3R}} = \frac{2E_{кин.}}{M(\bar{v}_{кв.})^2} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^3}{28 \cdot 10^{-3} (2 \cdot 10^3)^2} \approx 0,089 \quad (\text{моль})$$

Відповідно, маса азоту:

$$m = M \cdot \nu = \frac{2E_{кин.}}{(\bar{v}_{кв.})^2} = \frac{2 \cdot 5 \cdot 10^3}{(2 \cdot 10^3)^2} = 2,5 \cdot 10^{-3} \quad \text{кг} = 2,5 \text{ г}$$

Приклад 12. Закрита посудина розділена на дві рівні частини твердою напівпроникною перегородкою. В першу половину посудини введена суміш аргону та водню при тиску $p = 1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$, в другій половині посудини – вакуум. Через перегородку може дифундувати лише водень. Після закінчення процесу дифузії тиск в першій половині складає $p = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Визначити відношення мас аргону та водню в посудині. Атомна маса аргону $\mu_a = 40 \text{ г/моль}$, молярна маса водню $\mu_b = 2 \text{ г/моль}$. Вважати, що температура під час процесу підтримувалась незмінною.

Розв'язання.

Процес дифузії відбувається дуже повільно. Тому зразу після введення суміші в першу половину посудини водень не встигає продифундувати скрізь перегородку, тому початковий тиск p в посудині створює суміш газів

$$p = p_a + p_b \quad (1),$$

де p_a – парціальний тиск аргону, p_b – парціальний тиск водню. Ці тиски можна знайти

з рівняння стану ідеального газу
$$p_a = \frac{m_a}{\mu_a} \frac{RT}{V}, \quad p_b = \frac{m_b}{\mu_b} \frac{RT}{V},$$

де V – об'єм половини посудини, m_a та m_b відповідно маси аргону та водню. T – температура посудини. Підставивши тиски p_a , p_b з виразу (2) в вираз (1) отримаємо нове

рівняння:

$$p = \left(\frac{m_a}{\mu_a} + \frac{m_b}{\mu_b} \right) \frac{RT}{V} = \left(\frac{m_a}{\mu_a} + \frac{m_b}{\mu_b} \right) \frac{m_b}{\mu_b} \frac{RT}{V}.$$

Після закінчення процесу дифузії водень займе весь об'єм посудини, оскільки перегородка для нього проникна. Підкреслимо, що водень буде знаходитись в обох половинах посудини, причому густина його в усіх точках посудини буде однакою. Дійсно, уявимо, що густина водню в першій половині n_1 менша, ніж густина n_2 в другій половині. ($n_1 < n_2$). Оскільки температура в обох половинах підтримується пос-

4. Укажіть, яка з формул правильно відображає взаємозв'язок між тиском ідеального газу та його температурою:

А - $p = nkT$; Б - $p = NkT$; В - $p = \frac{3}{2}kT$; Г - $p = \frac{n}{kT}$; Д - правильної відповіді немає.

5. Ідеальний газ деякої сталої маси здійснює процес, в якому $\frac{V}{T} = \text{const}$. Який це процес?

А - ізотермічний; Б - ізобарний; В - ізохорний;
Г - деякий більш складний процес, ніж перераховані в пунктах А,Б,В;
Д - правильної відповіді немає.

6. За яких умов здійснюється газовий процес, якщо $\frac{p}{V} = \text{const}$?

А - об'єм газу не змінюється; Б - маса газу не змінюється;
В - об'єм і маса газу не змінюється; Г - тиск газу не змінюється;
Д - правильної немає.

7. Рівняння газового процесу, що здійснюється при постійному об'ємі та незмінній масі газу, має вигляд:

А - $pV = \text{const}$; Б - $\frac{p}{V} = \text{const}$; В - $\frac{p}{T} = \text{const}$; Г - $\frac{V}{T} = \text{const}$;
Д - правильної відповіді немає.

8. Ідеальний газ деякої постійної маси здійснює процес, в якому $pV = \text{const}$. Який це процес?

А - ізотермічний; Б - ізобарний; В - ізохорний;
Г - деякий більш складний процес, ніж перераховані в пунктах А,Б,В;
Д - правильної відповіді немає.

9. Укажіть, яке із співвідношень є рівнянням стану ідеального газу:

А - $\nu \frac{pV}{T} = R$; Б - $\frac{pV}{T} = \nu R$; В - $\frac{pV}{T} = \frac{1}{2}R$; Г - $\frac{pV}{T} = \nu k$;
Д - правильної відповіді немає.

10. Співвідношення, яке пов'язує сталу Больцмана k , універсальну газову сталу R і число Авогадро N_A , має вигляд:

$$A - k = \frac{R}{N_A}; \quad B - R = \frac{k}{N_A}; \quad B - k = RN_A; \quad \Gamma - R = \frac{N_A}{k};$$

Д - правильної відповіді немає.

11. Молекулярна фізика базується на:

А - законах Ньютона;

Б - на електронній теорії;

В - молекулярно-кінетичній теорії;

Г - правильної відповіді немає.

12. Реальний газ можна вважати ідеальним, якщо малі його:

А - об'єм; Б - температура; В - тиск; Г - правильної відповіді немає.

13. Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу встановлює зв'язок між:

А - тиском і масою;

Б - тиском і температурою;

В - тиском і середньою кінетичною енергією молекул;

Г - правильної відповіді немає.

14. Ізопроцесом називається процес, який відбувається при:

А - однаковому тиску;

Б - однаковому об'ємі;

В - однаковій кількості речовини;

Г - однаковій температурі.

15. Закон Бойля -Маріотта описує поведінку газу при:

А - постійній масі;

Б - постійній температурі;

В - постійному тиску

Г - правильної відповіді немає.

16. Закон Гей-Люссака описує поведінку газу при:

А - постійній масі;

Б - постійній температурі ;

В - постійному тиску

Г - постійній кількості речовини.

17. Закон Шарля описує поведінку газу при:

А - постійній масі;

Б - постійній температурі;

В - постійному тиску;

Г - правильної відповіді немає.

18. На діаграмі в координатах P, V ізотерма являє собою:

А - пряму, що проходить через початок координат;

Б - пряму, що не проходить через початок координат;

В - гіперболу;

Г - правильної відповіді немає.

19. На діаграмі в координатах P, V ізохора являє собою:

А - пряму, що проходить через початок координат; Б- пряму, що не проходить через початок координат; В – гіперболу; Г- правильної відповіді немає.

20. На діаграмі в координатах P, V ізобара являє собою:

А - пряму, що проходить через початок координат; Б- пряму, що не проходить через початок координат; В – гіперболу; Г- правильної відповіді немає.

21. Рівнянню Менделєєва-Клапейрона підкоряються:

А – гази; Б- рідини; В- тверді тіла; Г - ідеальний газ.

22. Молі будь-яких газів при однакових температурах і тиску займають однакові об'єми. Це твердження називають законом:

А – Паскаля; Б - Дальтона; В – Авогадро; Г - Архімеда.

23. Закон про розподіл молекул ідеального газу за швидкостями вивів:

А – Паскаль; Б - Дальтон; В – Авогадро; Г- Максвелл.

24. Явище дифузії для хімічно однорідного газу підкоряється закону:

А – Паскаля; Б - Дальтона; В - Фур'є; Г – Фіка.

25. Відношення добутку тиску ідеального газу на його об'єм до термодинамічної температури є величина постійна. Цю залежність називають рівнянням:

А – Майєра; Б - Бойля –Маріотта;
В - Гей-Люссака; Г - Менделєєва – Клапейрона.

26. Відношення добутку тиску одного моля ідеального газу на його об'єм до термодинамічної температури є величина постійна, звана сталою:

А - молярною газовою; Б - Больцмана;
В – Авогадро; Г - Менделєєва – Клапейрона.

27. З погляду молекулярно-кінетичної теорії. термодинамічна температура повинна вимірюватися в:

А - Дж; Б – Вт; В – Па; Г - Тл.

28. Прилад для вимірювання тисків більших або менших атмосферного називається:

А - aneroidом; Б - манометром;

В - барометром;

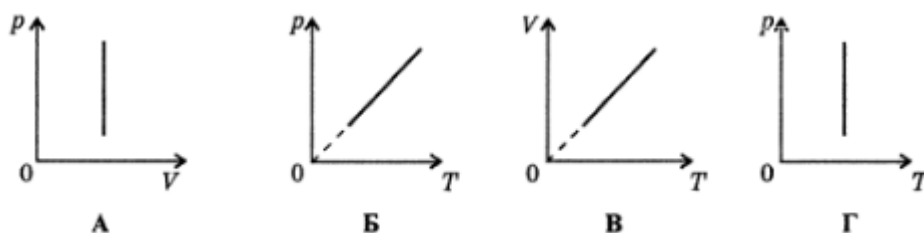
Г - калориметром.

29. Рівняння стану ідеального газу встановлює зв'язок між:

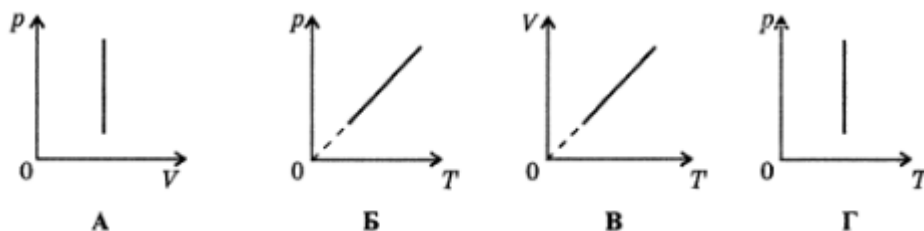
А - середньою квадратичною швидкістю руху молекул і температурою газу;

Б - температурою, об'ємом і тиском газу; В - середньою кінетичною енергією молекул і температурою газу; Г - об'ємом і кількістю молекул газу.

30. Який з приведених на малюнках графіків описує ізобарний процес в ідеальному газі?



31. Який з графіків (див. малюнки) описує ізотермічний процес в ідеальному газі?



32. Абсолютна температура вимірюється в:

А - Паскалях; Б - Кельвінах; В - Ватах; Г - градусах Цельсія.

33. При випаровуванні рідини без підведення тепла спостерігається:

А - нагрівання рідини; Б - охолодження рідини;

В - збільшення її об'єму; Г - збереження постійної температури рідини.

34. Знайдіть середню кінетичну енергію поступального руху молекул газу при температурі 300 К.

А - від $4 \cdot 10^{-23}$ Дж до $8 \cdot 10^{-23}$ Дж; Б - від $4 \cdot 10^{21}$ Дж до $8 \cdot 10^{21}$ Дж;

В - від $2 \cdot 10^{-20}$ Дж до $5 \cdot 10^{-20}$ Дж; Г - від $4 \cdot 10^{-19}$ Дж до $8 \cdot 10^{-19}$ Дж.

35. Який вигляд має рівняння стану ідеального газу?

А - $\frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = \frac{3}{2} kT$; Б - $pV = \frac{m}{M} RT$; В - $p = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2}$; Г - $p = nkT$.

36. Яке рівняння виконується при ізохорному процесі з ідеальним газом?

$$A - pV = const ; \quad B - \frac{p}{T} = const ; \quad B - \frac{V}{T} = const ; \quad \Gamma - \frac{p}{V} = const .$$

37. Чому дорівнює за нормальних умов об'єм V повітря масою 0,029 кг?

А - від 0,23 м³ до 0,53 м³;

Б - від 21 л до 25 л;

В - від 21 см³ до 25 см³;

Г - від 2,1 см³ до 2,5 см³.

38. Кисень займає об'єм $V = 0,2$ м³ при температурі 300 К і тиску $3 \cdot 10^4$ Па. Яка його маса m ?

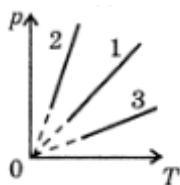
А - від 4 г до 15 г;

Б - від 15 г до 35 г;

В - від 35 г до 50 г;

Г - від 50 г до 80 г.

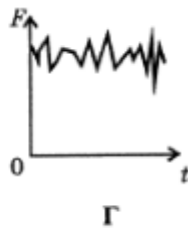
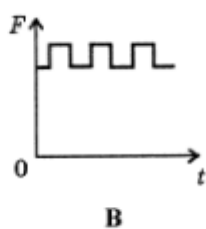
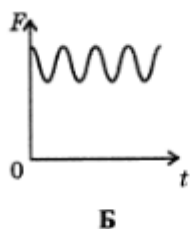
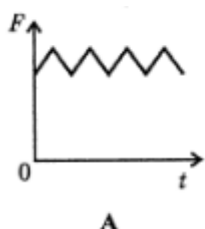
39. На малюнку приведені графіки ізохорних процесів, які відбуваються з 1 моль ідеального газу. Порівняйте об'єми газу при цих процесах.



А - $V_1 = V_2 = V_3$; Б - $V_1 > V_2$, $V_1 > V_3$;

В - $V_1 > V_2 > V_3$; Г - $V_3 > V_1$, $V_3 > V_2$.

40. На якому з малюнків показана залежність від часу сили тиску повітря на маленьку ділянку стінки посудини?



41. При ізохорному нагріванні на 6 К тиск газу зріс на 2% від початкового. Якою була початкова температура газу?

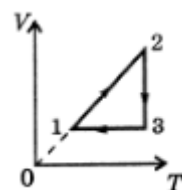
А -20 °С;

Б - 25 °С;

В - 27 °С;

Г - 227 °С.

42. На малюнку приведений графік зміни стану ідеального газу в координатах V , T . Який з графіків в координатах p , V відповідає цьому процесу?



48. В посудину місткістю $V = 10$ л нагнітають повітря за допомогою поршневого насоса, об'єм якого $0,1$ л. Початковий тиск повітря в посудині дорівнював зовнішньому тиску $p = 100$ кПа. Скільки ходів повинен зробити поршень насоса, щоб тиск повітря в посудині подвоївся? Температуру вважайте незмінною.
- А – 60; Б - 70; В - 80; Г - 100.
49. У скляній трубці довжиною $l = 1$ м, запаяній з обох сторін, міститься стовпчик ртуті довжиною 20 см. При горизонтальному положенні трубки стовпчик ртуті знаходиться посередині. Якщо трубку поставити вертикально, то стовпчик ртуті зміститься вниз на 10 см. а) Який процес описується в задачі?
- А – адіабатичний; Б – ізобаричний; В – ізотермічний; Г - ізохоричний;
- Д - правильної відповіді тут немає.
- б) Виразити в Паскалях тиск, який відповідає тиску 20 см ртутного стовпчика.
- в) Визначити тиск газу в трубці, коли вона лежить горизонтально.
50. У скляній трубці довжиною $l = 1$ м, запаяній з обох сторін, міститься стовпчик ртуті довжиною 20 см. При горизонтальному положенні трубки стовпчик ртуті знаходиться посередині. Якщо трубку поставити вертикально, то стовпчик ртуті зміститься вниз на 10 см. а) Чи зміниться становище стовпчика ртуті, якщо нагріти на $\Delta t = 10^\circ \text{C}$ тільки нижню частину трубки, в якій є повітря?
- А - не зміниться; Б - опуститься вниз; В - підніметься вгору; Г - підніметься до верхнього краю трубки; Д – правильної відповіді тут немає.
- б) Висловити в Паскалях тиск p , який відповідає 760 мм ртутного стовпа. в) У скільки разів зміниться тиск в нижній частині трубки, якщо її нагріти на $\Delta t = 10^\circ \text{C}$?
51. У скляній трубці довжиною $l = 1$ м, запаяній з обох сторін, міститься стовпчик ртуті довжиною 20 см. При горизонтальному положенні трубки стовпчик ртуті знаходиться посередині. Якщо трубку поставити вертикально, то стовпчик ртуті

зміститься вниз на 10 см. а) Чи зміниться становище стовпчика ртуті, якщо нижню частину трубки опустити в лід, що тане?

А - не зміниться; Б - підніметься вгору; В - опуститься вниз;

Г - опуститься вниз до дна трубки; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Якої висоти повинен бути стовпчик води, щоб його тиск дорівнював тиску стовпчика ртуті висотою 20 см? в) У скільки разів зміниться тиск в нижній частині трубки, якщо її опустити в лід, який тане. А зараз температура в кімнаті $t = 20^\circ \text{C}$?

52. У скляній трубці довжиною $l = 1 \text{ м}$, запаяній з обох сторін, міститься стовпчик ртуті довжиною 20 см. При горизонтальному положенні трубки стовпчик ртуті знаходиться посередині. Якщо трубку поставити вертикально, то стовпчик ртуті зміститься вниз на 10 см. а) Чи зміниться становище стовпчика ртуті в трубці, якщо її всю опустити в лід, який тане?

А – понизиться; Б – підвищиться; В - опуститься до дна трубки; Г - не зміниться; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Виразити в Паскалях тиск, який відповідає тиску 1 мм ртутного стовпа.

в) У скільки разів зміниться тиск у горизонтально розташованій трубці, коли її опустять в лід, який тане? Температура повітря в кімнаті $T = 300 \text{ К}$?

53. По центру горизонтально розташованої скляної трубки, запаяній з обох сторін, розташований стовпчик ртуті довжиною $l = 150 \text{ мм}$. Тиск газу в трубці $p = 8,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Довжина трубки $L = 1,15 \text{ м}$. а) Як зміниться положення стовпчика ртуті в трубці, якщо її розташувати вертикально?

А - залишиться на місці; Б - підніметься на певну висоту; В - опуститься на певну висоту; Г - опуститься до дна трубки; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Чи зміниться становище стовпчика ртуті в трубці, якщо у вертикальному положенні її випустити з рук? Відповідь пояснити. в) На яку відстань зміститься стовпчик ртуті в трубці, якщо її поставити вертикально?

54. По центру горизонтально розташованої скляної трубки, запаяній з обох сторін, розташований стовпчик ртуті довжиною $l = 150$ мм. Тиск газу в трубці $p = 8,8 \cdot 10^5$ Па. Довжина трубки $L = 1,15$ м. а) Як зміниться положення стовпчика ртуті в трубці, якщо її поставити під кутом $\alpha = 45^\circ$ до горизонту?

А - підніметься вгору; Б - опуститься вниз; В - опуститься вниз до кінця трубки; Г - залишиться на місці; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Накресліть схематично графік зміни тиску в нижній частині трубки за час її переведення з горизонтального у вертикальне положення. в) На яку відстань зміститься стовпчик ртуті в трубці, якщо її поставити під кутом $\alpha = 45^\circ$ до горизонту?

55. По центру горизонтально розташованої скляної трубки, запаяній з обох сторін, розташований стовпчик ртуті довжиною $l = 150$ мм. Тиск газу в трубці $p = 8,8 \cdot 10^5$ Па. Довжина трубки $L = 1,15$ м. а) Як зміниться положення стовпчика ртуті в горизонтальній трубці, якщо її ліву половину опустити в тане лід? Температура в кімнаті $t = 20^\circ\text{C}$.

А - зміститься вліво; Б - зміститься вліво і заповнить ліву частину трубки до кінця; В - зміститься вправо; Г - не зміниться; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Накресліть графік зміни тиску газу в лівій частині трубки при її охолодженні від $t = 20^\circ\text{C}$ до температури плавлення льоду. в) Як необхідно розташувати трубку, щоб при охолодженні її лівій частині від $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 0^\circ\text{C}$ положення стовпчика ртуті не змінилося?

56. По центру горизонтально розташованої скляної трубки, запаяній з обох сторін, розташований стовпчик ртуті довжиною $l = 150$ мм. Тиск газу в трубці $p = 8,8$

10^5 Па. Довжина трубки $L = 1,15$ м. а) Як зміниться положення стовпчика ртуті в горизонтально розташованій трубці, якщо її ліву частину нагріти?

А - не зміниться; Б - зміститься вліво; В - зміститься вправо; Г - зміститься вправо і дійде до краю трубки; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Накресліть графік зміни тиску газу в правій половині трубки під час нагрівання її лівої частини від $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $T_2 = 300$ К. в) Як необхідно розташувати трубку, щоб положення стовпчика ртуті не змінилося, якщо ліву частину трубки нагріти від $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 40^\circ\text{C}$?

57. По центру горизонтально розташованої скляної трубки, запаяній з обох сторін, розташований стовпчик ртуті довжиною $l = 150$ мм. Тиск газу в трубці $p = 8,8 \cdot 10^5$ Па. Довжина трубки $L = 1,15$ м. а) Як зміниться положення стовпчика ртуті в горизонтальній трубці, якщо її помістити в лід, що тане?

А - зміститься вправо; Б - зміститься вліво; В - не зміниться;

Г - правильної відповіді тут немає.

б) Який тиск газу в трубці, коли її помістили в лід, що тане? Кімнатна температура $T = 293$ К. в) Накресліть графік зміни тиску в трубці, коли її охолоджували від кімнатної температури до температури плавлення льоду

58. а) Яке повітря важче: сухе чи вологе (при однакових температурах і тиску)?

А – однакові; Б – сухе; В – вологе; Г - правильної відповіді тут немає.

б) Обчислити масу m_0 молекули води. в) Опишіть явища, які відбуваються, коли ви зігріваєте руки теплим повітрям з рота.

59. а) Що займає більший об'єм: один моль водню чи один моль кисню?

А - моль водню; Б - моль кисню; В - однакові об'єми;

Г - правильної відповіді тут немає.

б) Чи можна сказати, що, спостерігаючи броунівський рух, ми бачимо рух молекул? Пояснити. в) У посудині об'ємом $V = 60$ л міститься ідеальний газ з температурою $t = 27^\circ \text{C}$ і тиском $p = 10^5$ Па. Скільки в цьому газі молекул?

60. а) Яка з молекул має більшу кінетичну енергію при однаковій температурі: молекула водню чи молекула кисню?

А - молекула кисню; Б - молекула водню; В – однакову;

Г - правильної відповіді тут немає.

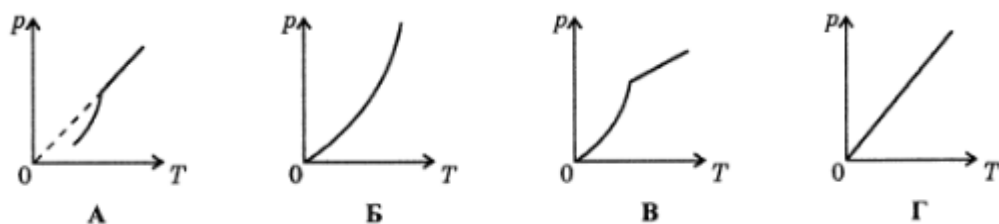
б) Поширення запаху в повітрі пов'язане з рухом молекули пахучої речовини. Як пов'язати велику швидкість руху окремої молекули з повільним поширенням запаху? в) За допомогою вакуумного насоса тиск знижують до $p = 10^{-10}$ Па. Скільки молекул міститься в $V = 1$ мм³ газу при такому тиску і температурі $T = 300$ К?

61. а) Чи однакову швидкість руху мають молекули водню і кисню при однаковій температурі газу?

А – однакову; Б - швидкість молекул водню більше; В - швидкість молекул кисню більше; Г - правильної відповіді тут немає.

б) Чому солоний оселедець, якщо його покласти на деякий час у воду, стає менш солоним? в) Після того, як в кімнаті протопили пічку, температура підвищилася від $t_1 = 15^\circ \text{C}$, до $t_2 = 27^\circ \text{C}$. На скільки відсотків зменшилася кількість молекул повітря в цій кімнаті?

62. В герметичній посудині знаходиться невелика кількість води і насичена водяна пара. Посудину нагрівають. Який графік відповідає залежності тиску в судині від температури?



63. Як змінюється концентрація молекул насиченої пари із збільшенням об'єму при постійній температурі?

А - не змінюється.

Б - зменшується.

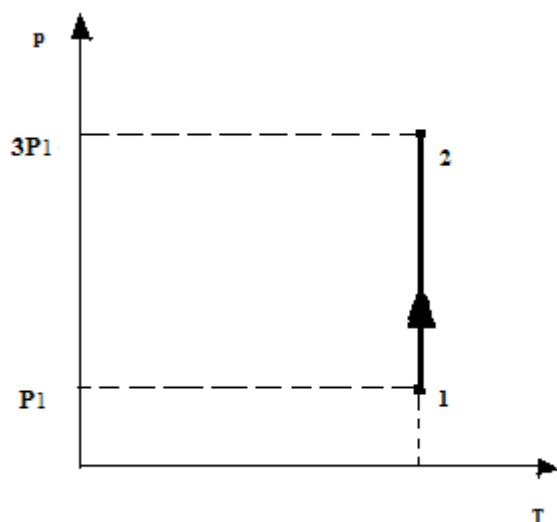
В - збільшується.

Г - спочатку не змінюється, а потім зростає.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ.

СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ

1. В ізотермічному процесі тиск деякої маси газу змінився у два рази. Чи змінилася температура газу? Запишіть рівняння цього процесу. Як змінився об'єм газу?



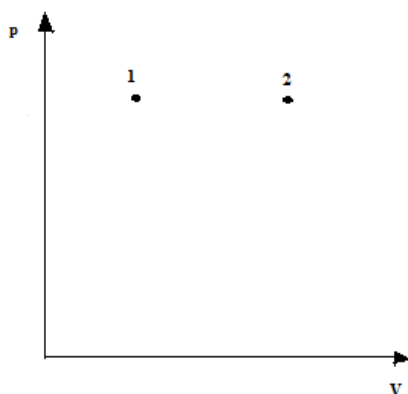
2. Подайте графіки ізотермічного газового процесу, що здійснюється з газом сталої маси, у координатах (P,V) , (V,T) , (P,T) .

3. У закритій посудині газ нагріли. Його температура зросла в 1.2 рази. У скільки разів змінився тиск?

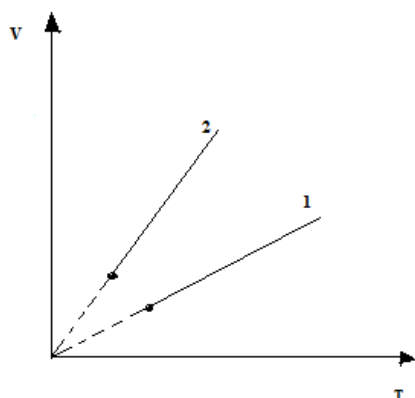
4. На рисунку зображено графік газового процесу в координатах P, T . Як називається цей процес? Подайте графік цього процесу в координатах P,V .

У закритій посудині знаходиться газ. У скільки раз потрібно змінити температуру, щоб тиск газу збільшився вдвічі?

5. У ході ізобарного процесу об'єм деякої маси газу зменшився у два рази. Чи змінився тиск газу? Як і у скільки разів змінилася температура газу?
6. Газ при тиску $P_1 = 0,2 \cdot 10^6$ Па й температурі $T_1 = 288$ К займає об'єм $V = 5 \cdot 10^{-5}$ м³. Яким буде об'єм газу за нормальних умов? ($t = 0$ °С, $P = 101,3$ кПа).
7. Подайте графіки ізохорного газового процесу, що здійснюється при незмінній масі газу, у координатах $(P,V), (V,T), (P,T)$.
8. Подайте графіки ізобарного газового процесу, що здійснюється при незмінній масі газу, у координатах $(P,V), (V,T), (P,T)$.
9. Яка кількість речовини міститься у газі при тиску $P = 200$ кПа і температурі $T = 240$ К, якщо його об'єм дорівнює $V = 0,04$ м³?



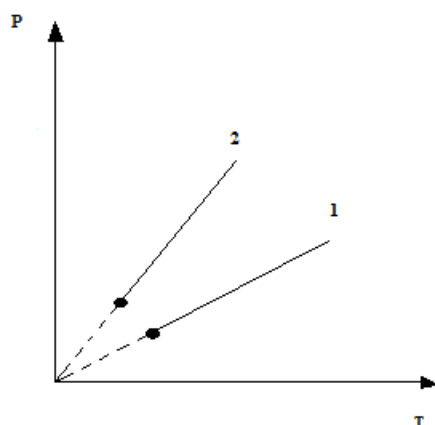
10. Чи можна газ деякої маси із стану 1 перевести в стан 2 (див. рис.) за допомогою ізотермічного процесу? Обґрунтуйте свою відповідь.



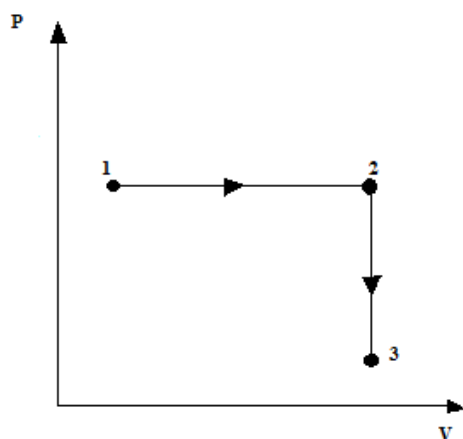
11. Тиск повітря в автомобільній камері при температурі $t_1 = 13$ °С був $p = 160$ кПа (надлишковий над атмосферним). Яким стане тиск, якщо повітря в камері нагрілось до $t_2 = 37$ °С?

12. На рисунку зображено графіки двох процесів одного й того ж газу. Як називаються ці процеси? Який із процесів здійснюється при

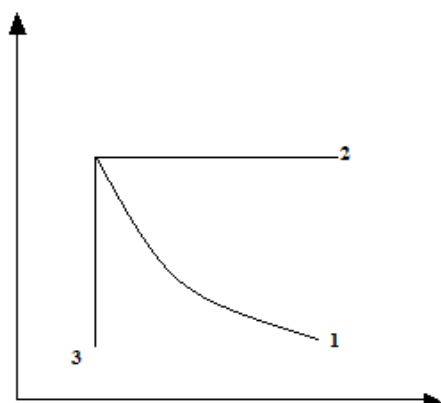
більш високому тиску?



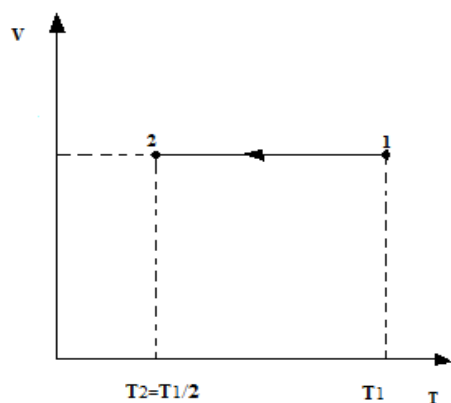
13. Графік процесу, що чиниться газом деякої постійної маси, зображено на рисунку. Як називається цей процес? Як змінився тиск газу в ході процесу?



14. На рисунку зображені графіки двох процесів, що відбуваються з однією й тією ж масою газу. Як називаються ці процеси? Який із процесів відбувається при більшому об'ємі газу? Відповідь обґрунтуйте.

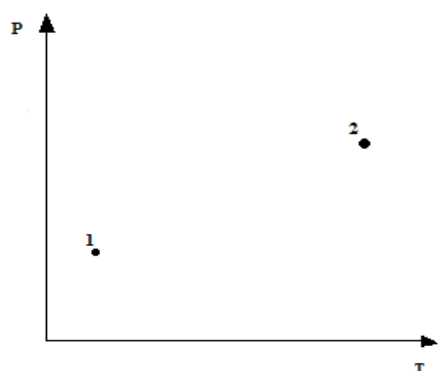


15. На якій з ділянок процесу, зазначеного на рисунку, газ нагрівається, а на якій — остигає?



16. На рисунку зображені графіки газових процесів: 1 — ізотермічного; 2 — ізобаричного; 3 — ізохоричного. У яких координатних осях зображені ці графіки?

Зобразіть у координатах p, T перехід газу зі стану 1 у стан 2 (див. рис.) за допомогою двох послідовних процесів: ізобарного та ізохорного.



17. Зобразіть в координатах p, T перехід газу зі стану 1 у стан 2 (див. рис.) за допомогою двох послідовних процесів: ізотермічного й ізохорного.

18. Маса молекули водню дорівнює $m = 3,3 \cdot 10^{-27}$ кг. Вважаючи водень ідеальним газом, визначити його тиск на стінки посудини, якщо концентрація молекул становить $n = 10^{25} \text{ м}^{-3}$ й середня квадратична швидкість теплового руху молекул дорівнює 700 м/с.
19. Середня кінетична енергія молекул повітря в радіолампі дорівнює $E = 5 \cdot 10^{-21}$ Дж, а тиск у середині лампи дорівнює $p = 10^5$ Па. Чому дорівнює концентрація n молекул повітря у колбі радіолампи?
20. Знайдіть концентрацію молекул n кисню, якщо його тиск дорівнює $P = 0,2$ МПа, а середня квадратична швидкість молекул — 700 м/с.
21. Визначити середню кінетичну енергію E поступального руху молекул аргону Ar при температурі $T = 1200$ К. Стала Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К}$.
22. Середня кінетична енергія поступального руху молекул азоту N_2 дорівнює $E = 4,8 \cdot 10^{-20}$ Дж. Знайдіть середню квадратичну швидкість молекул азоту.
23. Середня кінетична енергія поступального руху молекул ідеального газу дорівнює $E = 5,2 \cdot 10^{-20} \text{ Дж}$. Визначити температуру T газу. Стала Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К}$.
24. Визначити температуру T ідеального газу, якщо концентрація молекул $n = 10^{26} \text{ м}^{-3}$, а тиск $P_0 = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Стала Больцмана $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж} / \text{К}$.
25. Концентрація молекул ідеального газу зросла у два рази. Як змінився тиск газу, якщо температура залишилася сталою?
26. Визначити середню кінетичну енергію E теплового руху молекул одноатомного газу, якщо тиск $p = 20$ кПа. Концентрація молекул при зазначеному тиску дорівнює $n = 3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$.
27. Суміш газів складається з молекул азоту й кисню. Чи однакова середня енергія поступального руху молекул цих газів при даній температурі? А чи однакові середні квадратичні швидкості молекул?
28. У одній посудині знаходиться водень H_2 при температурі $t = 100$ °С, а у другій — кисень O_2 при тій самій температурі. Тиск газів однаковий. Порівняйте концентрації молекул водню та кисню.

29. Визначити середню квадратичну швидкість руху молекул повітря при температурі $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Молярна маса повітря $m = 0,029 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.
30. Суміш водню й азоту знаходиться в посудині. Порівняйте середньоквадратичні швидкості молекул водню й азоту.
31. Оцініть число молекул у склянці води об'ємом $V = 200\text{ см}^3$.
32. Температура ідеального газу збільшилася у два рази, а об'єм залишився незмінним. Як і у скільки разів змінився тиск?
33. Як і у скільки разів зміниться тиск ідеального газу, якщо його температуру зменшити у два рази, а об'єм у два рази збільшити?
34. У скільки разів збільшився тиск ідеального газу, якщо концентрація молекул зросла у два рази, а середня квадратична швидкість зросла в 1,1 рази?
35. В посудині об'ємом $V = 1\text{ л}$ міститься $\nu = 0,05$ молів газу. Чому дорівнює концентрація n молекул у посудині?
36. Зобразити на графіках у координатах P, V ; P, T і V, T ізобарний процес: 1) для $P = P_1$ і $P = 3P_1$ для одного моля газу; 2) для $P = P_1$ для трьох молів газу.
37. В озеро об'ємом $V = 0,3\text{ км}^3$ кинули кришталик йоду ($\mu = 127\text{ г/моль}$) масою $m = 254\text{ мг}$. Яка концентрація молекул йоду n утвориться в озері, якщо вони після розчинення рівномірно розподіляться по всьому об'єму води?
38. Визначити число молекул N гелію, що знаходиться в посудині об'ємом $V = 2\text{ м}^3$ при температурі $t = 29^{\circ}\text{C}$ і тиску $P = 0,5\text{ МПа}$.
39. Посудина містить газ під тиском $P = 150\text{ кПа}$ при температурі $t = 273^{\circ}\text{C}$. Яка кількість n молекул перебуває при цих умовах в одиниці об'єму посудини.
40. Яка температура газу, що знаходиться під тиском $P = 0,5\text{ МПа}$, якщо в посудині об'ємом $V = 15\text{ л}$ перебуває $N = 1,8 \cdot 10^{24}$ молекул?
41. Посудина об'ємом $V = 60\text{ м}^3$ містить ідеальний газ при температурі $t = 27^{\circ}\text{C}$ і тиску $P_1 = 10^5\text{ Па}$. Скільки у цьому газі молекул N ?
42. Чому дорівнює густина водню ρ , тиск якого $P = 10\text{ МПа}$ і температура $T = 200\text{ К}$?
43. Чому дорівнює тиск $m = 20\text{ г}$ азоту в посудині об'ємом $V = 20\text{ л}$ при температурі $T = 300\text{ К}$?

44. У скільки разів зросте тиск газу при збільшенні концентрації молекул на 20% за умови незмінної температури?
45. На скільки процентів зросте тиск газу при збільшенні концентрації його молекул у β разів?
46. Чому дорівнює відношення початкового та кінцевого тисків при збільшенні об'єму ідеального газу на 40% в ізотермічному процесі?
47. У скільки разів зросте тиск ідеального газу в ізохорному процесі при підвищенні температури на 20%?
48. У скільки разів зросте об'єм ідеального газу в ізобарному процесі при підвищенні температури на 50%?
49. При нагріванні газу на $\Delta T = 1$ К при сталому тиску його об'єм збільшився вдвічі. В якому інтервалі температур відбувалося нагрівання?
50. Газ нагріли від температури $t_1 = 27^\circ\text{C}$ до $t_2 = 39^\circ\text{C}$. На скільки відсотків збільшився об'єм, якщо тиск залишився незмінним?
51. При густині $\rho = 1,2$ кг/м³ середня квадратична швидкість молекул газу становить $v_{\text{сер кв}} = 500$ м/с. Чому дорівнює тиск газу P ?
52. У скільки разів зміниться середня квадратична швидкість молекул газу в закритому балоні при збільшенні тиску в 4 рази?
53. В посудині об'ємом $V = 2$ л знаходиться газ під тиском $P = 10^6$ Па. Чому дорівнює внутрішня енергія газу U ?
54. В першій посудині об'ємом $V_1 = 10$ л знаходиться деяка маса водню (H_2), а в другій посудині об'ємом $V_2 = 20$ л – така сама маса кисню (O_2). Чому дорівнює відношення n_1/n_2 концентрацій молекул у посудинах?
55. Обчислити число p_0 молекул, що містяться в об'ємі $V = 1$ см³ газу за нормальних умов.
56. Визначити масу m і кількість молекул азоту n , які містяться в об'ємі $V = 1$ м³ при тиску $P = 9,6 \cdot 10^4$ Па і температурі $t = 100^\circ\text{C}$. Густина газу за нормальних умов $\rho_0 = 1,25$ кг/м³, молекулярна маса $\mu = 28$ кг/кмоль.

57. Питомий об'єм газу за нормальних умов дорівнює $V_n = 0,7 \text{ м}^3/\text{кг}$. Який це газ і чому дорівнює маса 1 моля цього газу?
58. У балоні знаходиться газ азот під тиском $P = 4,9 \cdot 10^6 \text{ Па}$ при температурі $t = 17^\circ\text{C}$. Знайти густину газу ρ й концентрацію молекул n .
59. При тиску $P = 1 \text{ МПа}$ густина кисню дорівнює $\rho = 2,2 \text{ кг/м}^3$. Визначити температуру газу.
60. Вакуумний насос дозволяє знизити тиск до величини $P = 1,3 \cdot 10^{-10} \text{ Па}$. Скільки молекул газу N міститься в $V = 1 \text{ см}^3$ при зазначеному тиску й температурі $t = 48^\circ\text{C}$?
61. Число молекул, що містяться в одиниці об'єму невідомого газу при нормальних умовах, дорівнює $n_0 = 2,7 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$. Цей же газ при температурі $t = 91^\circ\text{C}$ и тиску $P = 800 \text{ кПа}$ має густину $\rho = 5,4 \text{ кг/м}^3$. Знайти масу m_0 однієї молекули цього газу.
62. В ампулі об'ємом $V = 1 \text{ см}^3$ знаходиться повітря при нормальних умовах. Ампулу помістили у вакуум, де тиск можна вважати рівним нулю, і зробили в ампулі малий отвір. Через який час t тиск в ампулі стане рівним нулю, якщо через отвір щосекунди вилітає сто мільйонів молекул?
63. Сфера радіусом r , що містить газ при температурі T , перебуває у вакуумі. Через отвір у стінці сфери частина газу витікає. Яким виявиться тиск P_2 газу в сфері, після того як вилетить N молекул газу, якщо початковий тиск у сфері був P_1 ? За нормальних умов в одиниці об'єму газу міститься n_0 молекул.
64. В посудині об'ємом $V_1 = 1 \text{ л}$ при температурі $t_1 = 187^\circ\text{C}$ перебуває $N = 1,62 \cdot 10^{22}$ молекул газу. Яким буде тиск P_2 газу, якщо об'єм посудини ізотермічно збільшити до $V = 5V_1$? Число молекул газу в одиниці об'єму за нормальних умов $n_0 = 2,7 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$.
65. Деяка кількість водню знаходиться при температурі $T_1 = 200 \text{ К}$ і тиску $P_1 = 400 \text{ Па}$. Газ нагрівають до температури $T_2 = 10000 \text{ К}$, при якій молекули водню

практично повністю розпадаються на атоми. Визначити тиск газу P_2 . Об'єм і маса газу не змінюються.

66. У скільки разів зменшиться тиск газу в балоні при зменшенні концентрації молекул на 20% за умови незмінної температури?
67. При переході зі стану 1 у стан 2 тиск газу змінився від $P_1 = 200$ кПа до $P_2 = 500$ кПа, а об'єм змінився від $V_1 = 25$ л до $V_2 = 5$ л. Чому дорівнює відношення температур газу T_1/T_2 у станах 1 і 2?
68. Тиск газу в кожній з посудин об'ємом $V_1, V_2 = 2V_1$ дорівнює P_0 . Яким стане тиск у системі після з'єднання посудин тонкою трубкою? Температура стала.
69. В одній з двох однакових посудин знаходиться газ із молярною масою μ_1 і тиском P_1 , а в другій – газ із молярною масою μ_2 і тиском P_2 . Посудини з'єднують тонкою трубкою. Який тиск P встановиться в системі? Температура незмінна.
70. Дві посудини об'ємом $V_1 = 10$ л і $V_2 = 5$ л з'єднані тонкою трубкою, що перекрита краном. Посудини заповнені газом при тисках $P_1 = 3 \cdot 10^5$ Па та $P_2 = 1,2$ МПа. Який тиск P установається в посудинах, якщо відкрити кран? Температура не змінюється.
71. Дві посудини з'єднані трубкою з краном. Об'єм першої посудини в 3 рази більший, ніж об'єм другої посудини. Тиск в першій посудині $P_1 = 1,3 \cdot 10^7$ Па, в другій – $P_2 = 0,65 \cdot 10^7$ Па. Який тиск P встановиться в посудинах, якщо відкрити кран?
72. Тиск газу в балоні дорівнює $P_1 = 150$ кПа. Яким стане тиск газу P_2 , якщо половину його випустити з балона й знизити температуру на 20%?
73. Кисень масою $m_1 = 32$ г створює в балоні тиск $P_1 = 100$ кПа. Яким стане тиск P_2 у балоні, якщо туди додати ще $m_2 = 2$ г гелію? Температура стала. Молярні маси: кисню - $\mu_1 = 32$ г/моль, гелію – $\mu_2 = 4$ г/моль.

74. При стисненні газу при сталій температурі його об'єм зменшився від $V_1 = 8$ л до $V_2 = 5$ л, а тиск зріс на $\Delta P = 60$ кПа. Знайти початковий тиск P_1 . Кількість газу незмінна.
75. При збільшенні тиску в 1,5 рази об'єм газу зменшився на $\Delta V = 300$ см³. Знайти початковий об'єм газу V_1 . Температура та кількість газу незмінні.
76. Балон, що містив $m = 1$ кг азоту, при випробуваннях вибухнув при температурі $t_1 = 360$ °С. Яку кількість водню можна зберігати в цьому балоні при температурі $t_2 = 20$ °С, маючи п'ятикратний запас міцності?
77. З посудини випустили $1/3$ маси газу, в результаті чого його тиск зменшився в 3 рази. Початкова температура газу в посудині була $t_1 = 300$ °С. Визначити температуру газу T_2 після того, як $1/3$ маси газу випустили.
78. При ізотермічному збільшенні тиску на $\Delta P = 1$ атм густина газу збільшилася на $\Delta \rho = 0,5$ кг/м³. Яка була початкова густина газу ρ_0 , якщо початковий тиск дорівнював $P_0 = 1$ атм?
79. Об'єм повітря у кімнаті $V = 100$ м³. Яка маса m повітря вийде з кімнати при підвищенні температури від $t_1 = 10$ °С до $t_2 = 25$ °С, якщо атмосферний тиск становить $P_0 = 1,05 \cdot 10^5$ Па?
80. У воді на глибині $h_1 = 1$ м знаходиться бульбашка повітря. На якій глибині h_2 ця бульбашка повітря матиме втричі менший об'єм? Тиск атмосферного повітря $P_0 = 1,05 \cdot 10^5$ Па, густина води $\rho = 10^3$ кг/м³.
81. Манометр на балоні зі стисненим газом при $t_1 = -1$ °С показував тиск $P_1 = 80$ атм. Який тиск покаже манометр при температурі $t_2 = 17$ °С після того, як половина газу буде витрачена?
82. На дні озера, глибина якого $h = 20$ м, температура води становить $t_1 = 7$ °С. Бульбашка повітря, яка на дні озера мала об'єм $V_1 = 2$ мм³, повільно піднімається. Який об'єм V_2 матиме бульбашка повітря біля поверхні води, якщо атмосфер-

ний тиск нормальний, а температура поверхні води $t_2 = 19^\circ\text{C}$? Тиском, що зумовлений поверхневим натягом, знехтувати.

83. У двох газових балонах автомобіля міститься паливо для двигуна під тиском $P_1 = 15 \text{ МПа}$. Об'єм кожного балона $V = 0,1 \text{ м}^3$. Яка маса Δm газу була витрачена за час поїздки, якщо тиск у балонах знизився до $P_2 = 8 \text{ МПа}$? Температура газу $t = 0^\circ\text{C}$. Густина палива за нормальних умов $\rho = 600 \text{ кг/м}^3$.
84. Насос має об'єм камери V_k . За скільки циклів роботи насоса можна відкачати об'єм V від тиску P_1 до тиску P_2 ? Температуру вважати сталою.
85. На стінку площею S налітає потік молекул із середньою швидкістю v . Число молекул, що рухаються в напрямку до стінки, в одиниці об'єму n , маса кожної молекули m_0 . Знайти діючі на стінку силу й тиск, якщо молекули рухаються перпендикулярно до стінки й удари молекул об стінку абсолютно пружні.
86. Посудина, що має форму кубика, містить $\nu = 10^{-3}$ молей ідеального газу. Знайти тиск газу, вважаючи, що до кожної із шести граней кубика перпендикулярно в будь-який момент часу рухається однакове число молекул. Маса молекули $m_0 = 3 \cdot 10^{-23} \text{ г}$, середня швидкість теплового руху молекул $v = 500 \text{ м/с}$. Зіткнення молекул зі стінками посудини абсолютно пружні.
87. В одній посудині міститься водень ($\mu_1 = 2 \text{ г/моль}$) при температурі $t_1 = -3^\circ\text{C}$, а в іншій міститься кисень ($\mu_2 = 32 \text{ г/моль}$) при температурі $t_2 = -225^\circ\text{C}$. Чому дорівнює відношення середніх квадратичних швидкостей $v_{\text{сер.кв}_1} / v_{\text{сер.кв}_2}$ газів?
88. В двох балонах знаходяться гази: перший при температурі $t_1 = 91^\circ\text{C}$, а другий при температурі $t_2 = -91^\circ\text{C}$. Чому дорівнює відношення мас молекул цих газів m_{0_1} / m_{0_2} , якщо їх середні квадратичні швидкості однакові?
89. Чому дорівнює відношення температур двох газів T_1 / T_2 , якщо відношення мас їх молекул $m_{0_1} / m_{0_2} = 2$, а відношення середніх квадратичних швидкостей $v_{\text{сер.кв}_1} / v_{\text{сер.кв}_2} = 1/2$?

90. В посудині міститься розріджений газ, тиск якого $P = 5 \cdot 10^4$ Па і густина $\rho = 4,1 \cdot 10^{-2}$ кг/м³. Визначити середню квадратичну швидкість хаотичного руху молекул газу $v_{\text{сер кв}}$.
91. В балоні об'ємом $V = 10$ л міститься $m = 3$ г газу при тиску. Визначити середню квадратичну швидкість молекул цього газу $v_{\text{сер кв}}$.
92. Середня квадратична швидкість молекул газу в балоні $v_{\text{сер кв}} = 1000$ м/с. Якою стане ця швидкість, якщо масу газу в балоні подвоїти при сталій температурі?
93. При тиску $P = 10^5$ Па середня квадратична швидкість молекул газу дорівнює $v_{\text{сер кв}} = 500$ м/с. Знайти густину газу ρ .
94. Після включення електричної лампи тиск газу в ній зріс від $P_1 = 8 \cdot 10^4$ Па до $P_2 = 1,1 \cdot 10^5$ Па. В скільки разів при цьому збільшилася середня квадратична швидкість молекул газу?
95. Людина хвора, якщо її температура змінюється на $\Delta t = 2$ К. На скільки при цьому змінюється середня кінетична енергія $E_{\text{ср.кв.}}$ молекул тіла людини?
96. В посудині об'ємом $V = 10$ л, занурений в таючий лід, міститься $\nu = 1$ моль ідеального газу. Тиск газу $p = 226$ кПа. Обчислити сталу Больцмана.
97. Який тиск P створює кисень, якщо середня квадратична швидкість його молекул $v_{\text{сер кв}} = 600$ м/с, а густина $2,5$ кг/м³ ?
98. Середня кінетична енергія молекули ідеального газу $E_{\text{ср.кв}} = 6,4 \cdot 10^{-21}$ м³ · Тиск газу $P = 4$ мПа. Знайти кількість молекул в одиниці об'єму n .
99. В сучасному прискорювачу отримують частинки з енергією $E = 1,1 \cdot 10^{-8}$ Дж. Яку температуру T повинен мати газ, щоб його молекули мали таку саму середню кінетичну енергію?
100. Пластинку покривають золотом в вакуумі напилюванням. Атоми золота, що падають на пластинку мають однакову енергію $E_{\text{ср.кв}} = 4 \cdot 10^{-20}$ Дж та створюють тиск $P = 0,15$ Па. За який час товщина покриття виросте на $\Delta h = 8$ мкм?
101. Визначте густину кисню при тиску $P = 0,2$ МПа, якщо середня квадратична швидкість молекул $v_{\text{сер кв}} = 1$ км/с.

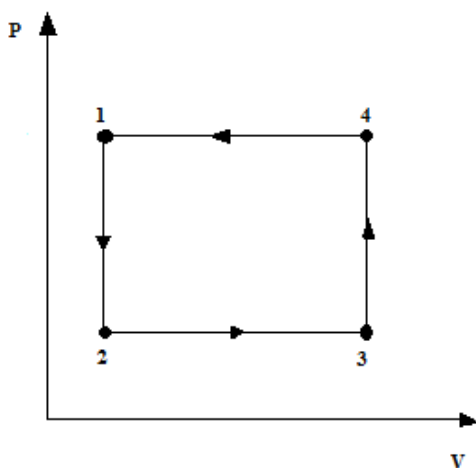
- 102.** Дві однакові посудини, які містять однакову кількість молекул, з'єднані краном. В першій посудині середня квадратична швидкість молекул $v_{сер\ кв1} = 0,4 \text{ км/с}$, а в другій середня квадратична швидкість молекул $v_{сер\ кв2} = 0,5 \text{ км/с}$. Чому дорівнюватиме середня квадратична швидкість $v_{сер\ кв}$ молекул після встановлення рівноваги?
- 103.** На шляху молекулярного пучка, який містить молекули кисню, стоїть дзеркальна стінка. Знайти тиск пучка, якщо швидкість молекул $v_{сер\ кв} = 1 \text{ км/с}$, їх концентрація $n = 10^{17} \text{ м}^{-3}$. Розглянути випадки: 1) $v \perp S$; 2) стінка рухається назустріч з швидкістю $u = 500 \text{ м/с}$ 3) v напрямлена під кутом $\alpha = 60^\circ$ до нерухомої стінки.
- 104.** Дві посудини, які містять два різних гази, з'єднані краном. Тиск в посудинах P_1 та P_2 , число молекул N_1 та N_2 . Визначити тиск в посудинах, якщо кран відкрити.
- 105.** Яка середня квадратична швидкість $v_{сер\ кв}$ молекул газу, котрий маючи масу $m = 3 \text{ кг}$ займає об'єм $V = 3 \text{ м}^3$ при тиску $P = 250 \text{ кПа}$?

ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ

- В першій посудині об'ємом $V_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ знаходиться газ під тиском $P_1 = 1,7 \cdot 10^5 \text{ Па}$, а в другій посудині об'ємом $V_2 = 3,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ знаходиться газ під тиском $P_2 = 0,55 \cdot 10^5 \text{ Па}$ при такій же температурі. Посудини сполучені між собою тонкою трубкою з краном. Який тиск P встановиться в посудинах після того, як відкриють кран? Температура не змінюється.
- Газ стискають при незмінній температурі так, що його об'єм зменшується в n разів. Чому дорівнює відношення середніх квадратичних швидкостей молекул у кінці та на початку стиснення?
- В балоні об'ємом $V = 1 \text{ л}$ знаходилася деяка кількість газу. Після того, як частину газу випустили з балона, тиск в ньому зменшився на $\Delta P = 56 \text{ кПа}$, а маса балона з газом – на $\Delta m = 2 \text{ г}$. Температура газу при цьому не змінилася. Знайти густину ρ_0 газу при нормальному тиску $P_0 = 10^5 \text{ Па}$ й температурі дослідів.

4. В балоні об'ємом $V = 2,5$ л знаходиться газ при температурі $t = 0^\circ\text{C}$. Маса балона з газом кг. В балон додали порцію того ж газу, після чого маса балона стала $m_2 = 2,002$ кг. На яку величину ΔP зріс тиск у балоні, якщо доданий газ при температурі $t = 0^\circ\text{C}$ и тиску P_a мав густину $\rho_0 = 0,0012$ г/см³? Температура газу в балоні не змінилася
5. Дві посудини, наповнені повітрям під тиском $P_1 = 8 \cdot 10^5$ Па й $P_2 = 6 \cdot 10^5$ Па, мають об'єм $V_1 = 3$ л і $V_2 = 5$ л відповідно. Посудини з'єднують трубою, об'ємом якої можна знехтувати в порівнянні з об'ємами посудин. Знайти усталений тиск у посудинах після з'єднання, якщо температура повітря в них до з'єднання була однакова й не змінилася після встановлення рівноваги.
6. Дві посудини об'ємами $V_1 = 40$ л и $V_2 = 20$ л містять газ при однаковій температурі, але різних тисках. Після з'єднання посудин в них установився тиск $P = 1$ МПа. Яким був початковий тиск P_1 у більшій посудині, якщо в меншій він був $P_2 = 600$ кПа? Температура після з'єднання не змінилася.
7. Діаметр молекули азоту приблизно дорівнює $d = 3 \cdot 10^{-8}$ см. Вважаючи, що молекули мають сферичну форму, знайти, яка частина об'єму, заповненого газом, доводиться на об'єм самих молекул при температурі $t = 0^\circ\text{C}$ и нормальному атмосферному тиску $P_0 = 10^5$ Па, а також при тиску $P_1 = 5 P_0$.
8. Камери автомобільних шин накачують насосом, що працює від двигуна. Скільки часу потрібно для того, щоб камеру об'ємом $V = 6$ л накачати до тиску $P_1 = 0,5$ МПа, якщо при кожному ході насос захоплює з атмосфери $V_1 = 800$ см³ повітря? Час одного циклу $t = 1,5$ с. Початковий тиск у камері $P_0 = 100$ кПа.
9. 15 молів газу в балоні нагріли так, що температура збільшилася втричі. Потім частину газу випустили при сталій температурі до початкового значення тиску. Скільки молів газу залишилося в балоні?
10. В циліндрі під поршнем знаходиться газ при нормальних умовах. Спочатку об'єм газу збільшили в 10 разів, потім газ нагріли при сталому тиску до температури $t = 127^\circ\text{C}$. Визначити концентрацію n молекул у кінцевому стані.

11. Балон об'ємом $V = 20$ л містить $m_1 = 4$ г азоту й $m_2 = 10$ г гелію при температурі $t = 17^\circ\text{C}$. Визначити тиск суміші газів.
12. В газі, маса якого $m = 22$ кг, знаходиться $N = 3,01 \cdot 10^{26}$ молекул. Молекули газу складаються з атомів вуглецю й кисню. Які маси цих атомів?
13. Балон об'ємом $V = 20,5$ л містить суміш водню і гелію. Маса суміші $m = 13$ г, температура $t = 27^\circ\text{C}$, тиск $P = 5,4$ атм. Визначити масу водню і масу гелію.
14. Камера містить $m_1 = 1$ г повітря при тиску $P_1 = 1$ атм. При накачуванні камери до тиску $P_2 = 3$ атм об'єм її збільшився вдвоє. Скільки повітря Δm додали в камеру? Вважати, що температура газу не змінюється.
15. При температурі $t = 20^\circ\text{C}$ і нормальному атмосферному тиску допускається витік газу в побутовій плиті не більше $1,1 \cdot 10^{-8}$ м³/с. Скільки молекул газу потрапляє в кімнату унаслідок такого витоку за три години?
16. На деякій планеті 80% маси атмосфери складає кисень, а 20% — неон. Визначте середню молярну масу атмосфери планети.
17. Озеро площею $S = 4$ км² з середньою глибиною $h = 5$ м «посолили», кинувши кристал солі NaCl масою $m = 10$ мг. Через тривалий час з озера зачерпнули склянку води об'ємом $V = 200$ см³. Скільки іонів натрію опинилося в цій склянці?

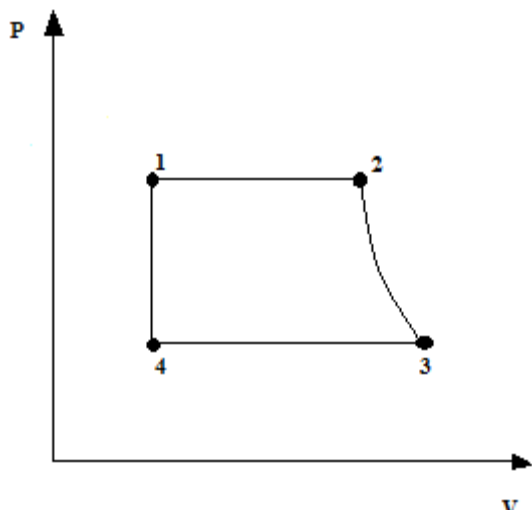


18. У вертикальному циліндрі, закритому легко рухомим поршнем масою m і площею S , знаходиться газ. Об'єм газу рівний V_1 . Яким стане об'єм газу, якщо циліндр пересувати вертикально з постійним прискоренням a , напрямленим вгору? Атмосферний тиск дорівнює P_0 , температура газу не змінюється.

19. Визначить молярну масу M суміші газів: $m = 75\text{г}$ азоту N_2 , $m = 15\text{г}$ кисню O_2 , $m = 10\text{г}$ вуглекислого газу CO_2 .

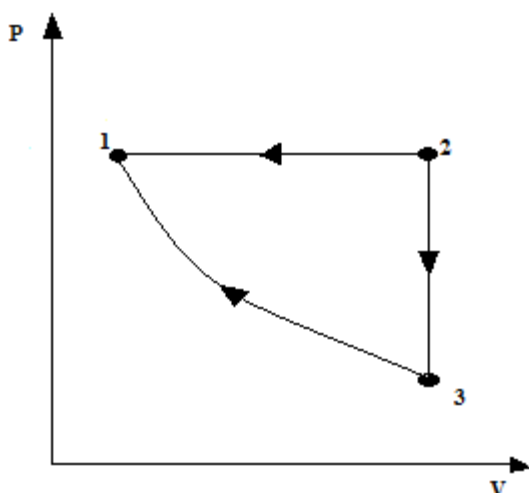
20. У закритій посудині з киснем зроблено електричний розряд, у результаті чого увесь кисень O_2 перетворився на озон O_3 . Як змінився тиск у посудині, якщо

температура залишилась незмінною?



21. Яка точка на графіку циклічного процесу (див. рис.), що чиниться ідеальним газом, відповідає максимальному значенню температури, а яка точка відповідає мінімальному значенню температури?

22. Яка маса m повітря вийде з кімнати об'ємом $V = 60\text{ м}^3$ при підвищенні температури від $T_1 = 280\text{ К}$ до $T_2 = 300\text{ К}$ за нормальним атмосферним тиском?



23. Ідеальний газ чинить циклічний процес 1-2-3-4-1. Ділянка 2-3 належить ізотермі. Зобразіть цикл у координатних осях p, v і v, T .

24. Ідеальний газ чинить циклічний процес 1-2-3-1. Ділянка 3-1 належить ізотермі. Зобразіть цикл у координатних осях p, v і v, T .

Зобразіть цикл у координатних осях p, v і v, T .

25. У балоні знаходиться газ при температурі $t_1 = 15^\circ\text{C}$. У скільки разів зменшиться тиск газу, якщо 40% його маси вийде з балону, а температура зменшиться на $\Delta t = 8^\circ\text{C}$?

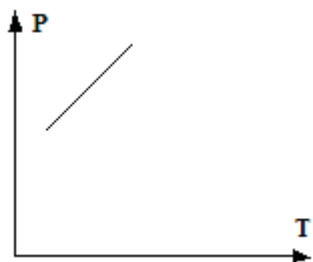
26. Ідеальний газ розширювався від об'єму V_1 до об'єму V_2 за законом $PV_2 = \text{const}$. Зменшувалась чи збільшувалась при цьому його температура T ?

27. В закритій посудині знаходиться ідеальний газ. У скільки разів зросте його тиск, якщо його середня квадратична швидкість $v_{\text{сер кв}}$ збільшиться на 20%?

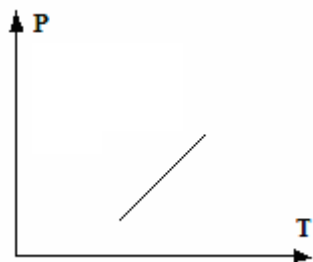
28. Кінетична енергія теплового руху всіх молекул деякої маси гелію при температурі $t=27^{\circ}\text{C}$ складає $E = 10\text{Дж}$. Визначити число молекул газу N .
29. Середня квадратична швидкість молекул газу дорівнює $v_{\text{сер кв}} = 400\text{м/с}$. Визначити об'єм V , який займе $m = 1,0\text{ кг}$ цього газу при нормальному атмосферному тиску.
30. У скільки разів зросте температура T газу в закритій посудині, яка рухається зі швидкістю рівною середній квадратичній швидкості $v_{\text{сер кв}}$ його молекул, після його раптової зупинки?
31. Посудина об'ємом $V = 5\text{л}$ містить газ при тиску $P = 2\text{ атм}$. Скільки води ввійде в посудину, якщо під водою на глибині $h = 40\text{м}$ зробити отвір в самій низькій його частині?
32. В гумовій кулі міститься повітря, температура якого $t = 27^{\circ}\text{C}$ та тиск $P = 1\text{атм}$. На яку глибину h занурили кулю в воду, якщо її об'єм зменшився вдвоє? Температура води $t = 4^{\circ}\text{C}$
33. Об'єм кулі 300м^3 . Її наповнюють воднем, температура якого 20°C та тиск $P = 750\text{мм.рт.ст.}$ Скільки часу t буде тривати цей процес, якщо кожену секунду в кулю переходить $m = 2,5\text{г}$ водню?
34. Щоб уникнути окислення розжареної нитки лампи розжарювання, з її балона викачують повітря до тиску $P = 13 \cdot 10^{-2}\text{ Па}$. Скільки молекул містить балон лампи, якщо його об'єм $V = 0,1\text{л}$? Молярна маса повітря $\mu = 29\text{ г/м}^3$, середня кінетична енергія молекул $E_{\text{ср.кв.}} = 400\text{ м/с}$.
35. Газ стискають ізотермічно від $V_1 = 8\text{л}$ до $V_2 = 6\text{л}$. Тиск при цьому зростає на $\Delta P = 4\text{кПа}$. Знайти початковий тиск P_0 газу.
36. В двох балонах газового автомобіля міститься газ (паливо) під тиском $P_1 = 200\text{атм}$. Об'єм кожного балона $V = 80\text{ л}$. Скільки газу було витрачено під час поїздки, якщо тиск в балонах знизився до $P_2 = 100\text{ атм}$? Густина палива при н.у. 600кг/м^3 .
37. В циліндричній щільно закритій поршнем посудині міститься тільки хлористий водень масою $m = 200\text{ г}$. Об'єм посудини $V_1 = 2\text{ л}$. Скільки грамів рідкого хлористого водню перейде в газоподібний стан під час ізобаричного розширення

до об'єму $V_2 = 2,5\text{л}$? Посудина знаходиться в термостаті при температурі $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Тиск насичених парів HCl при цій температурі $P_1 = 4,9\text{МПа}$. Об'ємом рідкого хлористого водню HCl знехтувати.

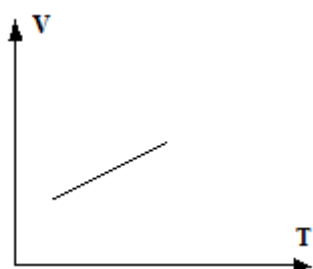
38. В порожню посудину об'ємом $V = 5\text{л}$ наливають $m = 1\text{г}$ води. Визначити тиск при $t_1 = 20^\circ\text{C}$. Яким буде тиск пари, якщо температура зросте до $t_2 = 100^\circ\text{C}$? Якщо посудину з'єднати з такою ж іншою? Тиск насиченої водяної пари при $t_1 = 20^\circ\text{C}$ $P = 2,3\text{кПа}$, при $t_2 = 100^\circ\text{C}$ тиск насиченої водяної пари $P_1 = 100\text{кПа}$.
39. В балон об'ємом $V = 12\text{л}$ впустили $m = 1,5\text{кг}$ азоту при температурі $t_1 = 327^\circ\text{C}$. Який тиск буде створювати азот при температурі $t_1 = 50^\circ\text{C}$, якщо 35% азоту вийде з балону?
40. На дні посудини, заповненої повітрям, лежить сталевий кулька радіусом $r = 2\text{см}$, маса якої $m = 5\text{г}$. Який тиск повинне мати повітря в посудині, щоб кулька піднялася вгору? Вважати, що повітря підкоряється рівнянню Менделєєва-Клапейрона при такому тиску. Температура стала і рівна $t = 20^\circ\text{C}$.
41. Відкриту скляну трубку довжиною $L = 1\text{м}$ наполовину занурюють у ртуть. Потім трубку закривають пальцем та виймають. Яка довжина стовпчику ртуті, що лишилася в трубці? Атмосферний тиск $P = 760\text{мм.рт.ст.}$
42. Побудувати схематично на одному графіку дві ізоТЕРМИ для: а) для одного моля газу при $T = 390\text{К}$, б) для двох моль газу при 390К .
43. Чим різняться графіки залежності тиску від абсолютної температури для: а) двох однакових мас ідеального газу, які нагрівають ізохорне в сосудах різного об'єму, б) двох різних мас, які нагрівають ізохорне в сосудах однакового об'єму? Побудувати відповідні графіки.
44. Газ міститься в циліндрі з поршнем, який може вільно переміщатися. Накреслити графіки залежності від температури для випадків нагрівання газу при великому та малому навантаженні на поршень.



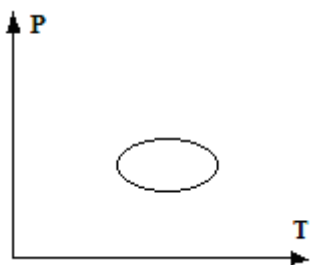
45. Під час нагрівання газу була отримана залежність тиску від абсолютної температури. Визначити, що відбувалося під час нагрівання: стискання чи розширення.



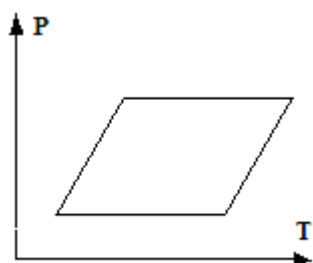
46. Під час нагрівання газу була отримана залежність тиску від абсолютної температури. Визначити, що відбувалося під час нагрівання: стискання чи розширення.



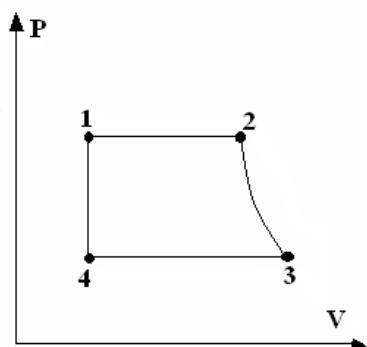
47. Поршень в циліндрі з газом не щільно прилягає до стінок циліндра, тому може повільно пропускати газ. Знята під час ізобарного нагрівання крива має вигляд. Як можна визначити, зростала маса газу чи зменшувалась?



48. Графічно визначити, в якому положенні газ займає мінімальний об'єм. І в якому - максимальний? Відповідь пояснити.

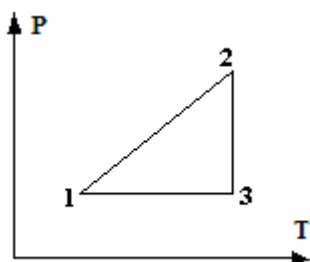


49. З деякою масою газу був виконаний замкнутий процес. Пояснити, як змінювався об'єм газу?



50. З ідеальним газом проводять циклічний процес. Зобразити цей процес в інших координатах.

51. Деяка маса газу нагрівається один раз в малій посудині, другий – в посудині більшого об'єму. Під час нагрівання об'єми залишаються сталими. Зобразити зміни тиску, під яким перебував газ під час нагрівання.
52. Накреслити ізотерми для газу сталої маси на одному рисунку для різних температур.
53. В циліндрі, закритим легко рухомим поршнем, відбувається нагрівання газу - одного разу з молярною масою μ , а іншого разу – з молярною масою 2μ . Маса газів в обох випадках однакові. Тиск, створюваний навантаженням на поршень, також однаковий. Побудувати графіки залежності об'єму від температури для цих випадків.



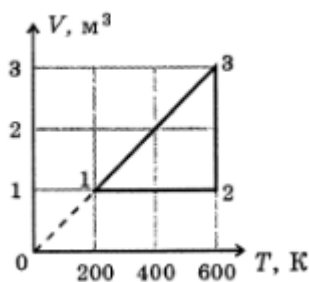
54. Газ перемістили із стану один в стан два. При цьому залежність його тиску від температури показана на рисунку. Як змінювався об'єм газу, якщо маса газу не змінювалась?

ВИСОКИЙ РІВЕНЬ

1. Аеростат, наповнений гелієм при тиску $P = 100$ кПа і температурі $T = 300$ К, може знаходитися на висоті $h = 1,5$ км, де густина повітря на 20% менше, ніж у поверхні Землі. Знайдіть масу m оболонки аеростата, якщо його об'єм $V = 500$ м³. Оболонка аеростата нерозтяжна і герметична.
2. В двох циліндрах, що мають об'єми $V_1 = 1$ л і $V_2 = 5$ л, знаходиться однаковий газ при тисках $P_1 = 0.4$ МПа й $P_2 = 0.6$ МПа і температурах $t_1 = 27^\circ\text{C}$ й $t_2 = 127^\circ\text{C}$. Циліндри з'єднують трубою. Визначити, яка температура t і який тиск P установиться в циліндрах після змішування. Посудини теплоізоляовані від зовнішнього середовища
3. Три посудини однакового об'єму з'єднані між собою кранами. В першій і третій посудинах знаходиться один і той самий газ. Маса газу в першій посудині дорівнює m_1 , у - третій дорівнює m_3 . Друга посудина порожня. Спочатку з'єднали другу й третю посудини, а коли тиск вирівнявся, другу посудину від'єднали від третьої й з'єднали з першою. Тиск у першій і другій посудинах установився рівним P_1 . Визначити початковий тиск P_{10} у першій посудині. Температуру вважати сталою.
4. Компресор, що забезпечує роботу відбійних молотків, захоплює з атмосфери $V = 100$ л повітря за секунду. Скільки відбійних молотків N може працювати від цього компресора, якщо для кожного молотка необхідно $V_1 = 100\text{см}^3$ повітря щосекунди при тиску $P = 5$ МПа? Атмосферний тиск $P_0 = 100$ кПа.
5. До якого тиску P накачали порожній футбольний м'яч об'ємом $V = 3$ л за $N = 40$ циклів поршневого насоса? За один цикл насос захоплює з атмосфери $V = 150$ см³ повітря. Атмосферний тиск $P_0 = 0.1$ МПа.
6. Виготовлений з теплопровідного матеріалу циліндр розділений теплонепроникною перегородкою на дві частини, об'єми яких V_1 , і V_2 . В одній частині перебуває газ при температурі T_1 і тиску P_1 , а в другій частині – такий же газ, але при

температурі T_2 і тиску P_2 . Яка температура газу T встановиться в циліндрі, якщо прибрати перегородку?

7. Оцініть середню відстань між молекулами повітря за нормальних умов.
8. Суміш газів складається з $m = 30$ г азоту і деякої кількості вуглекислого газу. Середня мольна маса суміші рівна $\mu = 32$ г/моль. Визначте масу m вуглекислого газу в суміші.
9. Як змінюється температура T деякої маси ідеального газу, який розширюється за законом $p/V = \text{const}$?
10. Посередині запаяної з обох кінців горизонтальної трубки завдовжки $L = 1$ м знаходиться стовпчик ртуті завдовжки $l = 20$ см. Якщо трубку поставити вертикально, стовпчик ртуті зміститься на $\Delta l = 10$ см. Яким був тиск в горизонтальній трубці? Температуру вважайте незмінною.
11. У вертикальному циліндрі з площею поперечного перетину S під поршнем масою m знаходиться повітря при температурі T . Коли на поршень поклали вантаж маси M , відстань від поршня до дна циліндра зменшилася в n раз. На скільки підвищилася температура повітря в циліндрі?



Атмосферний тиск дорівнює p_0 .

12. Рухомий поршень, який не проводить тепло, ділить циліндр на дві частини об'ємом $V_1 = 200$ см³ і $V_2 = 100$ см³. Спочатку температура газу в обох частинах однакова $T_1 = T_2 = 300$ К, а тиск $p_1 = 100$ кПа. Потім меншу частину охолодили льодом, що тане, а велику - нагрівали в кип'ятку. Який тиск p встановиться в циліндрі?
13. Один моль газу, який займає об'єм $V_1 = 1$ л при тиску $p_1 = 1$ атм, розширився ізотермічно до об'єму $V_2 = 2$ л. Потім при цьому об'ємі тиск газу був зменшений удвічі. Надалі газ розширявся при постійному тиску до об'єму $V_3 = 4$ л. Накресліть (з вказівкою масштабу) графіки даного процесу в координатах p, T і V, T .

14. На гладкому столі лежить герметична циліндрова посудина довжини L , яка може переміщатися по столу. Посудина розділена герметичною перегородкою на дві рівні частини, в одній з яких знаходиться під деяким тиском азот, а в іншій — вуглекислий газ під тиском, удвічі більшим. В деякий момент перегородка втрачає герметичність. На скільки і в якому напрямі зміститься посудина після того, як гази остаточно змішаються? Масу циліндра не враховуйте.
15. По циліндровому димарю підіймаються топкові гази. В нижній частині труби вони мають температуру $T_1 = 1073 \text{ K}$ і швидкість $v = 6 \text{ м/с}$. З якою швидкістю вони рухаються у верхній частині труби, де температура дорівнює $T_2 = 423 \text{ K}$? Зміну тиску в трубі не враховуйте.
16. Теплоізована посудина з азотом рухається зі швидкістю $V = 86,0 \text{ м/с}$. Температура газу $t = 0^\circ\text{C}$. Якою буде середня кінетична енергія $E_{\text{сер. кв.}}$ поступального руху молекул газу, якщо посудину зупинити?
17. В балоні об'єм якого $V = 2,55 \text{ л}$ міститься $m = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ г}$ водню (H_2) при температурі $t = 2500^\circ\text{C}$. При цій температурі молекули водню виявляються пружними, причому частина молекул дисоціює на атоми. Ступінь дисоціації молекул $\alpha = 0,25$. Обчислити: тиск P та кількість теплоти Q , яка необхідна для нагріву водню на 1 K при даних умовах. (ступенем дисоціації називають відношення числа дисоційованих молекул до їх загального числа.)
18. Знайти число молекул N гелію в 1 см^3 , швидкість яких лежить в інтервалі від $2,39 \cdot 10^3 \text{ м/с}$ до $2,41 \cdot 10^3 \text{ м/с}$. Температура гелію $t = 690^\circ\text{C}$, його густина $2,16 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^3$.
19. Деяка маса газу нагрівається ізобарне на $\Delta T = 200 \text{ K}$, причому об'єм збільшується в два рази. Визначити кінцеву температуру T_2 газу. Зобразити цей процес зміни параметрів газу на діаграмі (V, T) .
20. Газ нагрівається ізохорне на $\Delta T = 4 \text{ K}$, при цьому його тиск зростає на 2% . Визначити початкову температуру газу T_1 . Зобразити цей процес зміни параметрів газу на діаграмі (P, T) .

21. Газ стикають ізотермічно від об'єму $V_1 = 8\text{л}$ до об'єму $V_2 = 6\text{л}$. Тиск при цьому зростає на $\Delta P = 4\text{кПа}$. Визначити початковий тиск P_1 газу. Зобразити цей процес зміни параметрів газу на діаграмі (P, T) .
22. В посудині знаходилося $m = 03\text{ кг}$ гелію. Через деякий час внаслідок витікання газу та зменшення абсолютної температури на 10% тиск в посудині зменшився на 20% . Яке число молекул залишило посудину? Число Авогадро $N_A = 6,023 \cdot 10^{23}\text{ моль}^{-1}$. Молярна маса гелію $\mu = 0,004\text{кг/моль}$.
23. Суміш з неону та аргону має густину $1,8\text{ кг/м}^3$ при температурі $T = 300\text{К}$ та тиску $P = 150\text{ кПа}$. Скільки молів аргону міститься в суміші, якщо маса неону $m = 10\text{г}$? Молярна маса неону $\mu = 0,020\text{ кг/моль}$ молярна маса аргону $\mu = 0,040\text{ кг/моль}$, універсальна газова стала $R = 3,314\text{Дж/моль К}$.
24. Один моль ідеального газу переходить із стану $V_1 = 32\text{л}$ та тиску $P_1 = 4,1 \cdot 10^5\text{ Па}$ в стан з $V_2 = 9\text{л}$ та тиском $P_2 = 1,55 \cdot 10^6\text{ Па}$ так, що тиск змінюється за законом $P = aV + b$, де a й b - деякі константи. При якому об'ємі газу температура t досягає максимального значення?
25. В закритому балоні об'ємом $V = 1,5\text{л}$ містилося $m_1 = 0,6\text{г}$ молекулярного кисню та $m_2 = 1,6\text{г}$ молекулярного водню. Суміш запалили. Визначити тиск в балоні, якщо після реакції температура встановилася рівною $t = 100^\circ\text{C}$.
26. Повітряна куля, заповнена воднем, має об'єм $V = 100\text{м}^3$. Чому дорівнює підймальна сила F , яка діє на цю кулю біля поверхні Землі? Тиск та температура водню та повітря атмосфери однакові і складають відповідно $P_0 = 760\text{ мм.рт.ст.}$ та $t = 20^\circ\text{C}$. Маса оболонки $m = 9\text{ кг}$. Молярну масу повітря вважати рівною $\mu = 0,029\text{ кг/моль}$,
27. Трубка довжиною $l = 1,1\text{м}$, герметично закрита з одного кінця, занурюється в воду відкритим кінцем та плаває в вертикальному положенні, яке забезпечується незначними боковими зусиллями. Трубку протоплюють, опустивши її закритий кінець до поверхні води ззовні, та утримують в новому положенні. Знайти висоту h шару води, який знаходиться в трубці. Атмосферний тиск прийняти рівним тиску, який створює шар води висотою $h_0 = 10,5\text{м}$. Тиском насиченої пари води під час досліду знехтувати. Густина води $1 \cdot 10^3\text{ кг/м}^3$.

28. В герметичній посудині знаходиться $\nu_1 = 1$ моль неону та $\nu_2 = 2$ моля водню. При температурі $T_1 = 300\text{K}$, коли весь водень молекулярний, тиск в посудині складає $P_1 = 10^5$ Па. При температурі $T_2 = 3000\text{K}$ тиск в посудині складає $P_2 = 1,5 \cdot 10^6$ Па. Яка частина молекул водню дисоціювала на атоми?
29. В лівій частині циліндричної посудини довжиною $l = 1,0\text{м}$, відділений тепло непроникливим поршнем, знаходиться водень, а в правій частині знаходиться гелій. Об'єм гелію втричі більший за об'єм водню. Під час нагрівання гелію поршень змістився на $\Delta l = 5\text{см}$. На скільки градусів Δt змінилася температура гелію, якщо початкові температури газів були однаковими. Температура водню під час досліду підтримувалась сталою.
30. Сухе повітря складається з азоту (78% за об'ємом), кисню (20,95% за об'ємом), аргону (0,93% за об'ємом) та вуглекислого газу (0,03% за об'ємом). Нехтуючи домішками інших газів (гелію, неону, криптону, ксенону) визначити (в відсотках) склад повітря за масою.
31. В сильно розріджене повітря поміщений плоский диск, один бік якого нагрітий до температури $t_1 = 40^\circ\text{C}$, а інший нагрітий лише до температури $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Визначити силу F , яку необхідно прикласти до диску, щоб він залишався нерухомим. Площа диска $S = 10\text{см}^2$ тиск повітря $P = 10\text{мм.рт.ст.}$, температури $t = 20^\circ\text{C}$. (Вказівка. Для розв'язування слід вважати, що молекула відбивається зі швидкістю, яка визначається температурою відповідної поверхні).
32. Оцініть довжину вільного пробігу молекул води в насиченій водяній парі при температурі $t = 100^\circ\text{C}$.
33. Оцініть середню відстань між молекулами водяної пари при температурі $t = 100^\circ\text{C}$.
34. Скільки протонів, нейтронів, електронів міститься в $V = 5$ л аргону ($^{40}_{18}\text{Ar}$) при температурі $t = 100^\circ\text{C}$ та тиску $P = 0,6$ атм. ?
35. В балоні міститься $m_1 = 16\text{г}$ кисню та $m_2 = 10\text{г}$ водню. У скільки разів зміниться тиск в балоні, якщо весь кисень вступить в реакцію з необхідною частиною водню? Тиском насичених водяних парів знехтувати. Температура стала.

Розділ 2. Елементи статистичної фізики Основи термодинаміки

РЕАЛЬНІ ГАЗИ ТА РІДИНИ. ВЛАСТИВОСТІ РІДИН

Основи термодинаміки

Термодинаміка – наука про найбільш загальні властивості макроскопічних фізичних систем, що перебувають у стані термодинамічної рівноваги, і процеси переходу між цими станами.

Термодинаміка засновується на фундаментальних принципах (началах), які є узагальненням численних спостережень і виконуються незалежно від конкретної природи тіл, що утворюють фізичні системи. Тому закономірності й співвідношення між фізичними величинами, до яких приводить термодинаміка, мають універсальний характер. Обґрунтування законів термодинаміки, їх зв'язок із законами руху окремих частинок, з яких побудовані тіла, дається статистичною фізикою, яка дозволяє встановити й границі (межі) застосування термодинаміки.

Основні поняття термодинаміки

1. Внутрішня енергія термодинамічної системи

Внутрішньою енергією фізичної системи називається енергія хаотичного (теплого) руху всіх мікрочастинок системи (молекул, атомів, іонів тощо) і взаємодії цих частинок.

У загальному випадку до внутрішньої енергії відносять також внутрішню молекулярну енергію (енергію електронних оболонок атомів і внутрішньоядерну енергію). Однак для досліджуваних термодинамічними методами систем, що перебувають при відносно невисоких температурах, коли іонізація й збудження атомів і молекул не відіграють істотної ролі, внутрішню молекулярну енергію є практично сталою і її не враховують.

Внутрішня енергія – величина адитивна, тобто внутрішня енергія системи тіл складається із внутрішніх енергій кожного окремого тіла системи й енергії взаємодії між тілами.

Внутрішня енергія є функцією стану системи, тобто значення внутрішньої енергії системи в будь-якому стані не залежить від того, за допомогою якого процесу система прийшла в даний стан. Тому можна говорити про запас внутрішньої енергії, який має система в різних станах.

В термодинаміці важливим є не саме значення внутрішньої енергії системи, а її зміна при зміні стану системи. Тому зазвичай беруть до уваги тільки ті складові внутрішньої енергії, які змінюються в процесах переходу речовини з одного стану в інший.

Зміна внутрішньої енергії ідеального газу в термодинамічних процесах:

$$\Delta U_{id.z.} = \Delta \sum_{i=1}^N \varepsilon_{i \text{ кін}},$$

$\varepsilon_{i \text{ кін}}$ – кінетична енергія i -ї молекули ідеального газу.

Середня кінетична енергія однієї молекули ідеального газу:

$$\langle \varepsilon_{i \text{ кін}} \rangle = \frac{i}{2} kT, \quad i - \text{число ступенів вільності молекули.}$$

Сумарна кінетична енергія всіх молекул ідеального газу:

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_{i \text{ кін}} = N \langle \varepsilon_{i \text{ кін}} \rangle = N \frac{i}{2} kT = \frac{i}{2} \nu N_A kT = \frac{i}{2} \nu RT.$$

При малій зміні температури dT зміна внутрішньої енергії:

$$dU = d\left(\frac{i}{2} \nu RT\right) = \frac{i}{2} \nu R dT.$$

Після інтегрування, одержимо:

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T.$$

Тобто, внутрішня енергія будь-якої системи визначається її температурою. Тому внутрішню енергію називають також тепловою.

2. Теплота

Кількістю теплоти (теплотою) називається енергія, що отримується або віддається системою при теплообміні (теплопередачі).

$$[Q] = [\text{Дж}], \quad 1 \text{ кал} = 4,12 \text{ Дж}.$$

Теплообмін – самовільний необоротний процес переносу теплоти, обумовлений градієнтом температури (різницею температур).

Розрізняють наступні види теплообміну:

теплопровідність – перенос енергії в результаті безпосередньої передачі від частинок (молекул, атомів, електронів тощо), які мають більшу енергією, частинкам з меншою енергією;

конвекція – перенос енергії потоками речовини (газами, рідинами, сипучими твердими матеріалами) від однієї групи частинок іншим групам частинок;

променистий теплообмін (випромінювання) – перенос енергії у вигляді електромагнітного випромінювання (електромагнітних хвиль).

Кількість теплоти не є функцією стану, вона характеризує процес. Не можна говорити про запас теплоти, який має система в різних станах.

3. Перше начало термодинаміки

Існують два принципово різних способи зміни внутрішньої енергії, а отже й стану системи: 1) шляхом виконання роботи, 2) шляхом теплообміну (теплопередачі).

Таким чином, у загальному випадку, перехід системи з одного стану в інше пов'язаний з передачею системі або відводом від системи деякої кількості теплоти ΔQ й виконанням роботи ΔA (системою над зовнішніми тілами або зовнішніми тілами над системою). При цих змінах діє закон збереження й перетворення енергії. Перший принцип термодинаміки і є законом збереження енергії для систем, в яких істотну роль відіграють теплові процеси.

Перше начало термодинаміки(основне формулювання). Зміна внутрішньої енергії системи при переході з одного стану в інший дорівнює сумі теплоти, одержаної системою, і роботи, виконаної над системою:

$$\Delta U_{12} = Q_{12} + A'_{12},$$

A'_{12} – робота, виконана над системою зовнішніми тілами,

$A_{12} = -A'_{12}$ – робота, виконана системою над зовнішніми тілами.

Тобто $\Delta U_{12} = Q_{12} - A_{12} \Rightarrow Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}.$

Перше начало термодинаміки (додаткове формулювання). Кількість теплоти, передана системі, витрачається на зміну внутрішньої енергії системи і на виконання системою роботи над зовнішніми тілами:

$$Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}.$$

У диференціальній формі:

$$\delta Q = dU + \delta A,$$

dU – нескінченно мала зміна повної внутрішньої енергії,

δA – елементарна робота, δQ – елементарна кількість теплоти.

Кількість теплоти вважається додатною, якщо вона підводиться до системи, і від'ємною – коли відбирається від системи. Робота вважається додатною, коли вона виконується системою над зовнішніми тілами й від'ємною – коли виконується зовнішніми тілами над системою.

Якщо система повертається в початковий стан, то зміна її внутрішньої енергії дорівнює нулю:

$$\Delta U = 0 \Rightarrow A = Q.$$

Перше начало термодинаміки (додаткове формулювання). Неможливий вічний двигун (першого роду), який виконував би роботу більшу, ніж одержувана ззовні енергія.

4. Теплоємність

Теплоємністю тіла називається фізична величина, чисельне рівна відношенню кількості теплоти, переданої тілу, до зміни температури тіла при термодинамічному процесі:

$$C = \frac{\delta Q}{dT}, \quad [C] = [\text{Дж/К}].$$

Теплоємність тіла – це кількість теплоти, необхідна для нагрівання тіла на 1 К (1°C).

Питома теплоємність – теплоємність одиниці маси речовини:

$$c = \frac{C}{m} = \frac{\delta Q}{m dT}, \quad [c] = [\text{Дж/кг К}],$$

m – маса речовини.

Питома теплоємність – це кількість теплоти, необхідна для нагрівання 1 кг речовини на 1 К (1°C).

Молярна теплоємність – теплоємність одного моля речовини:

$$C_{\mu} = \frac{C}{\nu} = \frac{\delta Q}{\nu dT}, \quad [C_{\mu}] = [\text{Дж/моль К}].$$

ν – число молів речовини.

Молярна теплоємність – це кількість теплоти, необхідна для нагрівання 1 моля речовини на 1 К (1°C).

Теплоємність залежить не тільки від початкового й кінцевого станів системи, але й від способу, яким здійснюється перехід зі стану в стан, тобто від того, в яких умовах теплота передається системі.

Розрізняють теплоємність при сталому тиску C_p й теплоємність при сталому об'ємі C_v .

Теплоємність ідеального газу при ізохорному процесі ($V = \text{const}$)

Якщо в процесі передачі теплоти, тобто при нагріванні або охолодженні, підтримується сталим об'єм газу, то молярна теплоємність:

$$C_{\mu V} = \frac{i}{2} R.$$

Теплоємність ідеального газу при ізобарному процесі ($P = \text{const}$)

Якщо в процесі передачі теплоти, підтримується сталим тиск газу, то молярна теплоємність:

$$C_{\mu P} = C_{\mu V} + R \quad \text{рівняння Майєра}$$

5. Застосування I принципу термодинаміки до ізопроцесів

а) Ізохорний процес ($V = \text{const}$)

Запишемо I принцип термодинаміки:

$$\delta Q = dU + \delta A = dU + PdV.$$

Оскільки $V = \text{const}$, $dV = 0$, то

$$\delta Q = dU.$$

Для довільної маси газу

$$\delta Q = dU = \nu C_{\mu V} \cdot dT ,$$

або в інтегральній формі:

$$\Delta Q_{12} = \Delta U_{12} = \nu C_{\mu V} \cdot \Delta T_{12} ;$$

при $T_2 > T_1$, $Q_{12} > 0$ – до газу підводиться певна кількість теплоти,

при $T_2 < T_1$, $Q_{12} < 0$ – від газу відводиться деяка кількість теплоти.

Тобто, вся кількість теплоти, що передається газу при ізохорному процесі, йде на зміну його внутрішньої енергії; робота при цьому не виконується.

$$A_{12} = 0 , \quad \Delta Q_{12} = \Delta U_{12} = \nu C_{\mu V} (T_2 - T_1) .$$

б) Ізобарний процес ($P = const$)

Запишемо I принцип термодинаміки: $\delta Q = dU + \delta A = dU + PdV$.

В інтегральній формі: $\Delta Q_{12} = \Delta U_{12} + A_{12}$,

$$\Delta Q_{12} = \nu C_{\mu P} \Delta T_{12} = \nu C_{\mu P} (T_2 - T_1) ,$$

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} PdV = P \int_{V_1}^{V_2} dV = P(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1) .$$

Внутрішня енергія газу в ізобарному процесі:

$$\Delta U_{12} = \nu C_{\mu P} (T_2 - T_1) - \nu R(T_2 - T_1) = \nu (T_2 - T_1) (C_{\mu P} - R) = \nu C_{\mu V} (T_2 - T_1) .$$

Тобто, в ізобарному процесі при передачі газу кількості теплоти $\delta Q = \nu C_P dT$ його внутрішня енергія зростає на величину $dU = \nu C_V dT$, при цьому газ виконує роботу $\delta A = \nu R dT$.

$$A_{12} = P(V_2 - V_1) = \nu R(T_2 - T_1) , \quad \Delta Q_{12} = \nu C_{\mu P} (T_2 - T_1) , \quad \Delta U = \nu C_{\mu V} (T_2 - T_1) .$$

в) Ізотермічний процес ($T = const$)

Запишемо I принцип термодинаміки: $\delta Q = dU + \delta A$.

Оскільки процес ізотермічний, то внутрішня енергія газу незмінна і $dU = 0$. Отже $\delta Q = \delta A$.

В інтегральній формі: $\Delta Q_{12} = A_{12}$.

Робота при ізотермічному розширенні (стисненні) газу:

$$A_{12} = \int_{V_1}^{V_2} P dV = \int_{V_1}^{V_2} \nu RT \frac{dV}{V} = \nu RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \nu RT \ln V \Big|_{V_1}^{V_2} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{P_1}{P_2}.$$

Таким чином, вся кількість теплоти, що підводиться до газу при ізотермічному процесі, витрачається ним на виконання роботи над зовнішніми тілами.

$$\Delta Q_{12} = A_{12} = \nu RT \ln \frac{P_1}{P_2} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1}, \quad \Delta U_{12} = 0.$$

г) Адіабатний процес ($\delta Q = 0$)

Адіабатним називається процес, при якому відсутній теплообмін між системою й зовнішнім середовищем, тобто $\delta Q = 0$.

І принцип термодинаміки $\delta Q = dU + \delta A$ для адіабатного процесу має вигляд:

$$\delta A = -dU$$

Тобто, при адіабатному процесі робота виконується газом за рахунок зменшення його внутрішньої енергії.

$$A_{12} = -\Delta U_{12} = \nu C_V (T_1 - T_2) = \frac{\nu RT_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right] = \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} \left[1 - \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right],$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{(i+2)R}{2} \frac{2}{iR} = \frac{i+2}{i} = 1 + \frac{2}{i}, \quad \gamma - 1 = \frac{2}{i}, \quad \frac{i}{2} = \frac{1}{\gamma - 1}$$

Рівняння адіабатного процесу:

$$PV^\gamma = \text{const}, \quad \text{рівняння Пуассона}$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} - \text{показник адіабати.}$$

У змінних V, T і P, T рівняння адіабатного процесу:

$$T V^{\gamma-1} = \text{const},$$

$$T^\gamma P^{1-\gamma} = \text{const}.$$

д) Політропні процеси

Політропним називається процес, у якому теплоємність тіла залишається незмінною.

Рівняння політропного процесу для ідеального газу:

$$PV^n = \text{const},$$

$$n = \frac{C - C_p}{C - C_v} \text{ — показник політропи.}$$

При $C = 0$, $n = \gamma$ — рівняння адіабати,

при $C = \infty$, $n = 1$ — рівняння ізотерми,

при $C = C_p$, $n = 0$ — рівняння ізобари,

при $C = C_v$, $n = \infty$ — рівняння ізохори.

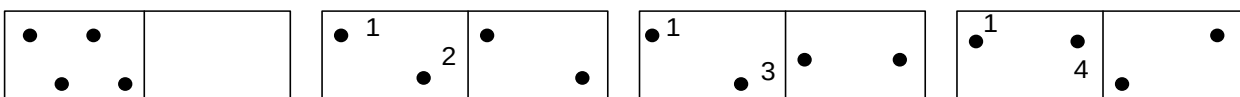
Тобто, адіабатний, ізотермічний, ізохорний і ізобарний процеси є політропними, всі вони — окремі випадки більш загального політропного процесу.

6. Ентропія

Ентропія як статистична характеристика систем

Всякий макростан термодинамічної системи, який описується за допомогою характеризуючих все тіло в цілому макропараметрів (тиску, об'єму, температури), здійснюється різними способами. Кожному макростану відповідає якийсь мікростан системи з певними характеристиками кожної з частинок системи, а саме — сукупність координат, імпульсів частинок тощо.

Розглянемо газ у закритій посудині, яка розділена проникною для молекул перегородкою. Першому, менш імовірному макростану газу, коли всі молекули перебувають в одній половині посудини, відповідає тільки один мікростан. Другому макростану рівномірного розподілу молекул газу по всьому об'єму відповідає кілька різних мікростанів:



Число різних мікростанів, за допомогою яких здійснюється даний макростан, називається **статистичною вагою** Ω макростану.

Для характеристики ймовірності стану системи використовується фізична величина, називана **ентропією** системи:

$$S = k \ln \Omega ,$$

k – стала Больцмана.

Ентропія системи дорівнює сумі ентропії тіл, що входять у систему:

$$S = \sum_{i=1}^N S_i .$$

Чим більше число мікростанів, що реалізують даний макростан системи, тим більше ентропія системи.

З визначення ентропії як величини, що характеризує ймовірність стану термодинамічної системи випливає:

1) В необоротних процесах ентропія ізольованої системи зростає. Тобто, ізольована система, надана сама собі, переходить із менш імовірного в більш імовірний стан, що супроводжується збільшенням статистичної ваги, а отже й ентропії.

2) Ентропія ізольованої системи, що перебуває в стані термодинамічної рівноваги, є максимальною. Тобто, рівноважний стан є найбільш імовірним.

З умови максимальності ентропії в стані рівноваги випливає важливий наслідок: температура всіх частин рівноважної системи однакова.

Ентропія як термодинамічна характеристика систем

Оскільки ентропія однозначно характеризує макростан термодинамічної системи, то очевидно, що ця величина є функцією стану й пов'язана з макропараметрами системи.

Відношення кількості теплоти Q , одержаної тілом в ізотермічному процесі, до температури T цього процесу називається **зведеною теплотою**:

$$Q^* = \frac{Q}{T} .$$

Зведена теплота, надана тілу в будь-якому оборотному коловому процесі, дорівнює нулю:

$$Q_{об.}^* = \oint \frac{\delta Q}{T} = 0 ,$$

δQ – зведена теплота, надана тілу на нескінченно малій ділянці довільного термодинамічного процесу.

Функція стану, диференціалом якої є $\frac{\delta Q}{T}$ називається **ентропією** S :

$$dS = \frac{\delta Q}{T}.$$

Для ізольованої системи $\delta Q = 0$ й отже $dS = 0$, $S = \text{const}$.

Тобто, при оборотних процесах, що протікають в ізольованих системах, ентропія залишається незмінною:

$$\Delta S = 0.$$

Ентропія замкненої системи, що здійснює необоротний процес, зростає:

$$\Delta S > 0.$$

Ентропія незамкнених систем (таких, що обмінюються теплотою із зовнішнім середовищем) може поводитися довільним чином.

Ентропія системи може бути визначена лише з точністю до деякої сталої. Але практичне значення у більшості випадків має не сама ентропія, а різниця ентропії.

Ентропія ідеального газу

Зміна ентропії при переході термодинамічної системи зі стану 1 в стан 2:

$$\Delta S_{12} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \frac{dU + \delta A}{T}.$$

Для ідеального газу:

$$\Delta S_{12id.} = R \ln \frac{V_2}{V_1} + C_V \ln \frac{T_2}{T_1}.$$

При ізотермічному процесі $T_1 = T_2$ і $\Delta S_{12} = R \ln \frac{V_2}{V_1}$.

При ізохорному процесі $V_1 = V_2$ і $\Delta S_{12} = C_V \ln \frac{T_2}{T_1}$.

При адіабатному процесі $\Delta Q = 0$ і $\Delta S_{12} = 0$.

7. Друге начало термодинаміки

Можливість реалізації тих чи інших процесів в природі й напрямок їх протікання встановлюється II принципом термодинаміки.

Друге начало термодинаміки (основне формулювання). В процесах, що відбуваються в замкнених системах, ентропія не зменшується:

$$\Delta S \geq 0,$$

$S = 0$ для оборотних процесів,

$S > 0$ для необоротних процесів.

Друге начало термодинаміки (додаткове формулювання за Клаузіусом). Неможливий процес, єдиним результатом якого є передача теплоти від менш нагрітого тіла до більш нагрітого.

Тобто, теплота не може самовільно переходити від холодних тіл до гарячих.

Друге начало термодинаміки (додаткове формулювання за Кельвіном). Неможливий процес, єдиним результатом якого є перетворення всієї теплоти, отриманої від нагрівника, в еквівалентну роботу.

Тобто, неможливий періодично діючий двигун (другого роду), що здійснює роботу за рахунок охолодження одного джерела.

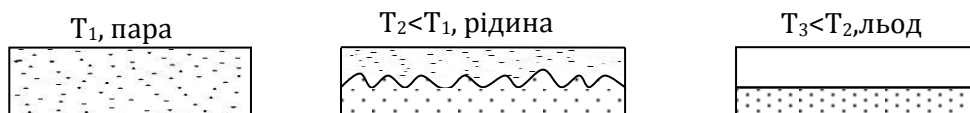
З II принципу термодинаміки випливає нерівноцінність роботи й теплоти як двох форм передачі енергії.

8. Третє начало термодинаміки

Третє начало термодинаміки (теорема Планка-Нернста). Ентропія всіх тіл в стані рівноваги наближається до нуля з наближенням температури до абсолютного нуля:

$$\lim_{T \rightarrow 0} S = 0$$

Зі зниженням температури системи ступінь її неупорядкованості знижується — число мікростанів, за допомогою яких даний макростан може бути реалізовано, зменшується, тобто зменшується ентропія системи.



З III принципу термодинаміки випливає принцип недосяжності абсолютно-го нуля температур: неможливий такий процес, в результаті якого тіло могло б бути охолоджене до температури абсолютного нуля.

9. II начало термодинаміки й теплові машини

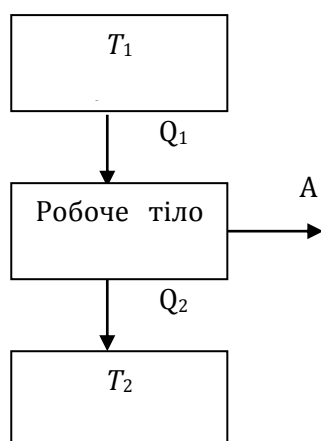
Теплові й холодильні машини

Тепловою машиною (тепловим двигуном) називається пристрій, що перетворює тепло в механічну роботу.

Теплові двигуни розподіляються на два великих класи: парові двигуни (парові турбіни) і двигуни внутрішнього згоряння (двигуни автомобілів).

Принцип дії теплової машини полягає в наступному:

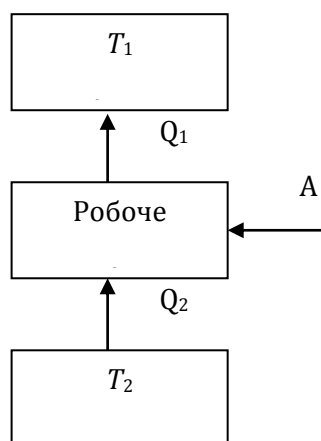
$$T_1 > T_2, \quad Q_1 > Q_2, \quad A > 0$$



Від термостата (теплого резервуара) з більш високою температурою T_1 , названого нагрівником, відбирається деяка кількість теплоти Q_1 , а термостату з більш низькою температурою T_2 , названому холодильником, передається менша в порівнянні з відібраною кількість теплоти Q_2 . При цьому робочим тілом (парою або газом) виконується робота, чисельне рівна різниці отриманої й відданої теплоти:

$$A = Q_1 - Q_2.$$

Процес, зворотний тому, що відбувається в тепловому двигуні, використовується в холодильній машині. Принцип дії холодильної машини:



$$T_1 > T_2, \quad Q_1 > Q_2, \quad A < 0$$

Від термостата з більш низькою температурою T_2 відбирається деяка кількість теплоти Q_2 й передається термостату з більш високою температурою T_1 . При цьому над системою виконується робота з боку зовнішніх тіл. Кількість теплоти Q_2 , відібраної від

термостату з більш низькою температурою, менша кількості теплоти Q_1 , переданої термостату з більш високою температурою, на величину роботи зовнішніх сил:

$$A = Q_2 - Q_1.$$

10. Коефіцієнт корисної дії теплових машин

Коефіцієнтом корисної дії теплової машини називається відношення корисної роботи, виконаної машиною, до отриманої від нагрівника кількості теплоти:

$$\text{к.к.д.} = \eta = \frac{A}{Q} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

Q_1 – отримана від нагрівника кількість теплоти,

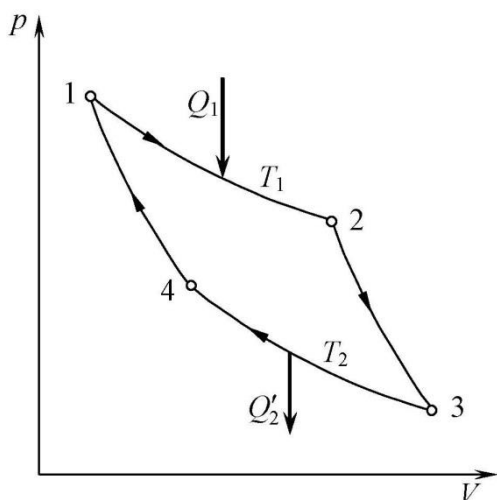
Q_2 – віддана холодильнику кількість теплоти.

З формули випливає, що максимальне значення коефіцієнта корисної дії дорівнює $\text{к.к.д.} = \eta = 1$ і може досягатися тільки за умови $Q_2 = 0$.

11. Теорема Карно

Французький фізик і інженер Карно показав, що для роботи теплового двигуна необхідно не менше двох термостатів з різними температурами. Це узгоджується з II принципом термодинаміки, який забороняє процес, в результаті якого вся отримана від деякого джерела теплота перетворюється в роботу. Тобто, к.к.д. будь-якої теплової машини завжди менше одиниці:

$$\eta < 1.$$



Теорема Карно. Із всіх періодично діючих теплових машин, що мають однакові температури нагрівників (T_1) і холодильників (T_2) найбільший к.к.д. мають зворотні машини. При цьому коефіцієнти корисної дії зворотних машин, що працюють при однакових температурах нагрівників і холодильників, рівні один одному й не залежать від природи робочого тіла.

Цикл Карно. Карно встановив, що найбільш економічним є оборотний цикл, який складається із двох ізотерм і двох адіабат (цикл Карно).

Ділянки циклу Карно:

12 – ізотермічне розширення ($T_1 = \text{const}$);

23 – адіабатне розширення ($\Delta Q = 0$);

34 – ізотермічне стиснення ($T_2 = \text{const}$);

41 – адіабатне стиснення ($\Delta Q = 0$).

т. 1 P_1, V_1, T_1

↓ $+(Q_1 > 0)$

т. 2 P_2, V_2, T_1

↓ $+(Q = 0)$

т. 3 P_3, V_3, T_2 ($T_2 < T_1$)

↓ $+(Q_2 < 0)$

т. 4 P_4, V_4, T_2

↓ V $+(Q = 0)$

т. 1 P_1, V_1, T_1

Коефіцієнт корисної дії циклу Карно визначається тільки температурами нагрівника й холодильника:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Через тертя й неминучі теплові втрати коефіцієнт корисної дії будь-якого реального теплового двигуна менше коефіцієнту корисної дії циклу Карно.

ПРИКЛАД РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВИХ ЗАВДАНЬ

Приклад 1. Маса $m = 10$ г кисню перебуває під тиском $P = 3 \cdot 10^5$ Па при температурі $t = 10$ °С. Після нагрівання при сталому тиску газ зайняв об'єм $V = 10$ л. Ви-

значити кількість теплоти Q , яку одержав газ, зміну внутрішньої енергії газу ΔU і роботу A , виконану газом при розширенні.

Розв'язання.

З рівняння Клапейрона-Менделєєва $PV_1 = \frac{m}{\mu} RT_1$ знайдемо початковий об'єм газу:

$$V_1 = \frac{m}{\mu} R \frac{T_1}{P} \approx 2,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3. \text{ Робота розширення газу } A = P(V_2 - V_1) \approx 2,26 \cdot 10^3 \text{ Дж. Для ви-}$$

значення кількості теплоти, одержаної газом, потрібно спочатку визначити кінцеву

температуру. З закону Гей-Люссака $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$ знаходимо: $T_2 = T_1 \frac{V_2}{V_1} \approx 1115 \text{ К. Тоді кіль-}$

кість одержаної газом теплоти $Q = cm(T_2 - T_1) = 7,92 \cdot 10^3 \text{ Дж. Зміну внутрішньої енергії отримаємо, скориставшись I принципом термодинаміки: } \Delta U = Q - A = 5,66 \cdot 10^3 \text{ Дж.}$

Приклад 2. Визначити кількість теплоти, поглиненої $m = 0,2 \text{ кг}$ водню, під час його нагрівання від температури $t_1 = 0^\circ \text{C}$ до температури $t_2 = 100^\circ \text{C}$ при сталому тиску. Знайти зміну внутрішньої енергії газу і виконану ним роботу.

Розв'язання.

Кількість теплоти Q , що поглинається газом при ізобарному нагріванні, визначається за формулою $Q = mc_p \Delta T$, де m – маса газу; c_p – питома теплоємність при сталому

тиску; ΔT – зміна температури газу. Відомо, що $c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{\mu}$. З урахуванням цього:

$$Q = m \frac{i+2}{2} \frac{R}{\mu} \Delta T; \quad Q = 291 \text{ кДж. Зміну внутрішньої енергії знайдемо за формулою}$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{\mu} R \Delta T; \quad \Delta U = 208 \text{ кДж. Роботу розширення газу знайдемо, скориставшись I}$$

принципом термодинаміки $Q = \Delta U + A; \quad A = Q - \Delta U; \quad A = 83 \text{ кДж.}$

Приклад 3. В циліндрі під поршнем знаходиться $m = 0,2 \text{ кг}$ водню при температурі $T_1 = 300 \text{ К}$. При адіабатному розширенні об'єм водню збільшується в п'ять разів, а потім при ізотермічному стисненні – зменшується в п'ять разів. Знайти температуру T_2 в кінці адіабатного розширення і роботу A , виконану газом.

Розв'язання.

Температури і об'єми газу при адіабатному процесі пов'язані спів-

відношенням $\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1}$, де γ – показник адіабати (для водню як дво-атомного газу

$\gamma = 1,4$). Звідки $T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} = 300 \left(\frac{1}{5}\right)^{0,4}$ К. Прологарифмуємо праву і ліву частини

рівняння: $\lg T_2 = \lg 300 + 0,4(\lg 1 - \lg 5) = 2,197$. За таблицею антилогарифмів знайдемо

значення $T_2 = 157$ К.

Робота A_1 газу під час адіабатного розширення:

$$A_1 = \frac{m}{\mu} C_{\mu V} (T_1 - T_2) = \frac{m}{\mu} \frac{i}{2} R (T_1 - T_2); \quad A_1 = 29,8 \text{ кДж.}$$

Робота A_2 газу під час ізотермічного стиснення:

$$A_2 = RT_2 \frac{m}{\mu} \ln \frac{V_2}{V_1}; \quad A_2 = -21 \text{ кДж.}$$

Знак «–» указує на те, що при стисненні газу робота виконується зовнішніми силами. Таким чином, повна робота виконана газом $A = A_1 + A_2 = 8,8$ кДж.

Приклад 4. Знайти зміну ентропії при наступних процесах: а) нагріванні $m = 100$ г води від температури $t_1 = 0$ °С до температури $t_2 = 100$ °С і подальшому перетворенню води в пару тієї ж температури; б) ізотермічному розширенні $m = 10$ г кисню від об'єму $V_1 = 25$ л до об'єму $V_2 = 100$ л; в) ізобарному нагріванні $m = 10$ г кисню від температури $t_1 = 17$ °С до температури $t_2 = 100$ °С.

Розв'язання

$$\Delta S_{12} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}.$$

а) Зміни ентропії визначаються загальною формулою

Кількість теплоти, що передається тілу при нескінченно малій зміні температури $\delta Q = mcdT$, де c – питома теплоємність тіла масою m .

При нагріванні води зміна ентропії:

$$\Delta S_n = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mcdT}{T} = mc \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = mc \ln \frac{T_2}{T_1}; \quad \Delta S_n = 0,131 \text{ кДж/К.}$$

При випаровуванні води за умовою задачі температура залишається сталою. Зміна ентропії при цьому

$$\Delta S_e = \frac{1}{T} \int_1^2 \delta Q = \frac{Q}{T}, \text{ де}$$

$Q = \lambda m$ – кількість теплоти, що витрачається на випаровування маси води m , λ –

питома теплота пароутворення. Тобто $\Delta S_e = \frac{\lambda m}{T}$; $\Delta S_e = 606 \text{ Дж/К.}$

Загальна зміна ентропії $\Delta S = \Delta S_n + \Delta S_e = 737 \text{ Дж/К.}$

$$\Delta S = \frac{1}{T} \int_1^2 \delta Q = \frac{Q}{T}$$

б) В ізотермічному процесі, а зміна внутрішньої енергії дорівнює 0, і тому у відповідності до I принципу термодинаміки $Q = A$.

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1} . 3$$

Робота при ізотермічному процесі визначається за формулою

$$\Delta S = \frac{m}{\mu} R \ln \frac{V_2}{V_1}; \quad \Delta S = 3,61 \text{ Дж/К.}$$

урахуванням цього:

в) Кількість теплоти, яку необхідно надати газу маси m , щоб змінити температуру на нескінченно малу величину dT за умови сталого тиску: $\delta Q = mc_p dT$, де c_p – питома теплоємність тіла при сталому тиску. Тоді

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mc_p dT}{T} = mc_p \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = mc_p \ln \frac{T_2}{T_1} . \text{ Врахуємо, що } c_p = \frac{i+2}{2} \frac{R}{\mu}, i=5 \text{ для кисню. Оста-}$$

$$\Delta S = \left(\frac{i+2}{2} \right) \frac{R}{\mu} \ln \frac{T_2}{T_1}; \quad \Delta S = 2,9 \text{ Дж/К.}$$

точно:

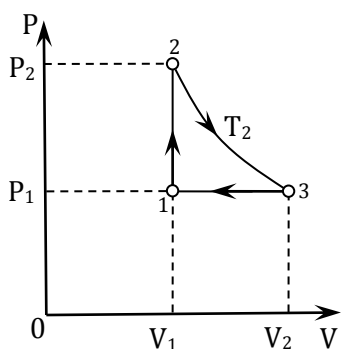
Приклад 5. Нагрівник теплової машини, яка працює по зворотному циклу Карно, має температуру $t_1 = 200^\circ \text{C}$. Знайти температуру холодильника T_2 , якщо при отриманні від нагрівника кількості теплоти $Q_1 = 1 \text{ кДж}$ машина виконує роботу $A = 0,4 \text{ кДж}$. Втратами на тертя і теплообмін знехтувати.

Розв'язання.

Температуру холодильника знайдемо із формули для термічного коефіцієнту корисної дії машини: $T_2 = T_1(1 - \eta)$. З іншого боку $\eta = A/Q_1$. З урахуванням останнього $T_2 = T_1(1 - A/Q_1) = 284 \text{ К}$.

Приклад 6. Ідеальний двоатомний газ, кількість якого становить $\nu = 1$ моль, знаходиться під тиском $P_1 = 200 \text{ кПа}$ і займає об'єм $V_1 = 10 \text{ л}$. Спочатку газ ізохорне нагрівають до температури $T_2 = 400 \text{ К}$. Потім при ізотермічному розширенні зменшують тиск газу до початкового значення. Після цього ізобарним стисненням повертають газ у вихідний стан. Визначити термічний коефіцієнт корисної дії циклу η .

Розв'язання



Зобразимо графік циклу, що складається з ізохори, ізотерми й ізобари, в координатах P, V .

Термічний коефіцієнт корисної дії будь-якого циклу $\eta = (Q_1 - Q_2)/Q_1$ або $\eta = 1 - Q_2/Q_1$, де Q_1 – кількість теплоти, отриманої газом за цикл від нагрівника, Q_2 – кількість теплоти, переданої газом за цикл холодильнику. Різниця кількостей теплоти $Q_1 - Q_2$ дорівнює роботі A , що виконується газом за цикл. Ця робота на графіку в координатах P, V відповідає заштрихованій площі циклу.

Газ отримує теплоту на двох частках: Q_{1-2} – при ізохорному процесі і Q_{2-3} – при ізотермічному процесі. Тобто $Q_1 = Q_{1-2} + Q_{2-3}$.

Газ отримує теплоту на двох частках: Q_{1-2} – при ізохорному процесі і Q_{2-3} – при ізотермічному процесі. Тобто $Q_1 = Q_{1-2} + Q_{2-3}$.

Кількість теплоти, отриманої газом при ізохорному процесі $Q_{1-2} = C_{\mu V} \nu (T_2 - T_1)$, де $C_{\mu V}$ – молярна теплоємність газу при сталому об'ємі. Температуру T_1 початкового стану газу знайдемо з рівняння Клапейрона-Менделєєва:

$$T_1 = \frac{p_1 V_1}{\nu R}; \quad T_1 = 300 \text{ К}.$$

Кількість теплоти, отриманої газом при ізотермічному процесі $Q_{2-3} = \nu RT_2 \ln(V_2/V_1)$, де V_2 – об'єм газу при температурі T_2 і тиску P_1 .

Кількість теплоти, що газ віддає на ділянці 3-1, дорівнює $Q_2 = Q_{3-1} = C_{\mu p} \nu (T_2 - T_1)$, де $C_{\mu p}$ – молярна теплоємність газу при сталому тиску.

$$\text{З урахуванням значень } Q_1 \text{ і } Q_2: \quad \eta = 1 - \frac{\nu C_{\mu p} (T_2 - T_1)}{\nu C_{\mu v} (T_2 - T_1) + \nu RT_2 \ln(V_2/V_1)}.$$

Скористаємося законом Гей-Люссака і замінимо в останній формулі співвідношення об'ємів співвідношенням температур: $V_2/V_1 = T_2/T_1$. Виразимо $C_{\mu v}$ і $C_{\mu p}$ через число ступенів волі молекули: $C_{\mu v} = iR/2$, $C_{\mu p} = (i+2)R/2$. Після скорочень отримаємо:

$$\eta = 1 - \frac{(i+2)(T_2 - T_1)}{i(T_2 - T_1) + 2T_2 \ln(T_2/T_1)}; \quad \eta = 0,041 = 4,1\%.$$

Приклад 7. Ідеальна теплова машина працює за циклом Карно, одержуючи за кожний цикл від нагрівача 600 Дж теплоти. Температура нагрівача 400 К, температура холодильника 300 К. Знайти роботу, виконувану машиною за один цикл, і кількість теплоти, що віддається холодильнику за один цикл.

Розв'язання.

Дано:	Коефіцієнт корисної дії циклу Карно:
$Q_1 = 600 \text{ Дж}$	$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$, де T_1 – температура нагрівача, T_2 – температура холо-
$T_1 = 400 \text{ К}$	дильника;
$T_2 = 300 \text{ К}$	
$Q_2 = ?$ $A = ?$	

$$\text{Термічний коефіцієнт корисної дії (ККД) циклу: } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\% = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\%,$$

де A – робота, виконувана машиною за цикл;

Q_1 – кількість теплоти, отримана від нагрівача;

Q_2 – теплота, віддана холодильнику.

$$\text{Тоді } \frac{A}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \Rightarrow A = \frac{(T_1 - T_2) \cdot Q_1}{T_1}$$

$$A = \frac{(400 \text{ K} - 300 \text{ K}) \cdot 600 \text{ Дж}}{400 \text{ K}} = 150 \text{ Дж}$$

$$A = Q_1 - Q_2 \Rightarrow Q_2 = Q_1 - A$$

$$Q_2 = 600 \text{ Дж} - 150 \text{ Дж} = 450 \text{ Дж}$$

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

1. Енергія теплового руху і взаємодії частинок, із яких складається тіло, називається:

А - внутрішньою енергією тіла; Б - кінетичною енергією тіла;
В - потенціальною енергією тіла; Г - ядерною енергією тіла;
Д - правильної відповіді немає.

2. Укажіть, за якою формулою розраховується внутрішня енергія ν моль одноатомного ідеального газу.

А - $U = \frac{3}{2} R$; Б - $U = \frac{3}{2} RT$; В - $U = \frac{3}{2} \nu RT$; Г - $U = \frac{3}{2} kRT$;

Д - правильної відповіді немає.

3. Тіло віддає енергію. Як при цьому змінюється його внутрішня енергія?

А - зменшується; Б - збільшується; В - не змінюється;
Г - може збільшуватися, а може і зменшуватися;
Д - правильної відповіді немає.

4. Тіло остигає. Як при цьому змінюється його внутрішня енергія?

А - зменшується; Б - збільшується; В - не змінюється;
Г - може збільшуватися, а може і зменшуватися;
Д - правильної відповіді немає.

5. Адіабатним називається процес, що протікає при:

А - постійній температурі; Б - постійному тиску; В - постійному об'єму;
Г - відсутності теплообміну з навколишнім середовищем;
Д - правильної відповіді немає.

6. Назвіть основні елементи, з яких складається будь-який тепловий двигун.

А - нагрівач і холодильник;

Б - циліндр і поршень;

В - нагрівач, холодильник і робоче тіло; Г - циліндр, поршень і пальне;

Д - правильної відповіді немає.

7. Температура нагрівача ідеальної теплової машини T_1 , а температура холодильника — T_2 . Коефіцієнт корисної дії машини дорівнює:

А - $\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_2}$; Б - $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_2}$; В - $\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$; Г - $\eta = \frac{T_2 - T_1}{T_1}$;

Д - правильної відповіді немає.

8. За один цикл тепла машина отримує від нагрівача кількість теплоти Q_1 і віддає холодильнику кількість теплоти Q_2 . Коефіцієнт корисної дії машини дорівнює:

А - $\eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$; Б - $\eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1}$; В - $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_2}$; Г - $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$

Д - правильної відповіді немає.

9. Чи однакова внутрішня енергія води U_v і такої ж маси льоду U_l при температурі 0°C ?

А - $U_v = U_l$; Б - $U_v > U_l$; В - $U_v < U_l$; Г - однозначно відповісти на запитання не можна; Д - правильної відповіді немає.

10. Перший закон термодинаміки для ізотермічного процесу має вигляд:

А - $Q = \Delta U + A$ Б - $Q = A$; В - $Q = \Delta U$; Г - $\Delta U = A$;

Д - правильної відповіді немає.

11. Перший закон термодинаміки для ізохорного процесу має вигляд:

А - $Q = \Delta U + A$; Б - $Q = A$; В - $Q = \Delta U$; Г - $\Delta U = A$;

Д - Правильної відповіді немає.

12. Перший закон термодинаміки для адіабатного процесу має вигляд:

А - $Q = \Delta U + A$; Б - $Q = A$; В - $Q = \Delta U$; Г - $\Delta U = A$;

Д - правильної відповіді немає.

13. Тепловий двигун одержав від нагрівача кількість теплоти Q_1 , а холодильнику віддав кількість теплоти Q_2 . Яку роботу A виконав двигун?

А - $A = |Q_1|$; Б - $A = |Q_1| + |Q_2|$; В - $A = |Q_1| - |Q_2|$; Г - $A = |Q_2| + |Q_1|$;
 Д - правильної відповіді немає.

14. Як змінюється внутрішня енергія газу, що утворився при згорянні палива у двигуні внутрішнього згорання, під час робочого ходу поршня?

А - збільшується; Б - зменшується; В - не змінюється; Г - спочатку збільшується, а потім залишається постійною; Д - правильної відповіді немає.

15. Термодинаміка базується на законах (началах):

А – одному; Б – двох; В – трьох; Г- правильної відповіді немає.

16. Перенесення енергії у вигляді теплоти підкоряється закону:

А – Фур'є; Б – Дальтона; В - Авогадро; Г - Фіка.

17. Внутрішньою енергією термодинамічної системи називається:

А - енергія хаотичного руху мікрочастинок системи та їх взаємодії;

Б - енергія теплового руху частинок;

В - тільки потенціальна енергія системи;

Г- тільки кінетична енергія системи.

18. Закон про рівномірний розподіл енергії за ступенями свободи належить:

А – Паскалю; Б – Больцману; В – Авогадро; Г – Фіку.

19. Перший закон термодинаміки - це закон:

А - збереження енергії; Б - збереження імпульсу;

В - збереження моменту імпульсу; Г- збереження ентропії.

20. Вічний двигун першого роду не можливий - це випливає з закону:

A - збереження енергії ;

Б - збереження імпульсу;

В - збереження моменту імпульсу;

Г- збереження ентропії.

21. Кількість теплоти, необхідна для нагрівання (або охолодження) тіла на 1 К називається:

A – питомою теплоємністю речовини;

Б - молярною теплоємністю;

B - теплоємністю тіла;

Γ - внутрішньою енергією тіла.

22. Рівняння Майєра дозволяє порівняти:

A - питомі теплоємності тіл;

Б - температуру тіл;

B - тиск тіл;

Г – правильної відповіді немає.

23. Процес, при якому відсутній теплообмін між системою і навколишнім середовищем називають:

A – політропним;

Б – адиабатним;

В - незворотним;

Γ – ізотермічним.

24. Показник адіапати інакше називається коефіцієнтом:

A – Пуассона;

Б – Больцмана;

V – Авогадро;

Г - Менделєєва – Клапейрона.

25. Процес називається політропним, якщо він відбувається при постійній:

A – maci;

Б - температурі;

B – теплоємності;

Г- правильної відповіді немає.

26. Розрізняють теплоємність при:

- А.- постійній масі та об'ємі; Б - при постійній масі і тиску;
В - при постійному об'ємі і тиску; Г- правильної відповіді немає.

27. Рівняння $PV^\gamma = \text{const}$ називається рівнянням:

- А – Пуассона; Б – Больцмана; В – Авогадро; Г - Менделєєва – Клапейрона.

28. Функція стану, диференціалом якої є $\delta G/T$, називається:

- А - внутрішньою енергією; Б.- ентропією;
В - кількістю теплоти; Г- правильної відповіді немає.

29. Властивістю адитивності володіє:

- А - ентропія; Б – температура; В – тиск; Г- правильної відповіді немає.

30. Із принципу зростання ентропії випливає, що, оскільки всі реальні процеси необоротні, то ентропія замкнутої системи:

- А - зростає; Б – зменшується; В – постійна; Г - правильної відповіді немає.

31. Найбільш економічний режим роботи теплової машини називається циклом:

- А – Карно; Б - Больцмана; В – Пуассона; Г- Максвелла.

32. Ентропія замкнутої системи, що робить незворотний цикл:

- А – зростає; Б - не збільшується; В – убуває; Г - не убуває.

33. Найбільш економічний цикл теплової машини складається з:

- А - з двох адіабати і двох ізохор; Б - з двох ізотерм і двох ізохор;
В - з двох адіабати і двох ізотерм; Г- з двох ізохор і двох ізобар.

- 34.** Твердження, що коефіцієнт корисної дії теплового двигуна залежить тільки від температур нагрівача і холодильника, впливає з робіт:
- А – Карно; Б – Больцмана; В – Пуассона; Г - правильної відповіді немає.
- 35.** Довжиною вільного пробігу молекули називається шлях, який проходить молекула:
- А - за 1 с; Б - від однієї стінки посудини до іншої; В - від одного зіткнення з молекулою до іншого; Г – правильної відповіді немає.
- 36.** Швидкість, при якій функція розподілу молекул за швидкостями максимальна, називається:
- А – середньою арифметичною; Б - середньою квадратичною;
- В - найбільш вірогідною; Г – правильної відповіді немає.
- 37.** Макроскопічна система знаходиться в термодинамічній рівновазі, якщо з часом не змінюється:
- А - її стан; Б - її температура; В - її маса; Г - правильної відповіді немає.
- 38.** В сталевий бак масою $m_1 = 10$ кг налили $m_2 = 20$ кг окропу. Температура в кімнаті $t = 20^\circ \text{C}$. а) Який процес буде відбуватися?
- А - бак нагріється до 100°C ;
- Б - окріп охолоне до температури нижче ніж кімнатна;
- В - температура води в баку встановиться між 20°C і 100°C і далі залишиться постійною;
- Г - температура води в баку встановиться між 20°C і 100°C і далі знизиться до 20°C ; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Чи однаково швидко температура води в баку стане рівною 20°C за умови:
1) бак відкритий; 2) бак герметично закритий? в) Яку найвищу температуру може мати сталевий бак в розглянутому випадку?

39. На одному і тому ж нагрівачу стоять однакові посудини з однаковими масами льоду і води, що мають однакову температуру ($t = 0^{\circ}\text{C}$). а) Як будуть змінюватися температури в обох посудинах на початкових стадіях нагріву?

А - температури в обох посудинах залишаться постійними;

Б - температури в обох посудинах будуть підвищуватися;

В - температура в посудині з льодом буде підвищуватися, а в посудині з водою залишиться постійною;

Г - температура в посудині з льодом залишиться постійною, а в посудині з водою буде підвищуватися; Д - правильних відповідей тут немає.

б) На що потрібно затратити більшу кількість теплоти: на плавлення 1 кг льоду або на нагрів 1 кг води від 0°C до кипіння? в) Як відноситься час доведення води до кипіння в посудині з льодом до часу доведення до кипіння води в посудині, де була тільки вода?

40. З холодильника, де температура $t = 0^{\circ}\text{C}$, вийняли дві однакових алюмінієвих посудини, в одній з яких $m_1 = 0,1$ кг льоду, а в іншій $m_2 = 0,1$ кг свинцю. Посудини одночасно поставили на нагрівач з температурою $t = 350^{\circ}\text{C}$. а) Яке співвідношення об'ємів льоду і свинцю в посудинах?

А - об'єми однакові;

Б - об'єм свинцю менше в 11,3 рази;

В - об'єм свинцю менше в 12,5 рази;

Г - об'єм льоду в 11,3 рази більше;

Д - правильної відповіді тут немає.

б) Як буде змінюватися температура в посудині зі свинцем? Накресліть графік зміни температури від часу. Скільки свинцю розплавиться до того часу, коли розплавиться весь лід в іншій посудині?

41. Для приготування чаю турист поклав в посудину $m = 2$ кг льоду при $t = 0^\circ \text{C}$.
- а) Як буде змінюватися температура t в посудині з льодом до повного його розплавлення, якщо його нагрівати?
- А – зростати; Б – знижуватися; В - залишатися постійною;
Г - буде дещо вище температури навколишнього середовища;
Д - правильної відповіді тут немає.
- б) Накресліть графік температури при плавленні льоду і нагріванні води до кипіння. в) Яку мінімальну кількість бензину потрібно спалити, щоб $m = 2$ кг льоду (дивися умову задачі) перетворити в окріп?
42. Маса води $m = 5$ кг при температурі $t_1 = 20^\circ \text{C}$ кидають шматочок льоду при температурі $t_2 = 0^\circ \text{C}$. а) Як змінюється при цьому температура води?
- А - залишається постійною; Б – зростає; В – знижується;
Г - залишається рівною кімнатній; Д - правильної відповіді тут немає.
- б) Чи можна таким чином всю воду перетворити на лід? в) Яку кількість льоду необхідно кинути у воду, щоб її температура стала рівною $t = 10^\circ \text{C}$?
43. Маса льоду $m = 5$ кг, взятого при температурі $t_1 = -20^\circ \text{C}$, розплавляли і отриману воду нагріли до $t_2 = 20^\circ \text{C}$. а) Чи однакова кількість теплоти необхідна для нагрівання на 1°C 1кг льоду і 1кг води?
- А – однакова; Б - на нагрів льоду більше в 2 рази;
В - на нагрів льоду менше в два рази; Г - це залежить від температури льоду;
Д - правильної відповіді тут немає.
- б) Накресліть графік зміни температури для всього процесу, описаного в задачі.
- а) Яку кількість теплоти необхідно затратити на весь процес?
44. У калориметр, в якому було $m_1 = 2$ кг води при температурі $t_1 = 5^\circ \text{C}$, опустили $m_2 = 5$ кг льоду при температурі $t_2 = -40^\circ \text{C}$. Теплоємністю калориметра і теплообміном з навколишнім середовищем знехтувати. а) Чи однакову кількість теплоти потрібно взяти для нагріву на один градус одного кг води і одного кг льоду?

А – однакову; Б - на нагрівання води менше; В для нагрівання води більше; Г - для нагрівання льоду в 10 разів більше; Г - для нагрівання льоду в 10 разів більше; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Яка кількість теплоти необхідна, щоб лід нагріти до температури плавлення (за умовою задачі)? в) За яких умов температура в калориметрі могла б бути вищою $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?

45. У калориметр, в якому було $m_1 = 2\text{ кг}$ води при температурі $t_1 = 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, опустили $m_2 = 5\text{ кг}$ льоду при температурі $t_2 = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Теплоємністю калориметра і теплообміном з навколишнім середовищем знехтувати. а) Чи однакова кількість теплоти йде на плавлення 1 кг льоду і виділяється при замерзанні 1 кг води?

А – однакова; Б - на плавлення 1 кг льоду необхідно затратити тепла більше; В - на плавлення 1 кг льоду необхідно затратити тепла менше; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Яка кількість теплоти необхідна, щоб весь лід розплавити при $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$? в) За яких умов температура в калориметрі могла б бути $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

46. У калориметр, в якому було $m_1 = 2\text{ кг}$ води при температурі $t_1 = +5\text{ }^{\circ}\text{C}$, опустили $m_2 = 5\text{ кг}$ льоду при температурі $t_2 = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Теплоємністю калориметра і теплообміном з навколишнім середовищем знехтувати. а) Чи однакова кількість теплоти йде на нагрівання 1 кг води на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ і виділяється при охолодженні 1 кг води на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$?

А - на нагрівання води на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ необхідно більше теплоти, ніж її виділяється при охолодженні на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$; Б - на нагрівання води на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ необхідно менше теплоти, ніж її виділяється при охолодженні на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$; В - однакова;

Г - при охолодженні води тепло не виділяється; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Яка кількість теплоти виділиться, коли вся вода в калориметр охолоне до $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$? в) За яких умов вся вода в калориметрі може замерзнути?

47. У калориметр, в якому було $m_1 = 2\text{ кг}$ води при температурі $t_1 = 5\text{ }^\circ\text{C}$, опустили $m_2 = 5\text{ кг}$ льоду при температурі $t_2 = -40\text{ }^\circ\text{C}$. Теплоємністю калориметра і теплообміном з навколишнім середовищем знехтувати. а) Як змінюється температура при плавленні кристалічного тіла?

- А – зростає; Б – знижується; В – залишається постійною;
Г - залежить від швидкості нагрівання; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Яка кількість теплоти виділиться, коли вся вода в калориметрі замерзне?

в) За яких умов температура в калориметр могла б бути нижчою $t = 0\text{ }^\circ\text{C}$?

48. У калориметр, в якому було $m_1 = 2\text{ кг}$ води при температурі $t_1 = +5\text{ }^\circ\text{C}$, опустили $m_2 = 5\text{ кг}$ льоду при температурі $t_2 = -40\text{ }^\circ\text{C}$. Теплоємністю калориметра і теплообміном з навколишнім середовищем знехтувати. а) Як змінюється температура при кристалізації кристалічного тіла?

- А - залишається постійною; Б – зменшується; В - зростає;
Г - залежить від швидкості охолодження; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Скільки тепла виділилося, коли $m_2 = 5\text{ кг}$ льоду охолодили від температури плавлення до $t_2 = -40\text{ }^\circ\text{C}$? в) Якою буде температура t в калориметрі після встановлення теплової рівноваги?

49. У калориметр, в якому було $m_1 = 3\text{ кг}$ води при температурі $t_1 = 20\text{ }^\circ\text{C}$, опустили лід масою $m_2 = 0,5\text{ кг}$ при температурі $t_2 = -10\text{ }^\circ\text{C}$. Теплоємність калориметра 10^3 Дж/К . а) Чи однакова кількість теплоти необхідна для плавлення 1 кг льоду і на нагрівання 1 кг льоду на $1\text{ }^\circ\text{C}$?

- А – однакова; Б - на нагрівання льоду більше; В - для плавлення льоду більше;
Г - для плавлення льоду теплота не витрачається;

Д - правильних відповідей тут немає.

б) Як змінюється температура t льоду під час його плавлення? в) Визначте температуру, яка встановиться в калориметрі.

50. У калориметр з $m_1 = 0,15$ кг льоду при $t_1 = 0$ °С впустили водяну пару при температурі $t_2 = 100$ °С. У калориметрі встановилася температура $t_3 = 30$ °С. Теплоємність калориметра $C = 2 \cdot 10^3$ Дж/К. а) Чи однакова кількість теплоти необхідна на нагрівання 1 кг води на 1 °С і на випаровування 1 кг води?

А – однакова; Б - на нагрівання води більше; В - на нагрівання води менше; Г - на випаровування води теплота не витрачається;

Д - правильної відповіді тут немає.

б) Яка кількість теплоти необхідно, щоб розплавити $m = 0,15$ кг льоду? в) За яких умов температура в калориметр дорівнюватиме $t = 0$ °С?

51. У калориметр з $m_1 = 0,15$ кг льоду при температурі $t_1 = 0$ °С впустили водяну пару при температурі $t_2 = 100$ °С. У калориметрі встановилася температура $t_3 = 30$ °С. Теплоємність калориметра $C = 2 \cdot 10^3$ Дж/К. а) Чи однакова кількість теплоти витрачається на випаровування 1 кг води при кипінні, та виділяється при конденсації 1 кг водяної пари при тій же температурі?

А - при конденсації води теплота не виділяється; Б - однакова;
В - при випаровуванні необхідно більше теплоти; Г - при випаровуванні теплоти необхідно менше; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Яка кількість теплоти необхідна, щоб нагріти $m = 0,15$ кг води від температури плавлення льоду до $t_2 = 30$ °С? в) За яких умов температура в калориметр могла б дорівнювати $t = 100$ °С?

52. У калориметр з $m_1 = 0,15$ кг льоду при $t_1 = 0$ °С впустили водяну пару при температурі $t_2 = 100$ °С. У калориметрі встановилася температура $t_3 = 30$ °С. Теплоємність калориметра $C = 2 \cdot 10^3$ Дж / К. а) Чи однакову кількість теплоти необхідно для плавлення 1 кг льоду і на випаровування 1 кг води?

А – однакову; Б - для плавлення льоду більше; В - для плавлення льоду менше; Г-на плавлення льоду теплота не витрачається;

Д - правильної відповіді тут немає.

б) Яка кількість теплоти виділяється при конденсації 100 г пари? в) Скільки води буде в калориметрі після того, як весь лід розтане?

53. У посудину з сумішшю $m_1 = 1$ кг води і $m_2 = 1$ кг льоду з сухопарнику впустили $m_3 = 0,1$ кг водяної пари. а) Які процеси при цьому можливі одночасно?

А - конденсація пари, нагрівання льоду; Б - нагрівання льоду, нагрівання води;
В - нагрівання льоду, плавлення льоду; Г - конденсація пари, плавлення льоду;
Д - охолодження води, нагрівання льоду.

б) На що необхідно затратити більше теплоти: на плавлення $m_1 = 1$ кг льоду чи на нагрівання $m_2 = 1$ кг води від температури плавлення льоду до температури кипіння води? в) Яка температура встановиться в посудині?

54. У посудину з сумішшю $m_1 = 1$ кг води і $m_2 = 1$ кг льоду з сухопарнику впускають водяну пару. а) Які процеси при цьому можливі одночасно?

А - охолодження води, нагрівання льоду; Б - конденсація пари, плавлення льоду;
В - нагрівання льоду, плавлення льоду; Г - охолодження пари, нагрівання льоду; Д - конденсація пари, нагрівання льоду.

б) На що необхідно затратити тепла більше: на випаровування $m_1 = 200$ г води при кипінні чи на плавлення $m_1 = 1$ кг льоду? в) Скільки пари необхідно впустити в посудину, щоб весь лід розтанув?

55. У посудині нагрівається $v = 1$ літр води і $m = 0,5$ кг льоду. Потужність нагрівача $N = 500$ Вт, а його коефіцієнт корисної дії $\eta = 0,6$. а) Як змінюється температура суміші води і льоду до моменту повного плавлення льоду?

А – підвищується; Б – знижується; В - дорівнює кімнатній температурі;
Г - залишається постійною; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Накресліть схематичний графік зміни температури в посудині до закипання води. в) Через який інтервал t часу вода в посудині закипить?

56. На електроплиті потужністю $N = 1$ кВт, яка має коефіцієнт корисної дії $\eta = 50\%$ розплавляли $m = 1$ кг льоду і воду нагріли до $t = 50$ °С. а) Як змінюється температура при плавленні льоду?

А – зростає; Б – знижується; В - залишиться постійною
Г - рівна кімнатній температурі; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Накресліть схематичний графік зміни температури в посудині. в) Скільки часу триває процес?

57. На електроплитці потужністю $N = 1$ кВт, яка має коефіцієнт корисної дії $\eta = 50\%$, розплавляли $m = 1$ кг льоду, воду нагріли до кипіння і 10% її випарували. а) Як змінюється температура при кипінні води?

А – зростає; Б – знижується; В - залишається постійною;
Г - рівна кімнатній температурі; Д правильної відповіді тут немає.

б) Накресліть графік залежності температури для всього процесу, який описаний в задачі. в) Скільки часу триває процес, описаний в задачі?

58. У посудину з $m_1 = 500$ г води при $t_1 = 13$ °С опустили залізний предмет масою $m_2 = 400$ г, нагрітий в киплячій воді. Температура в посудині підвищилася до $t_2 = 20$ °С. а) У яких одиницях вимірюється питома теплоємність речовини?

А – Дж; Б - Дж / кг; В - Дж / К; Г - Дж / кг К;
Д - правильної відповіді тут немає.

б) Чи однакові поняття - теплоємність тіла і питома теплоємність речовини?

Пояснити. в) За даними умови задачі знайдіть значення питомої теплоємності заліза.

59. У посудину з $m_1 = 500\text{г}$ води при $t_1 = 13\text{ }^\circ\text{C}$ опустили залізний предмет масою $m_2 = 400\text{г}$, нагрітий в киплячій воді. Температура в посудині підвищилася до $t_2 = 30\text{ }^\circ\text{C}$. а) Чи однакову кількість теплоти необхідно затратити, щоб нагріти на $1\text{ }^\circ\text{C}$ 1кг води і на $1\text{ }^\circ\text{C}$ 1кг заліза?

А – однакову; Б - на нагрів заліза більше; В - на нагрів води більше;
Г - на нагрів води в два рази менше; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Скільки льоду можна розплавити за рахунок охолодження залізного предмета, розглянутого в задачі? в) Якої маси необхідно було б опустити у воду залізний предмет, щоб температура води підвищилася до $t_2 = 48\text{ }^\circ\text{C}$?

60. Вода падає з висоти h . а) Як змінилася температура води, яка впала на землю?

А - не змінилася; Б – знизилася; В – підвищилася;
Г - правильної відповіді тут немає.

б) Як змінюється механічна енергія води при її падінні? Пояснити. в) На скільки градусів змінилася температура води внаслідок падіння її на землю, якщо висота падіння $h = 15\text{м}$, а на нагрів води йде 30% механічної енергії?

61. Молот масою $m_1 = 10\text{т}$ падає з висоти $h = 2,5\text{м}$ на залізну пластинку масою $m_2 = 30\text{кг}$. а) Яка кількість теплоти виділяється при одному ударі молота ?

А - 25Дж; Б - 2,5 кДж; В - $2,5 \cdot 10^4$ Дж; Г - 2,5 МДж;
Д - правильної відповіді тут немає.

б) Чи вся енергія при ударі йде на нагрів пластинки? Чому? в) Скільки разів молот повинен вдарити по пластинці, щоб вона нагрілася на $\Delta t = 40\text{ }^\circ\text{C}$, якщо на нагрів йде 60% теплоти, що виділяється під час удару?

- 62.** На електроплитці потужністю $N = 600 \text{ Вт}$, яка має коефіцієнт корисної дії $\eta = 45\%$, нагрілося $V = 1.5$ літра води, взятої при $t = 10^\circ \text{C}$ до кипіння і 5% перетворилося на пару. а) Чи однакова кількість теплоти йде на нагрівання 1 кг води на 1°C і на випаровування 1 кг води при температурі кипіння?

А – однакова; Б - на нагрівання більше; В - на випаровування більше;
Г - на випаровування води теплота не витрачається;

Д - правильної відповіді тут немає.

б) Яку кількість теплоти необхідно передати воді (за умовою задачі), щоб довести її до кипіння? в) Скільки часу тривало нагрівання?

- 63.** На електроплитці потужністю $N = 1 \text{ кВт}$ і коефіцієнтом корисної дії $\eta = 50\%$ нагрівається $m = 1 \text{ кг}$ льоду, взятого при температурі $t_1 = -10^\circ \text{C}$. а) Чи однакова кількість теплоти йде на плавлення 1 кг льоду і випаровування 1 кг води.

А – однакова; Б - на плавлення льоду більше; В - на випаровування води більше; Г - на плавлення льоду теплота не витрачає;

Д – правильної відповіді тут немає.

б) Яку кількість теплоти необхідно затратити на плавлення льоду? в) Скільки часу повинна бути включена плитка, щоб половина води в посудині випарувалася при температурі кипіння?

- 64.** При температурі повітря $t_1 = -5^\circ \text{C}$ кожен квадратний метр поверхні водойми втрачає за одну годину $Q = 168 \text{ Дж}$ тепла. Температура води на поверхні водойми $t_2 = 0^\circ \text{C}$. а) Чи однакові кількості тепла, які йдуть на плавлення 1 кг льоду и виділяються при кристалізації 1 кг води?

А – однакові; Б - на плавлення льоду теплота не витрачається;

В - на плавлення льоду витрати теплоти більше; Г - на плавлення льоду витрати теплоти менше; Д - правильної відповіді тут немає.

б) Який об'єм V_1 льоду, що вільно плаває, виступає з води, якщо весь об'єм льоду $V_0 = 2 \text{ м}^3$? в) Яка товщина льоду, який утворюється на поверхні водойми за добу?

65. Щоб охолодити $V = 5$ літрів води, взятої при $t_1 = 20^\circ\text{C}$, до $t_2 = 8^\circ\text{C}$, у воду кидають шматочки льоду, які мають температуру плавлення. а) Чи однаковий об'єм мають $m_1 = 5 \text{ кг}$ води і $m_1 = 5 \text{ кг}$ льоду при температурі $t = 0^\circ\text{C}$?

А – однаковий; Б - об'єм води більше; В - об'єм льоду більше;
Г - об'єм льоду більше в 2 рази; Д - правильної відповіді тут немає.

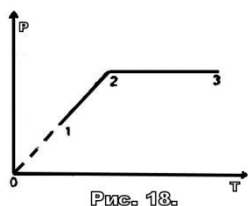
б) Яка кількість теплоти виділяється при кристалізації $m = 5 \text{ кг}$ води? в) Яка кількість льоду необхідна для охолодження води (за умовою задачі)?

66. По центру горизонтально розташованої скляної трубки, запаяної з обох сторін, розташований стовпчик ртуті довжиною $L = 150 \text{ мм}$. Тиск газу в трубці $P = 8,8 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Довжина трубки $l = 1,15 \text{ м}$. а) Як зміниться положення стовпчика ртуті в горизонтальній трубці, якщо її помістити в киплячу воду?

А - зміститься вправо; Б - зміститься вліво; В - не зміниться;
Г - правильної відповіді тут немає.

б) У скільки разів зміниться тиск газу в горизонтальній трубці, якщо її нагріли від $t_1 = 0^\circ\text{C}$ до температури кипіння води? в) Трубку поставили у вертикальне положення. На скільки градусів Δt необхідно нагріти нижню частину трубки, щоб стовпчик ртуті залишився на місці? Кімнатна температура $t = 20^\circ\text{C}$.

67. Стан газу постійної маси змінювався відповідно до графіка, який показаний на рисунку. а) Який процес відповідає ділянці 1-2 на графіку?



А – ізотермічний; Б ізобаричний; В – ізохоричний;
Г – адіабатичний; Д - правильної відповіді немає.

б) Чому дорівнює робота газу на ділянці 1 - 2? в) Накресліть цей графік в системі координат P, V .

68. Стан газу постійної маси змінювався відповідно до графіка, який показаний на малюнку. а) Який процес відповідає ділянці 2 -3 на графіку?

А – ізотермічний;

Б - ізобаричний;

В – ізохоричний;

Г – адіабатичний;

Д - правильної відповіді тут немає.

б) За якою формулою визначається робота газу на ділянці 2-3? в) Накресліть цей графік в координатах V, T .

69. Стан газу постійної маси змінювався відповідно до графіка, який показаний на рисунку. а) Який процес відповідає ділянці 1-2 на графіку?

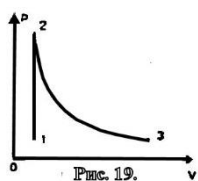


Рис. 19.

А – ізотермічний;

Б - ізобаричний;

В – ізохоричний;

Г – адіабатичний;

Д - правильної відповіді немає.

б) Чому дорівнює робота газу на ділянці 1 -2? в) Накресліть цей графік в системі координат P, T .

70. Стан газу постійної маси змінювався відповідно до графіка, який показаний на рисунку. а) Який процес відповідає ділянці 2-3 на графіку?

А – ізотермічний;

Б ізобаричний;

В – ізохоричний;

Г – адіабатичний;

Д - правильної відповіді немає.

б) Як сформулюється закон, що описує процес на ділянці 2-3? в) Накреслити цей графік в координатах V, T .

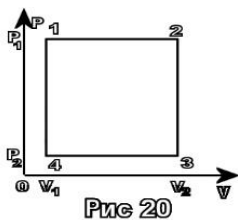
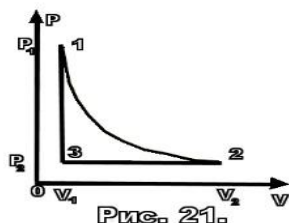


Рис 20

71. На графіку показаний процес $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4$. Маса та хімічний склад газу не змінні (рисунок). а) Чому дорівнює робота, виконана газом на ділянці $1 \rightarrow 2$?

А - P_1, V_1 ; Б - $P_1(V_1 - V_2)$; В - $P_1 V_2$; Г - $P_1(V_2 - V_1)$; Д - $P_3(V_2 - V_1)$.

б) Знайти відношення робіт на ділянках 1-2 и 3-4. в) Накреслити цей графік в координатах P, T .



72. На графіку показаний процес $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3$. Маса та хімічний склад газу не змінні.

а) Чому дорівнює робота, виконана газом на ділянці 3-1?

А - $P_1 V_1$; Б - $P_2 V_1$; В - $P_2(V_2 - V_1)$; Г - 0

Д - правильної відповіді немає.

б) Чому дорівнює коефіцієнт корисної дії циклу? в) Побудувати графік цього циклу в координатах P, T .

73. У алюмінієвий калориметр (див. рисунок) влили масло з мензурки і виміряли температуру масла. Воду з мірного циліндра, яку попередньо нагріли на електрорплитці, також влили в калориметр. На рисунку показані термометри, що фіксують температуру гарячої води і температура

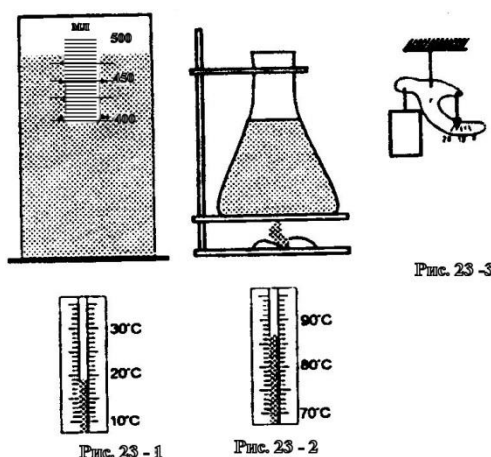
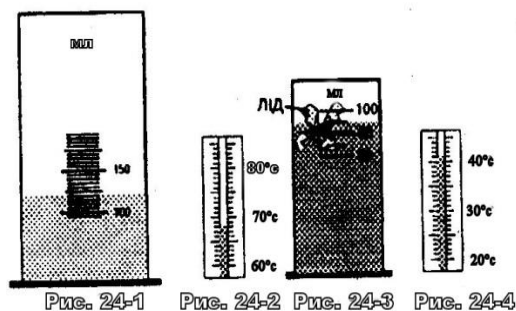


Рис. 23 - 3

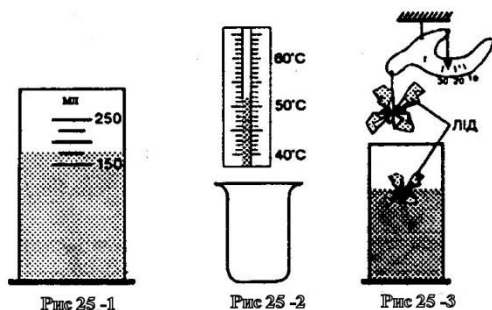
температуру гарячої води і температура води і масла в калориметрі після встановлення теплової рівноваги. Визначте: а) яку кількість теплоти віддала гаряча вода? б) яку кількість теплоти отримало масло? в) яку кількість теплоти отримав калориметр? Порівняйте обчислені кількості теплоти і зробіть висновок. Чи можна в даному випадку нехтувати теплоємністю калориметра?

74. Воду з мірного циліндра (див. рисунок) вилили в колбу і нагріли, використавши половину сухого палива. Визначте: а) кількість теплоти, яка виділилася при згорянні сухого палива, питома теплота згорання якого $q = 2,3 \cdot 10^7$ Дж / кг; б) кількість теплоти, яку отримала вода в процесі нагрівання; в) коефіцієнт корисної дії установки η , зображеної на рисунку.



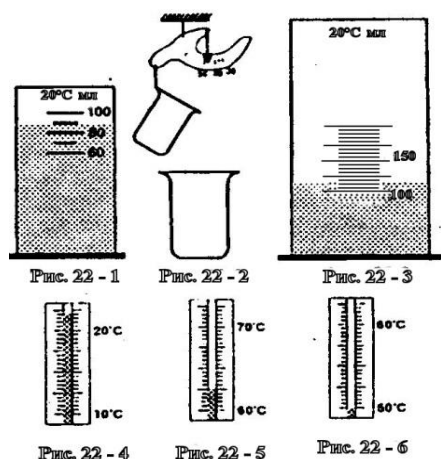
Після того, як в калориметрі встановилося теплова рівновага, виміряли температуру суміші. Визначте: а) кількість теплоти, яку віддала гаряча вода; б) кількість теплоти, яку отримала холодна вода. в) масу льоду.

76. Воду з мензурки (див. рисунок) підігріли і вилили в калориметр. Потім в ка-



лориметр кинули шматочок льоду. Визначте: а) яка маса льоду? б) яка кількість теплоти необхідна для плавлення всього льоду? в) яку температуру покаже термометр?

77. Воду з мірного циліндра (див. рисунок) вилили в калориметр і виміряли її тем-



пературу. Потім через цю воду пропустили водяну пару, після чого температура підвищилася. Щоб визначити масу води, яка утворилася внаслідок конденсації пари, воду з калориметра після охолодження знову вилили в мірний циліндр. Визначте: а) кількість теплоти, яку отримала холодна вода; б) кількість теплоти, яке віддала вода, що утворилася при

конденсації пари; в) Питому теплоту пароутворення.

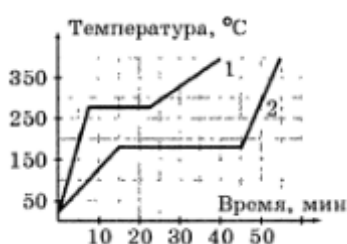
78. В калориметрі знаходиться $m_1 = 0,5$ кг води при $t_1 = 16$ °С. В нього впускають $m_2 = 20$ г водяної пари при $t_2 = 100$ °С. До якої температури t_3 нагріється вода в результаті конденсації пари?

А - від 35 °С до 45 °С;

Б - від 45 °С до 55 °С;

В - від 55 °С до 65 °С;

Г - від 65 °С до 75 °С.



79. В калориметрі міститься $m = 1$ кг однієї речовини 1. Включивши електричний нагрівник, досліджують залежність температури вмісту калориметра від часу. Потім дослід повторюють, замінивши речовину 1 на іншу речовину

2 і використовуючи той же самий нагрівник. Користуючись приведеними на малюнку графіками, порівняйте питомі теплоти плавлення λ цих речовин.

А - $\lambda_2 \approx 2 \lambda_1$.

Б - $\lambda_1 \approx 2 \lambda_2$.

В - $\lambda_2 \approx 4 \lambda_1$.

Г - $\lambda_1 \approx 4 \lambda_2$.

80. За якою формулою можна обчислити зміну внутрішньої енергії будь-якого тіла?

А - $A' = pV$;

Б - $\Delta U = Q + A$;

В - $\Delta U = \frac{3}{2} \nu R \Delta T$;

Г - $Q = cm \Delta T$.

81. В яких одиницях вимірюють питому теплоємність речовини?

А - $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$;

Б - $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

В - $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$;

Г - $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$.

82. Адіабатним називається процес, який протікає ...

А - ... при постійному тиск;

Б - ... за відсутності теплообміну з

навколишнім середовищем;

В - ... без зміни температури;

Г - ... без здійснення роботи.

83. Коефіцієнт корисної дії теплової машини дорівнює $\eta = 40\%$. Виберіть правильне співвідношення між кількістю теплоти Q_1 , отриманою від нагрівника, кількістю теплоти Q_2 , переданою холодильнику, і корисною роботою $A_{\text{кор}}$.

А - $Q_2 = 0,4Q_1$; Б - $Q_1 = 0,4Q_2$; В - $A_{\text{кор}} = 0,4(Q_1 + Q_2)$; Г - $A_{\text{кор}} = 0,4Q_1$.

84. Газ не виконує роботи при ...

А - ... адіабатному процес;

Б - ... ізотермічному процесі;

В - ... ізохорному процесі;

Г - ... ізобарному процесі.

85. Повітря розширилося при постійному тиску $P = 3 \cdot 10^5$ Па, при цьому була виконана робота $A = 1,5$ кДж. На скільки збільшився об'єм повітря?

А - на 200 м^3 ; Б - на $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; В - на $5 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$; Г - на $2 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3$.

86. В посудині знаходиться неон масою $m = 1,25$ кг. При нагріванні його температура змінилася на $\Delta t = 4$ °С. Визначити зміну внутрішньої енергії неону ΔU .

А - від 3,1 кДж до 3,2 кДж;

Б - від 3,2 кДж до 3,3 кДж;

В - від 3,3 кДж до 3,4 кДж;

Г - від 3,4 кДж до 3,5 кДж.

87. Як можна збільшити коефіцієнт корисної дії η ідеальної теплової машини?

А - збільшити температуру холодильника;

Б - збільшити температуру холодильника і зменшити температуру нагрівника;

В - зменшити температуру нагрівника;

Г - збільшити температуру нагрівника і зменшити температуру холодильника.

88. При ізохорному нагріванні газ отримав кількість теплоти $Q = 2$ кДж. На скільки збільшилася його внутрішня енергія?

А - на 0,5 кДж.

Б - на 1,5 кДж.

В - на 2 кДж.

Г - на 4 кДж.

В. - від 55 г до 60г;

Г - від 60 г до 65 г.

95. При ізобарному розширенні $m = 80$ г аргону його об'єм збільшився в 1,5 рази. Визначте зміну внутрішньої енергії аргону ΔU , якщо його початкова температура була $T_1 = 300$ К.

А - від 1,8 кДж до 2 кДж;

Б - від 2,4 кДж до 2,6 кДж;

В - від 3,6 кДж до 3,8 кДж;

Г - від 5,4 кДж до 5,7 кДж.

96. При ізобарному розширенні одноатомного ідеального газу була виконана робота $A = 12$ кДж. На скільки збільшилася при цьому внутрішня енергія газу?

А - на 36 кДж;

Б - на 18 кДж;

В - на 12 кДж;

Г - на 8 кДж.

97. Яку кількість теплоти повинне отримати повітря масою $m = 5$ г з початковою температурою $t_1 = 17$ °С, щоб при ізобарному розширенні його об'єм збільшився удвічі?

А - від 1 кДж до 1,2 кДж;

Б - від 1,3 кДж до 1,6 кДж;

В - від 1,7 кДж до 1,9 кДж;

Г - від 2 кДж до 2,3 кДж.

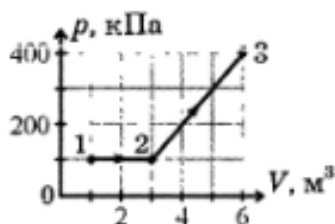
98. Мідне тіло, нагріте до $t_1 = 100$ °С, опустили у воду, маса якої дорівнювала масі цього тіла. Теплова рівновага наступила при температурі $t_2 = 30$ °С. Визначити початкову температуру води t .

А - від 12 °С до 15 °С;

Б - від 17 °С до 20 °С.

В - від 22 °С до 25 °С;

Г - від 26 °С до 28 °С.



99. При розширенні деякої маси ідеального газу об'єм збільшився на 25%, а тиск зменшився на 20%. Як змінилася внутрішня енергія газу?

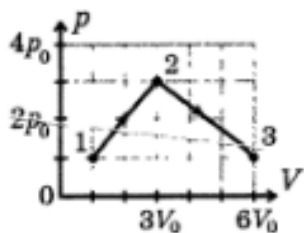
А - не змінилася;

Б - збільшилася на 5%;

В - збільшилася на 20%;

Г - збільшилася на 25%.

100. Знайдіть роботу газу А в процесі, який показаний на малюнку.



А - $2p_0V_0$; Б - $3p_0V_0$; В - $4p_0V_0$; Г - $5p_0V_0$.

101. Знайдіть роботу газу А в процесі, який показаний на малюнку.

А - 500 кДж; Б - 950 кДж; В - 1,4 МДж; Г - 2 МДж.

102. На катері встановлений двигун потужністю $N = 80$ кВт з коефіцієнтом корисної дії $\eta = 30\%$. На скільки кілометрів шляху вистачить $m = 1$ т бензину при швидкості руху $v = 20$ км/год ?

А - від 400 км до 500 км; Б - від 550 км до 650 км;
В - від 700 км до 800 км; Г - від 850 км до 950 км.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ

- В паровій турбіні витрачається $m = 250$ г дизельного палива на виробництво 1 кВт·год енергії. Температура водяної пари, яка поступає в турбіну $t_1 = 350^\circ\text{C}$, температура холодильника $t_2 = 30^\circ\text{C}$. Обчислити фактичний коефіцієнт корисної дії η турбіни та порівняти його з коефіцієнтом корисної дії η ідеальної теплової машини, яка працює при тих же умовах.
- В посудині об'ємом $V = 2$ л знаходиться газ під тиском $p = 10^6$ Па. Чому дорівнює внутрішня енергія газу U ?
- В циліндрі знаходиться $m = 12$ г гелію при температурі $t_1 = 7^\circ\text{C}$. До якої температури треба ізобарно нагріти газ, щоб ним була виконана робота $A = 2,49$ кДж? Молярна маса гелію $\mu = 4$ г/моль.
- В посудину, яка містить $m_1 = 2$ кг води, $m_2 = 200$ г льоду, впускають $m_3 = 500$ г водяної пари. Якою буде температура θ в посудині після встановлення теплової рівноваги?

5. У циліндричній посудині під поршнем з тягарем загальною масою $M = 200\text{кг}$ знаходиться $m = 2,5\text{г}$ водню при температурі $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Внутрішній діаметр посудини $d = 20\text{см}$. Визначити роботу A , яку виконує водень при його ізобарному нагріванні до $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Атмосферний тиск $p = 10^5\text{Па}$. Тертя між циліндром і поршнем відсутнє.
6. В циліндрі знаходиться $m = 125\text{г}$ гелію при температурі $t_1 = 17^\circ\text{C}$. До якої температури t_2 треба ізобаричне нагріти газ, щоб ним була виконана робота $A = 24\text{кДж}$? Молярна маса гелію $\mu = 4\text{г/моль}$.
7. Обчислити внутрішню енергію U газу в балоні об'ємом $V = 5\text{л}$ при тиску $P = 1\text{МПа}$.
8. Яку роботу виконує газ масою $m = 320\text{г}$ і молярною масою $\mu = 32\text{г/моль}$ при ізобарному нагріванні від температури $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 120^\circ\text{C}$.
9. Знайти внутрішню енергію гелію, який займає об'єм $V = 40\text{м}^3$ та створює тиск $p = 760\text{мм рт. ст.}$ Молярна маса гелію $\mu = 4\text{г/моль}$.
10. На скільки градусів Δt температура води у основи водопаду з висотою $h = 20\text{м}$ більша, ніж біля його вершини?
11. В посудині об'ємом $V = 2\text{л}$ знаходиться газ під тиском $P = 10^6\text{Па}$. Чому дорівнює внутрішня енергія газу U ?
12. Свинцева куля пробиває дерев'яну стінку, причому швидкість в момент удару об стінку була $v_1 = 360\text{м/с}$, а в момент вильоту – $v_2 = 120\text{м/с}$. Яка частина кулі розплавилась, вважаючи, що на нагрівання йде 60% втраченої механічної енергії? Початкова температура кулі 47°C .
13. Газ розширився ізобарно при тиску $p = 10^6\text{Па}$, збільшивши свій об'єм на $\Delta V = 2\text{л}$. На скільки змінилася його внутрішня енергія ΔU ?
14. Газ розширився ізобарно при тиску $P = 10^6\text{Па}$, збільшивши свій об'єм на $\Delta V = 2\text{л}$. Яку кількість теплоти Q надали газу?
15. Один моль кисню нагрівають при сталому тиску від $t = 0^\circ\text{C}$. Яку кількість теплоти Q необхідно надати газу для подвоєння його об'єму?
16. В ізобарному процесі один моль ідеального газу виконав роботу $A = 16,6\text{Дж}$. На скільки змінилася температура газу ΔT ?

17. Під час адіабатного процесу температура одного моля ідеального газу зменшилася на $\Delta T = 10$ К. Яку роботу A виконав при цьому ідеальний газ?
18. Знайти тиск P заданої кількості газу, якщо при ізобарному розширенні на $\Delta V = 2$ л його внутрішня енергія зросла на $\Delta U = 22,5$ кДж.
19. Газ нагрівають у закритій посудині так, що тиск газу зростає на $\Delta P = 10^5$ Па, а внутрішня енергія зростає на $\Delta U = 2400$ Дж. Чому дорівнює об'єм посудини V ?
20. Ідеальний газ ізобарно нагрівають так, що його об'єм збільшується в 2 рази. У скільки разів змінюється внутрішня енергія газу?
21. При ізобарному нагріванні $\nu = 10$ молів ідеального газу його температура зростає на $\Delta T = 10$ К. Яку роботу A здійснює при цьому газ?
22. При ізобарному нагріванні $m = 20$ г газу від температури $t_1 = 0$ °С до температури $t_2 = 100$ °С виконується робота $A = 8300$ Дж. Чому дорівнює молярна маса газу μ ?
23. Яку роботу виконує газ масою $m = 320$ г і молярною масою $\mu = 32$ г/моль при ізобарному нагріванні від температури $t_1 = 20$ °С до $t_2 = 120$ °С?
24. Газ міститься в балоні об'ємом $V = 0,02$ м³. Яку кількість теплоти Q треба підвести до газу, щоб його тиск збільшився на $\Delta p = 10^5$ Па?
25. Газ знаходиться в балоні об'ємом $V = 10$ л під тиском $P = 10^6$ Па при температурі $t_1 = 27$ °С. Яку кількість теплоти Q треба надати газу, щоб збільшити його температуру до $t_2 = 127$ °С?
26. Газ розширився ізобарно при тиску $P = 1,1 \cdot 10^6$ Па, збільшивши свій об'єм на $\Delta V = 3$ л. Яку кількість теплоти Q надали газу?
27. Повітря об'ємом $V = 20$ л знаходиться в циліндрі під тиском $P = 2,8 \cdot 10^4$ Па. Яку роботу A виконає повітря, якщо його ізобарно нагріти від $T_1 = 300$ К до $T_2 = 340$ К?
28. Внутрішня енергія газу, маса якого $m = 2$ г і молярна маса $\mu = 2$ г/моль, дорівнює $U = 3600$ Дж. Знайти середню кінетичну енергію теплового руху однієї молекули газу
29. Ідеальний газ нагрівають ізохорно так, що його тиск збільшується в 3 рази. У скільки разів змінюється внутрішня енергія газу?

30. На скільки зросте внутрішня енергія $m = 300$ г аргону при зміні його температури на $\Delta t = 30^\circ\text{C}$?
31. Який тиск створює одноатомний газ в об'ємі $V = 3$ л, якщо його внутрішня енергія $U = 200$ Дж?
32. В ідеальній тепловій машині за рахунок кожного кілоджоуля енергії, отриманого від нагрівача, виконується робота $A = 400$ Дж. Визначити коефіцієнт корисної дії η машини та температуру нагрівача, якщо температура холодильника $T_2 = 293\text{K}$.
33. Температура нагрівника ідеального теплового двигуна в 2 рази вища за температуру холодильника. На скільки зменшиться коефіцієнт корисної дії η двигуна, якщо температуру нагрівника зменшити в 1,4 рази, а температуру холодильника лишити без змін?
34. В ідеальному тепловому двигуні температура нагрівника в 1,5 рази вища за температуру холодильника. На скільки відсотків зросте коефіцієнт корисної дії η двигуна, якщо температуру нагрівника збільшити на 20%, а температуру холодильника залишити без змін?
35. У скільки разів зменшиться коефіцієнт корисної дії η ідеального теплового двигуна, якщо температури нагрівника і холодильника збільшити на $1/5$ початкової температури нагрівника?
36. У скільки разів збільшиться коефіцієнт корисної дії η ідеального теплового двигуна, якщо температуру нагрівника і зменшити на $1/5$ початкової температури нагрівника, а температуру холодильника залишити без змін?
37. В ідеальному тепловому двигуні абсолютна температура нагрівника в 3 рази вища, ніж температура холодильника. Нагрівник передав газу $Q_1 = 48$ кДж теплоти. Яку роботу A виконає газ?
38. Температура нагрівника ідеального двигуна $t_1 = 227^\circ\text{C}$. Знайти температуру холодильника t_2 , якщо за рахунок кожного кілоджоуля теплоти, одержаної від нагрівника, двигун виконує $A = 350$ Дж механічної роботи.

39. В результаті колового процесу газ виконав роботу $A = 1$ Дж і передав холодильнику кількість теплоти $Q = 2$ Дж. Визначити термічний коефіцієнт корисної дії η .
40. В коловому процесі газ одержав від нагрівника кількість теплоти $Q_1 = 4,1 \cdot 10^5$ кДж. Визначити роботу A газу при протіканні циклу, якщо його термічний коефіцієнт корисної дії $\eta = 20\%$
41. Ідеальний газ здійснює цикл Карно. Температура холодильника $T_2 = 300$ К. У скільки разів збільшиться коефіцієнт корисної дії η циклу, якщо температуру нагрівника підвищити з $T_1 = 400$ К до $T_2 = 600$ К?
42. Ідеальний газ здійснює цикл Карно. Температура нагрівника T_1 в 3 рази вище температури холодильника T_2 . Нагрівник передав газу кількість теплоти $Q_1 = 42$ кДж. Яку роботу A виконав газ?
43. Під час адіабатного процесу газ виконав роботу $A = 50$ Дж. На скільки змінилася його внутрішня енергія ΔU ?
44. Обчислити внутрішню енергію U газу в балоні об'ємом $V = 5$ л при тиску $p = 5$ МПа.
45. При ізотермічному розширенні ідеальний газ виконав роботу $A = 20$ Дж. Яку кількість теплоти Q надали газу?
46. Ідеальний газ нагрівають ізохорно так, що його тиск збільшується в 3 рази. У скільки разів змінюється внутрішня енергія газу?
47. Внаслідок адіабатного розширення внутрішня енергія газу змінилася на $\Delta U = -5$ Дж. Яку роботу A виконав при цьому газ?
48. При адіабатному розширенні $\nu = 2$ молів ідеального газу його температура зменшується на $\Delta T = 2$ К. Знайти роботу газу A при розширенні.
49. При нагріванні тіла на $\Delta t = 100$ °С йому надали $Q = 2$ кДж теплоти. Чому дорівнює теплоємність тіла C ?
50. При ізотермічному розширенні ідеальним газом виконана робота $A = 20$ Дж. Яка кількість теплоти Q надана газу?

51. Тепловий двигун одержує від нагрівника $Q_1=5\text{кДж}$ теплоти й віддає холодильнику $Q_2=4\text{кДж}$ теплоти. Який коефіцієнт корисної дії η двигуна?
52. Температура нагрівника ідеального двигуна в 2 рази більша за температуру холодильника. Чому дорівнює к.к.д. двигуна η ?
53. Ідеальний тепловий двигун щосекунди отримує від нагрівника $Q_1 = 7200\text{Дж}$ теплоти і віддає холодильнику $Q_2 = 6480\text{ Дж}$. Знайти коефіцієнт корисної дії η двигуна.
54. В ідеальному тепловому двигуні абсолютна температура холодильника в 2,5 рази нижча за температуру нагрівника. Чому дорівнює коефіцієнт корисної дії η двигуна?
55. Температура в циліндрі теплового двигуна становить $t_1 = 150^\circ\text{C}$, а тиск становить $p_1 = 800\text{кПа}$. Повітря ізохорне охолоджують, при цьому кінцевий тиск становить $p_2 = 200\text{кПа}$. Знайти, на скільки змінилася внутрішня енергія $m = 1\text{кг}$ повітря і його кінцеву температуру. Питома теплоємність повітря при сталому об'ємі становить $c = 0,7\text{кДж/кг К}$.
56. Один літр повітря нагрівають при незмінному об'ємі від температури $t_1 = 0^\circ\text{C}$ до температури $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Чи змінюється при цьому внутрішня енергія повітря і на скільки? Питома теплоємність повітря при сталому об'ємі становить $c = 0,7\text{кДж/кг К}$.
57. Середній тиск газу в циліндрі теплового двигуна становить $p = 1,2\text{МПа}$. Площа поршня дорівнює $S = 300\text{см}^2$, а довжина ходу $h = 50\text{см}$. На скільки змінюється внутрішня енергія газу ΔU за один хід поршня?
58. Знайти кількість теплоти, яку необхідно надати одному молу ідеального газу, щоб його температура зросла на один кельвін, якщо залежність тиску від об'єму має вигляд $P=\alpha V$.
59. Тиск газу під поршнем циліндра становить $p = 800\text{ кПа}$, а температура $t_1 = 150^\circ\text{C}$. Яку роботу виконає $\nu = 1\text{ кмоль}$ газу і яку він матиме температуру під час ізобарного нагрівання, якщо його об'єм зростає у два рази?

60. Газ розширюється один раз ізотермічно, другий раз - адіабатне. Початкові значення тиску і об'єму однакові, кінцеві значення тисків газу також однакові. В якому процесі робота газу буде більшою?
61. Гелій знаходиться в балоні об'ємом $V = 5\text{ л}$ при нормальних умовах ($t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p = 101,3\text{ кПа}$). Знайти зміну внутрішньої енергії газу та виконану ним роботу при зменшенні температури на $\Delta t = 55^{\circ}\text{C}$ в адіабатному процесі.
62. При адіабатному процесі об'єм аргону змінився від $V_1 = 20\text{ л}$ до $V_2 = 100\text{ л}$, а тиск змінився від $p_1 = 200\text{ кПа}$ до $p_2 = 13,7\text{ кПа}$. Яку роботу A виконав аргон у цьому процесі?
63. В адіабатному процесі гелій масою $m = 2\text{ кг}$ виконав роботу $A = 125\text{ кДж}$. На скільки змінилася його температура?
64. Куля масою $m = 10\text{ г}$ пробиває закріплену дошку. При цьому її швидкість зменшується від $v_1 = 400\text{ м/с}$ до $v_2 = 300\text{ м/с}$. Вважаючи, що 50% енергії одержує куля (тобто коефіцієнт корисної дії $\eta = 50\%$), знайти зміну її внутрішньої енергії ΔU .
65. У радіатор автомобіля влили $V_1 = 2\text{ л}$ води при температурі $t_1 = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а потім долили ще $V_2 = 4\text{ л}$ води при температурі $t_1 = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знайти температуру суміші θ після встановлення теплової рівноваги.
66. Змішали $V_1 = 0,4\text{ м}^3$ води при температурі $t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $V_2 = 0,1\text{ м}^3$ води при температурі $t_2 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знайти температуру суміші θ після встановлення теплової рівноваги.
67. В калориметрі змішали 1кг, 2кг, 3кг, 4кг та 2кг води, що мають температури $t_1 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_3 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t_4 = 80^{\circ}\text{C}$ та $t_5 = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$. Знайти температуру суміші θ після встановлення теплової рівноваги.
68. В якому співвідношенні треба змішати дві маси води, температури яких становлять $t_1 = 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $t_2 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, щоб суміш мала температуру $\theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$?
69. В латунний калориметр, маса якого $m_1 = 200\text{ г}$, влили $m_2 = 400\text{ г}$ води при температурі $t_1 = 17^{\circ}\text{C}$, і вкинули $m_3 = 600\text{ г}$ срібла при температурі $t_3 = 85^{\circ}\text{C}$. Після

встановлення теплової рівноваги в калориметрі температура стала рівною $\theta = 22^\circ\text{C}$. Знайти питому теплоємність срібла.

70. Щоб нагріти $m_1 = 100\text{г}$ свинцю від $t_1 = 15^\circ\text{C}$ до $t_2 = 35^\circ\text{C}$, потрібно $Q = 260\text{ Дж}$ тепла. Знайти питому теплоємність c , теплоємність C , та молярну свинцю c_μ .
71. Ідеальний тепловий двигун дістає від нагрівника щосекунди $Q_1 = 7200\text{кДж}$ теплоти і віддає холодильнику $Q_2 = 6400\text{ кДж}$. Знайти коефіцієнт корисної дії η двигуна.
72. Знайти коефіцієнт корисної дії η ідеальної теплової турбіни, коли пара надходить у турбіну, маючи температуру $t_1 = 480^\circ\text{C}$, а залишає її при температурі $t_2 = 30^\circ\text{C}$.
73. В ідеальному тепловому двигуні абсолютна температура нагрівника в три рази вища, ніж температура холодильника. Нагрівник передав газу $Q_1 = 40\text{кДж}$ теплоти. Яку роботу виконав газ?
74. Температура нагрівника $t_1 = 150^\circ\text{C}$, а температура холодильника $t_2 = 20^\circ\text{C}$. Від нагрівника отримали $Q = 0,1\text{МДж}$ тепла. Яку роботу A виконала тепла машина, якщо вважати її ідеальною?
75. Знайти потужність N двигуна автомобіля, коли витрати бензину становлять $V = 38\text{л}$ на 100 км шляху за умови, що середня швидкість руху автомобіля дорівнює $v = 35\text{ км/год}$. Коефіцієнт корисної дії двигуна прийняти рівним $\eta = 22,5\%$.
76. Потужність двигуна автомобіля становить $N = 50\text{кВт}$. Знайти витрати бензину за одну годину руху, якщо коефіцієнт корисної дії η двигуна прийняти рівним $\eta = 25\%$.
77. Під час пострілу з гармати згоряє $m_1 = 200\text{кг}$ пороху. Снаряд має масу $m_2 = 500\text{кг}$ і початкову швидкість $v = 800\text{м/с}$. Знайти коефіцієнт корисної дії η гармати, якщо питома теплота згоряння пороху становить $q = 3,2\text{МДж/кг}$.
78. Температура нагрівника $t_1 = 227^\circ\text{C}$. Знайти коефіцієнт корисної дії η ідеального теплового двигуна і температуру холодильника, якщо за рахунок кожного кі-

лоджоуля теплоти, отриманого від нагрівника, двигун виконав $A = 35$ Дж механічної роботи.

79. Скільки води, яка має температуру $t_1 = 20^\circ\text{C}$, можна перетворити на лід за рахунок випаровування $m = 120\text{г}$ аміаку, якщо коефіцієнт корисної дії холодильної установки $\eta = 50\%$? Питома теплота випаровування аміаку $r = 1,2\text{МДж/кг}$.
80. В склянку, де знаходиться $m_1 = 100\text{г}$ води з температурою $t_1 = 10^\circ\text{C}$ вкинули $m_2 = 40\text{г}$ льоду при температурі $t_2 = -10^\circ\text{C}$. Що буде міститися у склянці після встановлення теплової рівноваги? Втратами теплоти знехтувати.
81. Водяну стоградусну пару впустили в калориметр, де знаходиться шматок льоду, маса якого $m_1 = 5\text{кг}$, а температура $t_1 = -50^\circ\text{C}$. Визначити масу впущеної водяної пари m_2 , якщо шматок льоду розплавився.
82. При температурі $t_1 = 0^\circ\text{C}$ ґрунт покритий шаром снігу завтовшки $h_1 = 10\text{см}$, густина якого 500кг/м^3 . Якої товщини шар h_2 дощової води з температурою $t_2 = 4^\circ\text{C}$ розплавить увесь шар снігу?
83. На скільки зросте внутрішня енергія U аргону масою $m = 300\text{г}$ при зміні його температури на $\Delta t = 30^\circ\text{C}$?
84. Знайти внутрішню енергію U гелію, який має об'єм $V = 40\text{ м}^3$ та тиск $p = 760$ мм. рт. ст.
85. Який тиск створює одноатомний газ в об'ємі $V = 3\text{л}$, якщо його внутрішня енергія $U = 200\text{Дж}$?
86. В вертикально розташованому циліндрі з площею основи $S = 100\text{см}^2$ під поршнем масою $m = 8\text{ кг}$, який ковзає без тертя, міститься повітря. Під час ізобарного нагрівання повітря поршень піднявся на $\Delta h = 15\text{ см}$. Яку роботу виконало повітря, якщо зовнішній тиск складав $p = 750\text{ мм.рт.ст}$?
87. Яку роботу виконав водень масою $m = 300\text{г}$ при ізобарному нагріванні на $\Delta t = 20^\circ\text{C}$?
88. Яка частина кількості теплоти, наданої одноатомному газу при ізобарному процесі, йде на збільшення внутрішньої енергії і яка частина – на виконання роботи?

89. Об'єм кисню масою $m = 480\text{г}$, температура якого $t = 27^\circ\text{C}$, під час нагрівання збільшився вдвічі. Знайти роботу газу при розширенні, кількість теплоти, яка пішла на нагрівання кисню, зміну внутрішньої енергії.
90. В закритій посудині міститься азот масою $m_1 = 250\text{г}$ та кисень $m_2 = 350\text{г}$. Знайти зміну внутрішньої енергії при охолодженні суміші на $\Delta t = 35^\circ\text{C}$.
91. В циліндрі під невагомим поршнем знаходиться повітря, маса якого $m = 3\text{кг}$. При сталому тиску температура повітря зростає на $\Delta T = 100\text{К}$. Яку роботу виконав газ при розширенні? Густина повітря при н.у. $1,3\text{ кг/м}^3$.
92. В тепло ізольованому циліндрі з поршнем міститься масою $m = 200\text{ г}$ при температурі $t = 20^\circ\text{C}$. При розширенні азот виконав роботу $A = 4470\text{Дж}$. Знайти зміну внутрішньої енергії азоту та його температури після розширення. $c_v = 745\text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$.
93. У циліндричній посудині під поршнем з тягарем загальною масою $M = 200\text{кг}$ знаходиться $m = 2,5\text{г}$ водню при температурі $t_1 = 27^\circ\text{C}$. Внутрішній діаметр посудини $d = 20\text{см}$. Визначити роботу A , яку виконує водень при його ізобарному нагріванні до $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Атмосферний тиск $p = 10^5\text{ Па}$. Тертя між циліндром і поршнем відсутнє.
94. Маса $m = 10\text{г}$ кисню знаходиться під тиском $P = 3 \cdot 10^5\text{ Па}$ при температурі $t = 10^\circ\text{C}$. Після нагрівання при постійному тиску газ зайняв об'єм $V = 10\text{л}$. Визначити кількість теплоти Q , яку одержав газ, зміну внутрішньої енергії газу і роботу, виконану газом при розширенні.

ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ.

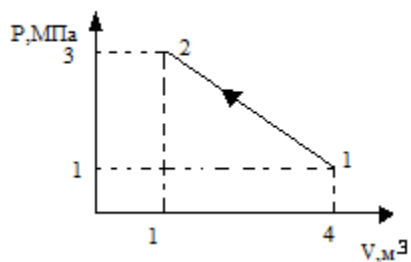
1. Кисень масою $m = 2\text{кг}$ займає об'єм $V_1 = 1\text{м}^3$ й знаходиться під тиском $p_1 = 0,2\text{ МПа}$. Газ спочатку нагріли при сталому тиску до об'єму $V_2 = 3\text{м}^3$, а потім при сталому об'ємі до тиску $p_2 = 0,5\text{ МПа}$. Знайти: 1) зміну внутрішньої енергії ΔU , 2) виконану ним роботу A , 3) кількість теплоти Q , наданої газу. Побудувати графік процесу.

2. В посудину, яка містить $m_1 = 2\text{кг}$ води, $m_2 = 200\text{г}$ льоду, впускають $m_3 = 500\text{г}$ водяної пари. Якою буде температура T в посудині після встановлення теплової рівноваги?
3. В посудину помістили лід масою $m_1 = 10\text{ кг}$ при температурі $t_1 = -20\text{ }^\circ\text{C}$. Знайдіть масу води в посудині після того, як його вмісту передали кількість теплоти $Q = 2\text{МДж}$.
4. У вертикальному циліндрі під важким поршнем знаходиться кисень масою $m = 2\text{кг}$. Знайдіть збільшення внутрішньої енергії кисню при підвищенні його температури на $\Delta T = 5\text{ К}$ і отриману газом кількість теплоти
5. В посудину, що містить $m_1 = 2\text{ кг}$ води при температурі $t_1 = 10\text{ }^\circ\text{C}$, помістили лід, температура якого $t_2 = -50\text{ }^\circ\text{C}$, після чого в посудині встановилася температура $t_2 = -4\text{ }^\circ\text{C}$. Якою була маса льоду?
6. Нагрівник, який розвиває потужність $N = 30\text{ кВт}$, охолоджується проточною водою, яка тече по спіральній трубці з площею поперечного перетину $S = 1\text{ см}^2$. В сталому режимі проточна вода нагрівається на $\Delta t = 15\text{ }^\circ\text{C}$. Визначити швидкість руху води по трубці.
7. Двигун моторолера розвиває потужність $N = 3,3\text{ кВт}$ при швидкості $v = 58\text{ км/год}$. Скільки кілометрів проїде моторолер, витративши $V = 3,2\text{ л}$ бензину, якщо коефіцієнт корисної дії двигуна складає $\eta = 20\%$?
8. Свинцева куля пробиває дерев'яну стінку, причому швидкість в момент удару об стінку була $v_1 = 400\text{ м/с}$, а в момент вильоту – $v_2 = 100\text{ м/с}$. Яка частина кулі розплавилась, вважаючи, що початкова температура кулі $t = 67^\circ\text{C}$, а на нагрівання йде 60% втраченої механічної енергії, тобто коефіцієнт корисної дії $\eta = 60\%$?
9. В циліндрі об'ємом $V_1 = 190\text{ см}^3$ під поршнем знаходиться газ, що має температуру $T = 323\text{ К}$. Знайти роботу розширення газу при його нагріванні на $\Delta T = 100\text{ К}$, якщо маса поршня $m = 120\text{ кг}$, площа поршня $S = 100\text{ см}^2$ і атмосферний тиск $P_0 = 1.01 \cdot 10^5\text{ Па}$.

10. Маса $m=10\text{г}$ кисню знаходиться під тиском $P = 3 \cdot 10^5 \text{ Па}$ при температурі $t_1 = 10^\circ\text{C}$. Після нагрівання при постійному тиску газ зайняв об'єм $V = 10\text{л}$. Визначити кількість теплоти Q , яку одержав газ, а також зміну внутрішньої енергії газу ΔU і роботу A , виконану газом при розширенні.
11. Знайти коефіцієнт корисної дії η тракторного двигуна, який розвиває потужність $N = 110\text{кВт}$ та витрачає за годину $m = 25\text{кг}$ дизельного палива.
12. Тіло масою 1кг зісковзує з похилої площини довжиною $l = 21\text{м}$, яка утворює з горизонтом кут $\alpha = 30^\circ$. Швидкість тіла у основи похилої площини дорівнює $v = 4,1 \text{ м/с}$. Обчислити кількість теплоти Q , яка виділилась під час тертя, вважаючи початкову швидкість тіла рівною нулю.
13. Яка частина кількості теплоти, наданої одноатомному газу при ізобарному процесі, йде на збільшення внутрішньої енергії, і яка частина – на виконання роботи?
14. Об'єм $m = 480 \text{ г}$ кисню, температура якого $t_1 = 27^\circ\text{C}$, під час нагрівання збільшився вдвічі. Знайти роботу газу A при розширенні, кількість теплоти Q , яка пішла на нагрівання кисню, зміну внутрішньої енергії ΔU .
15. В закритій посудині міститься $m_1 = 250\text{г}$ азоту та $m_2 = 350\text{г}$ кисню. Знайти зміну внутрішньої енергії при охолодженні суміші на $\Delta t = 35^\circ\text{C}$.
16. До якої температури слід нагріти залізний кубик, щоб він повністю занурився у лід, температура якого $t = 0^\circ\text{C}$?
17. В латунний калориметр масою $m_1 = 200 \text{ г}$ влили $m_2 = 400\text{г}$ води при $t_1 = 17^\circ\text{C}$ та опустили тіло із срібла при $t_2 = 85^\circ\text{C}$. Вода нагрілась до температури $T = 22^\circ\text{C}$. Визначити питому теплоємність срібла.
18. В вертикально розташованому циліндрі з площею основи $S = 100 \text{ см}^2$ під поршнем масою $m = 5\text{кг}$, який ковзає без тертя, міститься повітря. Під час ізобарного нагрівання повітря поршень піднявся на $h = 12 \text{ см}$. Яку роботу виконало повітря, якщо зовнішній тиск складав $P = 750 \text{ мм.рт.ст}$?
19. В циліндрі об'ємом $V_1 = 190 \text{ см}^3$ під поршнем знаходиться газ, що має температуру $T_1 = 323 \text{ К}$. Знайти роботу розширення газу при його нагріванні на ΔT

$=100\text{ K}$, якщо маса поршня $m=120\text{ кг}$, площа поршня $S=120\text{ см}^2$ і атмосферний тиск $p=1,01\cdot 10^6\text{ Па}$.

20. В циліндрі під невагомим поршнем знаходиться повітря, маса якого $m=3\text{ кг}$. Температура повітря збільшується на $\Delta T=100\text{ K}$ при сталому тиску. Чому дорівнює робота A , виконана газом при розширенні? Густина повітря за нормальних умов $\rho=1,3\text{ кг/м}^3$.
21. Визначити молярну масу μ газу, один моль якого має внутрішню енергію $U=3500\text{ Дж}$ при середній квадратичній швидкості молекул. $\langle v \rangle_{\text{кв}}=500\text{ м/с}$.
22. Яка кількість молекул N газу з молярною масою $\mu=4\text{ г/моль}$ знаходиться в посудині, якщо їх середня квадратична швидкість дорівнює $\langle v \rangle_{\text{кв}}=1000\text{ м/с}$ і внутрішня енергія газу становить $U=10\text{ кДж}$?
23. Різниця питомих теплоємностей для деякого газу $C_p - C_v=189\text{ Дж/кг}\cdot\text{K}$. Визначити, який це газ.
24. У теплоізованому циліндрі з поршнем знаходиться азот при температурі $t_1=20^\circ\text{C}$. Маса азоту $m=0,2\text{ кг}$. Азот, розширюючись, виконує роботу $A=4470\text{ Дж}$. Знайти зміну внутрішньої енергії азоту і його температуру t_2 після розширення. Питома теплоємність азоту при сталому об'ємі $C_v=745\text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$.
25. Для підвищення температури газу на $\Delta T=50\text{ K}$ при сталому тиску необхідно затратити кількість теплоти $Q_p=0,5\text{ МДж}$. Маса газу $m=20\text{ кг}$, молярна маса $\mu=0,028\text{ кг/моль}$. Яку кількість теплоти Q_v необхідно відвести від цього газу при сталому об'ємі, щоб його температура знизилася на $\Delta T=50\text{ K}$?
26. Температура $m=1\text{ кг}$ води підвищується на $\Delta T=1\text{ K}$. Обчислити збільшення внутрішньої енергії однієї молекули. Питома теплоємність води $c=4200\text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$, молярна маса $\mu=0,018\text{ кг/моль}$.
27. Один моль кисню нагрівається при сталому об'ємі від температури $t_1=0^\circ\text{C}$. Яку кількість теплоти необхідно надати кисню, щоб його тиск збільшився в 3 рази? Питома теплоємність кисню при сталому об'ємі $C_v=657\text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$.
28. Яка кількість теплоти Q потрібна для того, щоб повітря масою $m=5\text{ г}$ від температури $T_1=290\text{ K}$ нагріти при сталому тиску настільки, щоб його об'єм V_1 збі-

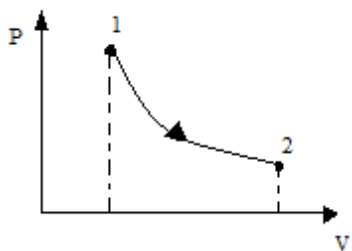


льшився в 2 рази? Питома теплоємність повітря при сталому тиску $C_p = 1018 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

29. Тиск азоту, що знаходиться в посудині об'ємом $V = 3 \text{ л}$, після нагрівання зріс на $\Delta p = 2,2 \text{ МПа}$.

Визначити кількість теплоти Q , надану газу. Питома теплоємність азоту при сталому об'ємі $C_v = 745 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$, його молярна маса $\mu = 0,028 \text{ кг/моль}$.

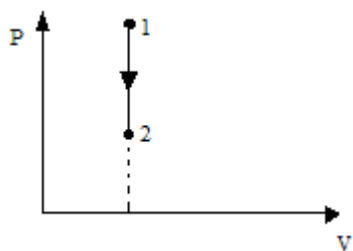
30. Дві порожнисті металеві кулі мають однакові розміри й однакові маси. Одна з них порожня, а інша заповнена киснем під тиском $P = 2 \text{ МПа}$. Внутрішні радіуси куль $r = 10 \text{ см}$. Кулі розташовують в камері, через яку йде потік насиченої пари води при температурі $t = 100^\circ \text{C}$. Після того, як температура пари і куль вирівнялася, виявилось, що на порожній кулі сконденсувалося $m_1 = 10 \text{ г}$ води, а на кулі з киснем $m_2 = 12,33 \text{ г}$. Початкова температура куль $t_1 = 27^\circ \text{C}$. Питома теплота пароутворення води $r = 2250 \text{ кДж/кг}$. Знайти питому теплоємність кисню. Зміною об'єму куль при нагріванні знехтувати.
31. Ідеальний газ в циклі Карно $2/3$ кількості теплоти Q_1 , отриманої від нагрівника, віддає холодильнику. Температура холодильника $T_2 = 280 \text{ К}$. Визначити температуру нагрівника T_1 .
32. Ідеальний газ здійснює цикл Карно. Температура нагрівника $T_1 = 740 \text{ К}$, температура холодильника $T_2 = 280 \text{ К}$. При ізотермічному розширенні газ виконує роботу $A = 100 \text{ Дж}$. Визначити термічний коефіцієнт корисної дії η циклу, а також кількість теплоти Q_2 , що віддається газом холодильнику при ізотермічному стисненні.
33. В посудину, яка містить $2,8 \text{ кг}$ води при 20°C , кидають сталеву деталь, яка віддає $4,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ енергії. Вода нагрівається до 100°C і частково випаровується. Знайдіть масу води, яка перетворилася на пару. Теплоємністю посудини можна нехтувати.
34. Алюмінієвий калориметр масою $m_1 = 50 \text{ г}$ містить $m_2 = 250 \text{ г}$ води при $t_1 = 16^\circ \text{C}$. Яку кількість водяної пари при температурі $t_2 = 100^\circ \text{C}$ потрібно ввести в калориметр, щоб температура води в ньому підвищилася до $\theta = 90^\circ \text{C}$?



35. Ідеальний газ чинить перехід із стану 1 у стан 2 (див. рисунок). Визначити роботу газу над навколишніми тілами. Яка це величина — додатна чи від'ємна?

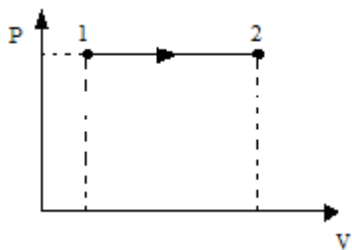
36. При ізотермічного розширенні газ учинив роботу $A = 24 \text{ МДж}$. Яка кількість тепла Q знадобилася для цього?

37. Графік процесу 1-2 (див. рисунок), що відбувається з ідеальним газом, являє собою гіперболу. Як змінилася внутрішня енергія газу в процесі? Чи підводилося тепло до газу в ході процесу?



38. Ідеальний газ учинив перехід із стану 1 у стан 2 (див. рисунок). Запишіть рівняння першого закону термодинаміки для цього процесу. Як змінилася внутрішня енергія газу: зменшилася чи збільшилася?

39. Ідеальний газ учинив перехід із стану 1 у стан 2 (див. рисунок). Запишіть рівняння першого закону термодинаміки для цього процесу. Підводилося тепло до газу чи виділялося в ході процесу? Як змінилася внутрішня енергія газу в процесі: зменшилася чи збільшилася?

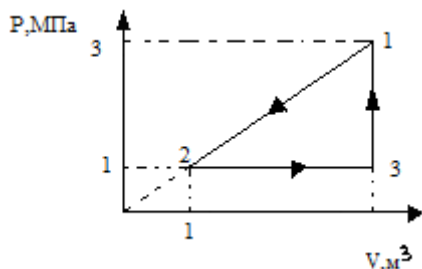


40. Для ізобарного нагрівання $\nu = 800$ моль ідеального газу на $\Delta T = 500 \text{ К}$ до нього підвели $Q = 9,4 \text{ МДж}$ теплоти. Визначить роботу газу A та зміну його внутрішньої енергії ΔU .

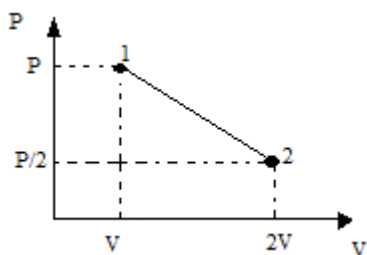
41. При роботі теплового двигуна ним було отримано від нагрівача $Q = 9 \text{ кДж}$ теплоти й 70% цієї теплоти віддано холодильнику. Визначить роботу A , виконану двигуном, та його коефіцієнт корисної дії η .

42. Якою повинна бути температура нагрівача ідеального теплового двигуна, щоб його коефіцієнт корисної дії становив $\eta = 80\%$ при температурі холодильника $T = 300 \text{ К}$?

43. На рисунку подано графік процесу, що чиниться ідеальним газом. На яких ділянках процесу газ одержує теплоту, а на яких — віддає? Чому дорівнює робота циклу? Який знак цієї роботи, що він означає?



44. У процесі ізобарного нагрівання ідеальний газ виконав роботу $A = 12 \text{ Дж}$. Яка кількість теплоти Q підведена до газу?
45. Знайдіть зміну внутрішньої енергії $\nu = 1$ моль ідеального газу, що розширюється ізобарно від об'єму $V_1 = 10 \text{ л}$ до об'єму $V_2 = 20 \text{ л}$ при тиску $p = 5 \cdot 10^5 \text{ Па}$.
46. В ізотермічному процесі газ виконав роботу $A_1 = 500 \text{ Дж}$. На скільки збільшиться його внутрішня енергія ΔU_2 , якщо йому надати кількість теплоти вдвічі більшу, ніж у першому процесі ($Q_2 = 2Q_1$), а процес проводити ізохорне?
47. Деяку кількість ідеального газу нагрівають при постійному тиску $P = 10^4 \text{ Па}$ від температури $T_1 = 300 \text{ К}$ до температури $T_2 = 400 \text{ К}$ (див. рисунок). Яку роботу виконає газ у цьому процесі, якщо його початковий об'єм $V_1 = 30 \text{ л}$?
48. Визначить кількість теплоти, що була підведена до газу в процесі 1-2. (див. рисунок).
49. Один моль ідеального газу зі стану з температурою $T_1 = 100 \text{ К}$ спочатку розширюється ізобарно. Потім він ізохорне переходить у стан із початковою температурою. У скільки разів змінився об'єм газу, якщо для переведення газу з початкового стану в кінцевий до нього було підведено кількість теплоти $Q = 1662 \text{ Дж}$?
50. Обчисліть роботу гелію масою $m = 0,2 \text{ кг}$ у процесі його адіабатного розширення, якщо при цьому він охолонув від $T_1 = 300 \text{ К}$ до $T_2 = 268 \text{ К}$. Молярна маса гелію $M = 4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$.

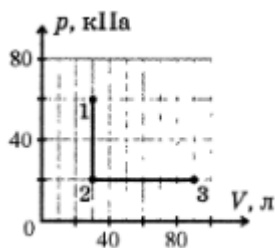
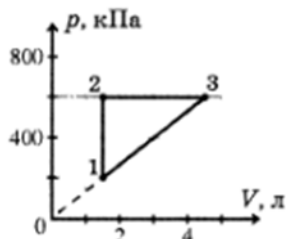


51. В циліндрі під важким поршнем знаходиться $m = 40$ г вуглекислого газу. Визначити роботу газу під час нагрівання від температури $t_1 = 10$ °C до $t_2 = 98$ °C. Молярна маса газу $\mu = 44$ г/моль, універсальна газова стала $R = 8,314$ Дж/моль К
52. Під час ізобарного розширення газом виконана робота A . Визначити зміну температури газу, якщо спочатку газ при тиску P_1 та температурі T_1 займав об'єм V_1 .
53. У двох вертикальних циліндрах знаходяться при однакових температурах дві рівні маси газу. Рухомий поршень першого циліндра вдвічі важчий, аніж поршень другого. Обидва циліндра нагріли до однакової температури. В першому циліндрі газ виконав роботу рівну $A = 500$ Дж. Яку роботу виконав газ у другому циліндрі?
54. Кисень масою $m = 0,3$ кг з початковою температурою $T_1 = 320$ К охолоді ізохорне, при цьому його тиск зменшився в три рази. Потім газ ізобарно нагріли до початкової температури. Молярна маса кисню $\mu = 32$ г/моль, універсальна газова стала $R = 8,314$ Дж/моль К. Визначте роботу A газу.
55. В циліндрі компресора адіабатне стискають чотири моля ідеального одноатомного газу. Визначити зміну температури газу за один хід поршня, якщо при цьому виконується робота $A = 500$ Дж. Універсальна газова стала $R = 8,314$ Дж/моль К
56. Ідеальний одноатомний газ розширюється за законом $p = k \cdot V$, де k - деяка стала. Визначити роботу, виконану газом при збільшенні об'єму від V_1 до V_2 .
57. Визначити питому теплоємність гелію під час ізобарного процесу. Молярна маса гелію $\mu = 4 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Універсальна газова стала $R = 8,314$ Дж/моль · К
58. У вертикальному циліндрі під важким поршнем знаходиться кисень масою $m = 2$ кг. Для підвищення температури кисню на $\Delta T = 5$ К йому було надана кількість теплоти в кількості 9160 кДж. Визначити питому теплоємність кисню. Молярна маса кисню $\mu = 16 \cdot 10^{-3}$ кг/моль. Універсальна газова стала $R = 8,314$ Дж/моль
59. Під час розширення газ виконав роботу $A = P_1 V_1 - P_2 V_2$. Визначити молярну теплоємність газу в цьому процесі.

60. В посудині ємністю $V = 2$ л міститься гелій під тиском $P_1 = 1$ МПа. Стінки посудини можуть витримати максимальний тиск $P_2 = 1$ МПа. Яку найбільшу кількість теплоти можна надати газу, щоб посудина не розірвалася?
61. Яка кількість теплоти виділяється під час ізобарного охолодження $m = 0,1$ кг гелію від температури $t_1 = 200$ °С до $t_2 = 27$ °С. Молярна маса газу $\mu = 4$ г/моль, універсальна газова стала $R = 8,314$ Дж/моль К.
62. В вертикальному циліндрі під поршнем площею поперечного перерізу S масою m міститься один моль ідеального газу. Газ нагрівається нагрівачем потужністю N . Визначити швидкість руху поршня. Тертя відсутнє.
63. Нагріте до $t = 100$ °С тіло опустили в посудину з водою, при цьому температура води підвищилася з $t_1 = 20$ °С до $t_2 = 30$ °С. Якою стане температура води, якщо в неї занурити ще одне тіло, нагріте до $t_3 = 80$ °С? Втратами знехтувати.
64. В склянці міститься $v = 250$ мл води. Занурений у воду термометр показав $t = 78$ °С. Яка дійсна температура води, якщо теплоємність термометра $C = 20$ Дж/К, а до занурення в воду він показував $t_0 = 20$ °С.
65. В латунний калориметр масою $m_1 = 200$ г влили $m_2 = 400$ г води при $t_1 = 17$ °С та опустили тіло із срібла при $t_2 = 85$ °С. Вода нагрілась до температури $t_2 = 22$ °С. Визначити питому теплоємність срібла.
66. В ванну налили $V = 80$ л при температурі $t_1 = 10$ °С. Скільки води при $t_2 = 100$ °С треба додати в ванну, щоб температура суміші склала $t = 25$ °С?
67. Скільки потрібно кам'яного вугілля потрібно, аби розплавити $m = 1,5$ т заліза, взятого при $t_1 = 20$ °С? Теплова віддача вагранки складає 60%.
68. В посудині міститься суміш з $m_1 = 200$ г води та $m_2 = 150$ г льоду. Яка буде температура суміші T , якщо в посудину впустити $m_3 = 25$ г стоградусної водяної пари?
69. В посудині, з якої швидко викачують повітря, міститься $m = 200$ г води при $t = 0$ °С. Внаслідок випарування відбувається замороження води. Яка частина початкової маси перетворилася в лід?
70. Космонавт, перебуваючи на поверхні Місяця, відкрив посудину з водою. Опишіть поведінку води.

71. В каструлю налили холодної води при $t = 10^\circ\text{C}$ та поставили на плитку. Через 10 хвилин вода закипіла. Через який час вона випарується?

ВИСОКИЙ РІВЕНЬ



- На рисунку показаний циклічний процес з ідеальним одноатомним газом. Визначте коефіцієнт корисної дії η такого циклу.
- Яку кількість теплоти Q отримав ідеальний одноатомний газ в ході процесу, показаного на рисунку?
- У вертикальному циліндрі під поршнем масою $m = 1$ кг і площею $S = 50$ см² знаходиться аргон об'ємом $V = 10$ л при температурі $T_1 = 273$ К. Яку кількість теплоти Q потрібно для нагрівання аргону до $T_2 = 300$ К, якщо атмосферний тиск $p = 98$ кПа? Тертя не враховувати.
- Температура газів, які виходять при згорянні палива в циліндрах двигуна автомобіля, дорівнює $t_1 = 800$ °С. Температура вихлопних газів $t_2 = 80$ °С. Витрата бензину на $s = 100$ км шляху при швидкості $v = 90$ км/год складає $V = 10$ л. Яку потужність N міг би розвинути двигун, якби він був ідеальною тепловою машиною, що працює з максимально можливим коефіцієнтом корисної дії?
- Наведіть приклад процесу, при якому газ одержує теплоту, а його температура зменшується. Обґрунтуйте свою відповідь
- В циліндрі під поршнем знаходиться газ, стан якого міняється в такий спосіб: (1-2) збільшується тиск при сталому об'ємі V , (2-3) збільшується об'єм при сталому тиску P_1 , (3-4) збільшується об'єм при сталій температурі T_3 (4-1) газ повертається в початковий стан при сталому тиску P_2 . Зобразити в координатах P, V ; P, T і V, T графіки зміни стану газу й показати, при яких процесах газ отримує теплоту, при яких віддає. Як при цьому змінюється температура і яка виконується робота?

7. Сфера, наповнена сухим повітрям при температурі $t = 0^\circ\text{C}$ и тиску $p_1 = 99,4$ кПа, урівноважена на вагах. Коли тиск повітря в сфері зменшили до $p_2 = 1$ кПа, то для рівноваги довелось покласти на чашку терезів вантаж масою $m = 37$ г. Визначити об'єм V порожнини сфери. Густина повітря при температурі $t = 0^\circ\text{C}$ і тиску $P_0 = 1,01 \cdot 10^6$ Па дорівнює $\rho = 1,29$ кг/м³.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

8. Обчислити відношення $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ для суміші двох молів гелію і трьох молів азоту.
9. В циліндрі знаходиться $m = 12$ г гелію при температурі $t_1 = 1^\circ\text{C}$. До якої температури треба ізобарно нагріти газ, щоб ним була виконана робота $A = 2,49$ кДж? Молярна маса гелію $\mu = 4$ г/моль.
10. Відношення молярних теплоємностей суміші двох газів $\gamma = 1,38$. Визначити масу m_1 азоту в суміші, якщо відомо, що маса метану в ній $m_2 = 8$ г. Молекули газів вважати жорсткими.
11. Повітря можна вважати сумішшю 76% азоту, 23% кисню та 1% аргону. Визначити питомі теплоємності C_p й C_v повітря та їхнє відношення γ .
12. При нагріванні балона, в якому міститься $m = 1$ кг невідомого газу, на $\Delta T = 1$ К при сталому об'ємі витрачається $Q_1 = 700,8$ Дж теплоти, а при сталому тиску - $Q_2 = 959,8$ Дж. Встановити, який це газ.
13. У вертикальному циліндрі під важким поршнем знаходиться кисень, маса якого $m = 1$ кг. Для підвищення температури кисню на $\Delta T = 5$ К йому була надана кількість теплоти $Q = 9160$ Дж. Знайти питому теплоємність кисню, роботу A , виконану ним при розширенні, і збільшення його внутрішньої енергії ΔU .
14. У посудині з теплонепроникними стінками об'ємом $V = 3,6$ л знаходиться кисень при температурі $t_1 = 66^\circ\text{C}$ и тиску $p_1 = 0,25$ МПа. Для нагрівання газу до температури $t_2 = 68^\circ\text{C}$ йому потрібно передати теплоту $Q = 21$ Дж. Яка питома теплоємність кисню за цих умов? Теплоємністю й тепловим розширенням посудини знехтувати.
15. Температура газу, маса якого m , молярна маса μ , підвищується на величину ΔT один раз при сталому тиску p , а інший раз при сталому об'ємі V . На скільки від-

різняються одна від одної кількості наданих газу теплоти Q_p і Q_v й питомі теплоємності C_p і C_v у першому й у другому випадках?

16. Ідеальний двоатомний газ в кількості $\nu = 1$ моль здійснює цикл, що складається із двох ізохор і двох ізобар. Найменший об'єм $V_{\min} = 10$ л, найбільший об'єм $V_{\max} = 20$ л, найменший тиск $P_{\min} = 2,46 \cdot 10^5$ Па, найбільший тиск $P_{\max} = 4,1 \cdot 10^5$ Па. Зобразити графік циклу. Визначити температуру газу для характерних точок циклу і його термічний коефіцієнт корисної дії η .
17. Ідеальний двоатомний газ в кількості $\nu = 1$ моль знаходиться під тиском $P_1 = 0,1$ МПа при температурі $T_1 = 300$ К. Газ спочатку нагрівається при сталому об'ємі до тиску $P_2 = 0,2$ МПа. Потім газ ізотермічно розширюється до початкового тиску, а потім ізобарне стискається до початкового об'єму. Зобразити графік циклу. Визначити температуру газу для характерних точок циклу і його термічний коефіцієнт корисної дії η .
18. Одноатомний газ в кількості $\nu = 0,1$ кмоль, перебуваючи під тиском $p_1 = 10^5$ Па, займав об'єм $V_1 = 10$ м³. Газ стиснули ізобарне до об'єму $V_2 = 1$ м³, потім стиснули адіабатне. Після цього газ розширився при сталій температурі до початкових об'єму й тиску. Зобразити графік процесу. Знайти: температури T_1, T_2 , об'єми V_2, V_3 і тиск p_3 , що відповідають характерним точкам циклу; роботу A , виконану газом за весь цикл; коефіцієнт корисної дії η циклу.
19. Ідеальний багатоатомний газ здійснює цикл, що складається із двох ізохор і двох ізобар, причому максимальний тиск газу в 2 рази більше мінімального, а максимальний об'єм в 4 рази більше мінімального. Визначити термічний коефіцієнт корисної дії η циклу.
20. Змішали $V_1 = 1$ м³ повітря з вологістю 20% і $V_2 = 2$ м³ повітря з вологістю 30%. При цьому обидві порції були узяті при однаковій температурі. Суміш займає об'єм $V_3 = 3$ м³. Визначте відносну вологість повітря після змішування.
21. В посудині об'ємом $V_1 = 44,8$ л знаходяться $\nu_1 = 2$ моль водню і $\nu_2 = 1$ моль кисню при температурі $T_1 = 373$ К. Який тиск встановиться в посудині після того,

як водень і кисень прореагують, а посудина остигне до початкової температури?

22. На електроплитці потужністю $N = 600$ Вт з коефіцієнтом корисної дії $\eta = 45\%$ нагрівали до кипіння $V = 1,5$ л води, узятій при $t_1 = 10$ °С, при цьому 5% води перетворилося на пару. Скільки часу тривало нагрівання?
23. Горизонтальне дротяне кільце масою $m = 2$ г і радіусом $r = 5$ см торкається поверхні води. Яку силу потрібно прикласти до нього, щоб відірвати його від води? Температура води $t_1 = 20$ °С, вода змочує дріт.
24. Яку роботу необхідно виконати, щоб краплю води радіусом $r = 1$ мм розділити на $N = 1000$ маленьких однакових крапельок?
25. Сто однакових крапель ртуті, що мають радіус $r = 0,3$ мм, злилися в одну велику краплю. Як при цьому змінилася температура краплі ртуті?
26. У посудину об'ємом $V = 6$ см³ падають краплі води з трубки. Скільки крапель потрібно, щоб заповнити посудину? Внутрішній діаметр трубки $r = 1$ мм, температура води $t = 20$ °С.
27. Довга горизонтальна трубка радіусом $r = 1$ мм, відкрита з обох кінців, заповнена водою. Трубку ставлять вертикально. Визначте висоту стовпчика води, що залишилася в капілярі. Товщиною стінок капіляра можна нехтувати.
28. В вертикальному циліндрі під важким поршнем міститься кисень $m=2$ кг. Для підвищення температури кисню на $\Delta T=5$ К йому була надана кількість теплоти $Q = 9016$ кДж. Визначити зміну внутрішньої енергії кисню. Молярна маса газу $\mu=16$ г/моль, універсальна газова стала $R = 8,314$ Дж/моль К.
29. Ідеальний одноатомний газ в кількості одного кіломоля стискають так, що його об'єм зменшується в два рази. Процес відбувається за законом $PV^2=\text{const}$. Визначте зміну внутрішньої енергії ΔU цього газу.
30. Для підвищення температури газу з молярною масою $\mu=28$ г/моль та масою $m=20$ кг на $\Delta T=5$ К при сталому тиску необхідно затратити кількість теплоти $Q = 0,5$ МДж. Яку кількість теплоти Q_2 слід відняти у цього газу при сталому

об'ємі, щоб його температура понизилася на $\Delta T=50\text{K}$? Універсальна газова стала $R=8,314\text{ Дж/моль К}$.

31. Кисень масою $m=0,3\text{кг}$ з початковою температурою $T_1 = 320\text{ К}$ охолоді ізохорне, при цьому його тиск зменшився в три рази. Потім газ ізобарно нагріли до початкової температури. Молярна маса кисню $\mu=32\text{ г/моль}$, універсальна газова стала $R=8,314\text{ Дж/моль К}$. Яку кількість теплоти Q передали газу?
32. Теплова машина має коефіцієнт корисної дії $\eta=40\%$. Яким стане коефіцієнт корисної дії цієї машини, якщо кількість теплоти, яку отримувала теплова машина за цикл, збільшити на 20% , а кількість теплоти, яку віддавала холодильнику зменшити на 10% ?

РІВНЯННЯ СТАНУ РЕАЛЬНИХ ГАЗІВ

Для реальних газів при високих тисках і низьких температурах модель ідеального газу й отримані на її основі рівняння стану неприйнятні. Підвищення тиску призводить до зменшення середньої відстані між молекулами, що робить необхідним врахування об'єму молекул і взаємодій між ними.

Реальні гази з певним ступенем наближення описуються **рівнянням Ван дер Ваальса:**

$$\left(P + \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2} \right) \left(V - \frac{m}{\mu} b \right) = \frac{m}{\mu} RT \quad \text{рівняння стану реальних газів;}$$

для одного моля газу:

$$\left(P + \frac{a}{V_\mu^2} \right) (V_\mu - b) = RT$$

a – поправка, що враховує сили міжмолекулярного притягання,

b – поправка, що враховує власний об'єм молекул газу.

Дія сил міжмолекулярного притягання призводить до появи додаткового тиску, який називають внутрішнім тиском

$$P_{\text{вн}} = \frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2}.$$

Врахування об'єму молекул позначається в тому, що фактичний вільний об'єм, у якому можуть рухатися молекули реального газу буде менший від об'єму, який газ займає, на величину об'єму самих молекул:

$$V - \frac{m}{\mu} b$$

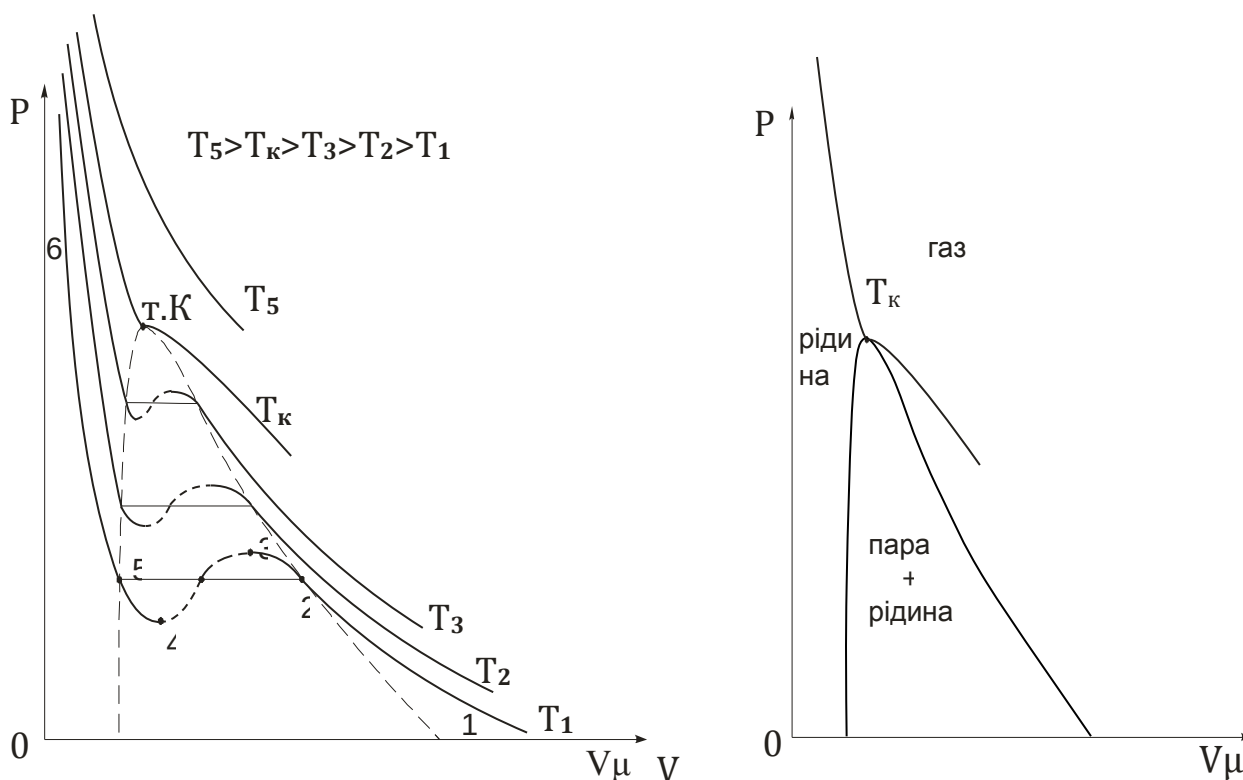
Для більшості газів в умовах близьких до нормальних

$$\frac{m^2}{\mu^2} \frac{a}{V^2} \approx P, \quad \frac{m}{\mu} b \approx V$$

і рівняння Ван дер Ваальса переходить в рівняння Клайперона-Менделєєва.

Ізотерми реальних газів

Криві залежності тиску від об'єму при заданих значеннях температури, визначені за рівнянням Ван дер Ваальса і називані ізотермами Ван дер Ваальса, мають характерні особливості. Вигляд ізотерм суттєво залежить від температури.



При високих температурах ізотерма реального газу мало відрізняється від ізотерми ідеального газу і уявляє собою монотонно спадаючу криву.

При деякій **критичній температурі** T_k на ізотермі мається одна точка перегину – **критична точка** (т. К). Об'єм і тиск, що відповідають критичній точці називають також критичними. Стан газу з критичними параметрами T_k, V_k, P_k , є **критичним**.

При температурах нижчих критичної ізотерми Ван дер Ваальса мають хвилеподібну ділянку (2-5) (див. рисунок). На ділянках 1-3 і 4-6 зі зменшенням об'єму тиск зростає. А ділянка 3-4 відповідає ситуації, коли стиснення газу призводить до зменшення тиску, що суперечить дослідним фактам.

Експериментальні дослідження реальних газів виявили, що ділянка ізотерми 2-5 є горизонтальною і відповідає двофазному стану речовини. Тобто ділянка ізотерми 1-2 характеризує газоподібний стан речовини, ділянка 5-6 – рідкий стан речовини, а ділянка 2-5 – послідовний перехід речовини із одного фазового стану в інший. В станах, що відповідають горизонтальній ділянці ізотерми, спостерігається рівновага газової й рідкої фаз речовини; при цьому співвідношення між фазами змінюється, але тиск залишається постійним. Точки 2 відповідає початку конденсації, точка 5 – закінченню конденсації. Ділянка 5-6 майже вертикальна, що узгоджується з малою стисливістю рідини.

Речовина в газоподібному стані при температурі нижчій за критичну називається **парою**. Пара, що знаходиться в рівновазі зі своєю рідиною, називається **насиченою парою**.

При ізотермічному розширенні рідини точка 5 ізотерми відповідає кипінню рідини, точка 2 – сухій насиченій парі.

За певних умов можуть реалізовуватися стани, що відповідають ділянкам ізотерми 5-4 і 2-3. Ці стани не є стійкими, їх називають **метастабільними**. Ділянка 5-4 відповідає **пересиченій парі**, ділянка 2-3 – **перегрітій рідині**.

При з'єднанні крайніх точок горизонтальних ділянок всіх ізотерм утворюється колоподібна крива, що обмежує область двофазних станів речовини. Ця крива і критична ізотерма розподіляють стани будь-якої речовини на три області: під коло-

подібною кривою знаходиться область двофазних станів (рідина і насичена пара), ліворуч від колоподібної кривої розташована область рідкого стану речовини, праворуч – область газоподібного стану.

В критичному стані речовини зникає різниця між рідиною і газом. При температурах вище критичної газ не може бути переведений в рідину ні при якому стисненні.

Критичні параметри, визначені з рівняння Ван дер Ваальса для критичного стану:

$$\left(b + \frac{RT_{\kappa}}{P_{\kappa}}\right) = 3V_{\mu\kappa}, \quad P_{\kappa} = \frac{a}{27b^2}$$

$$\frac{a}{P_{\kappa}} = 3V_{\mu\kappa}^2, \quad V_{\mu\kappa} = 3b,$$

$$\frac{ab}{P_{\kappa}} = V_{\mu\kappa}^3, \quad T_{\kappa} = \frac{8a}{27Rb}.$$

Таким чином, газоподібна речовина існує у вигляді пари або газу. Пара - це газоподібна речовина, яка за даної температури не може бути зріджена шляхом стискання. Газ - газоподібна речовина, яку не можна зрідити шляхом стискання без попереднього охолодження до температури, яку називають критичною. якщо в закритій посудині міститься рідина та її пара, то пара буде насиченою тоді, коли процеси пароутворення і конденсації скомпенсовані.(стан термодинамічної рівноваги між парою та її рідиною).

При відсутності рідини пара буде насиченою, якщо будь-яке зменшення об'єму супроводжується утворенням крапель рідини. У стані насичення густина та парціальний тиск насиченої пари за даної температури є максимальними. Залежність густини та тиску насиченої пари від температури подана в таблицях.

Властивості насиченої пари:

- тиск насиченої пари залишається сталим при зміні об'єму пари.
- при збільшенні температури тиск насиченої пари зростає стрімкіше порівняно з ідеальним газом.

Точка роси t_p - це температура, за якої ненасичена пара стає насиченою.

Вологістю повітря називають фізичну величину, що характеризує вміст водяної пари в атмосфері. Розрізняють абсолютну та відносну вологості повітря.

Абсолютна вологість – це густина водяної пари, що міститься у повітрі. (парціальний тиск водяної пари).

Відотною вологістю повітря називають відношення густини (тиску) водяної пари, що міститься у повітрі за даної температури, до густини (тиску) насиченої водяної пари за цієї ж температури:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_{\text{н}}} = \frac{p}{p_{\text{н}}}$$

Відносна вологість – безрозмірна величина. Часто її виражають у процентах (відсотках). Для вимірювання відносної вологості використовують:

- металевий гігrometer - прилад, за допомогою якого можна виміряти точку роси;
- психрометр - прилад, що вимірює відносну вологість за різницею показів сухого та вологого термометрів.

ПРИКЛАД РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВИХ ЗАДАЧ

Приклад 1. Вуглекислий газ, кількість якого складає $\nu=1$ моль, перебуває в критичному стані. При ізобарному нагріванні об'єм газу V_k збільшується в 2 рази. Визначити зміну температури газу ΔT . Критична температура вуглекислого газу $T_k = 304\text{K}$.

Розв'язання.

Позначимо $P/P_k = \alpha$, $V_{\mu}/V_{\mu_k} = \beta$, $T/T_k = \gamma$.

Тоді $P = \alpha P_k$, $V_{\mu} = \beta V_{\mu_k}$, $T = \gamma T_k$. Скористаємося співвідношеннями, що визна-

чають T_k, V_k, P_k через поправки рівняння Ван дер Ваальса a і b : $P = \frac{a}{27b^2} \alpha$;

$V_{\mu_k} = 3b\beta$; $T = \frac{8a}{27bR} \gamma$. З урахуванням отриманих значень для P, V, T рівняння

Ван дер Ваальса матиме вигляд: $\left(\frac{a}{27b^2} \alpha + \frac{a}{(3b\beta)^2} \right) (3b\beta - d) = R \frac{8a}{27bR} \gamma$, і після скорочень $(\alpha + 3/\beta^2)(3\beta - 1) = 8\gamma$.

За умовами задачі тиск при нагріванні сталий, тобто $\alpha = 1$, а $V_\mu = 2V_{\mu_k}$, тобто $\beta = 2$. Виходячи з цього, можна визначити γ : $\gamma = 1/8(\alpha + 3/\beta^2)(3\beta - 1) = 35/32$.

Зміна температури $\Delta T = T - T_k = \gamma T_k - T_k$; $\Delta T = 28,5$ К.

Приклад 2. Знайдіть коефіцієнти об'ємного розширення α та ізотермічної стисливості β для газу, стан якого описується рівнянням Ван дер Ваальса.

Розв'язання.

Рівняння Ван дер Ваальса може бути записано в вигляді

$$p = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$$

Звідкіля отримаємо: $\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_p = \frac{R}{V-b}$ $\left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_T = -\frac{RT}{(V-b)^2} + \frac{2a}{V^3}$.

З відомої тотожності $\left(\frac{\partial p}{\partial V} \right)_T \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial p} \right)_V = -1$, маємо $\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_p = \frac{V-b}{T-2a(V-b)^2 R^{-1} V^{-3}}$.

Вочевидь, для шуканих величин отримаємо вирази:

$$\Phi = \frac{1}{T} \left(1 - \frac{b}{V} \right) \cdot \left[1 - \frac{2a}{RTV} \left(1 - \frac{b}{V} \right)^2 \right]^{-1} \cdot B = \frac{\left(1 - \frac{b}{V} \right) \cdot \frac{1}{p}}{1 - \frac{a}{pV^2 \left(1 - \frac{2b}{V} \right)}}$$

Приклад 3. В відкритій посудині при температурі $t_1 = 17^\circ\text{C}$ та відносній вологості повітря $\phi_1 = 80\%$ тиск повітря $P_{п1} = 1,01 \cdot 10^5$ Па. Посудину закрили та охолодили до температури $t_2 = 7^\circ\text{C}$. Знайти відносну вологість повітря ϕ_2 та тиск $P_{п2}$. Тиск насиченої водяної пари при температурі $t_1 = 17^\circ\text{C}$ складає $P = 1,9 \cdot 10^3$ Па, при температурі $t_2 = 7^\circ\text{C}$ складає $P = 0,99 \cdot 10^3$ Па.

Розв'язання.

Тиск водяної пари (парціальний тиск) при температурі $t_1 = 17^\circ\text{C}$ складає $P_{п1} = 1,52 \cdot 10^3$ Па. Оскільки загальний тиск за законом Дальтона дорівнює сумі тисків сухого повітря та водяної пари, то тиск сухого повітря при температурі $t_1 = 17^\circ\text{C}$

складає $P_{\text{сп1}} = 0,99 \cdot 10^3 \text{ Па}$. При температурі $t_2 = 7^\circ \text{C}$ частина водяної пари сконденсується, оскільки точка роси температурі $t_1 = 17^\circ \text{C}$, яка відповідна тиску $P_{\text{п1}} = 1529 \cdot 10^3 \text{ Па}$, вища за 7°C . Як наслідок, водяна пара в посудині при $t_2 = 7^\circ \text{C}$ буде насиченою і її тиск буде дорівнювати $P_{\text{п2}} = 0,99 \cdot 10^3 \text{ Па}$. Тиск сухого повітря знайдемо за законом Шарля $p_{\text{св2}} = p_{\text{св1}} \frac{T_2}{T_1} = 0,96 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Тиск в посудині $P_{\text{с1}} = 0,97 \cdot 10^5 \text{ Па}$.

Приклад 4. В герметично закритій посудині об'ємом $V = 200 \text{ л}$ при температурі $t_1 = 25^\circ \text{C}$ міститься повітря з відносною вологістю $\phi_1 = 40\%$. Якою буде відносна вологість повітря ϕ_2 , якщо в посудину ввести масу $\Delta m = 3 \text{ г}$ води? Тиск насиченої водяної пари при температурі $t_1 = 25^\circ \text{C}$ складає $P_{\text{нас}} = 3,13 \cdot 10^3 \text{ Па}$. Пару вважати ідеальним газом.

Розв'язання.

Масу m водяної пари в посудині до введення додаткової маси Δm знайдемо з рівняння :

$$\frac{m}{V} = \phi_1 \cdot \rho_{\text{нас}} / 100\% .$$

Густина водяної насиченої пари знайдемо з рівняння Клапейрона- Менделєєва: $\rho_{\text{нас}} = \mu / RT$. Якщо вся додатково введена вода випарується, тоді абсолютна вологість повітря складатиме: $\rho = \frac{m + \Delta m}{V} = \phi_1 \frac{\mu \rho_{\text{нас}}}{RTV} + \frac{\Delta m}{V} = 24 \frac{\text{г}}{\text{м}^3}$.

Оскільки $\rho > \rho_{\text{нас}}$, то вода випарується частково до повної насиченості пари: $\phi_2 = 100\%$.

Приклад 5. У посудину об'ємом $V = 1,0 \text{ л}$, наповнену сухим повітрям під тиском 10^5 Па та температурі $t_1 = 0^\circ \text{C}$ вводять краплю води масою $m = 20 \text{ мг}$ й, закрити посудину, нагрівають до температури $t_2 = 20^\circ \text{C}$. Знайти тиск та відносну вологість повітря в посудині після нагрівання. Пар вважати ідеальним газом. Тиск насиченої водяної пари при температурі $t_2 = 20^\circ \text{C}$ складає $P_{\text{нас}} = 2,33 \cdot 10^3 \text{ Па}$, густина $17,3 \text{ г/м}^3$.

Розв'язання.

Унаслідок випаровування води посудина в кінцевому стані буде заповнена сухим повітрям під тиском p_1 та водяною парою при тиску p_2 . Тиск в посудині за законом

Дальтона дорівнює сумі парціальних тисків пари та сухого повітря, тобто $p_n = p_1 + p_2$. Оскільки за умовою $V = \text{const}$ тиск сухого повітря знайдемо на підставі закону Шарля:

$$\frac{p_0}{T_0} = \frac{p_1}{T_1} \quad p_1 = \frac{p_0 T_1}{T_0}$$

З'ясуємо, чи буде водяна пара у кінцевому стані насиченою. У стані насичення маса водяної пари дорівнює $m_H = \rho_H \cdot V = 17,3 \cdot 10^{-6}$ кг. Отже, у посудині залишиться частина води і насичена водяна пара. Тиск водяної пари у кінцевому стані дорівнює $P_2 = P_{\text{нас}} = 2,33 \cdot 10^3$ Па

Загальний тиск $P_n = P_1 + P_2 = 109,33$ кПа.

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

- Під поршнем у вертикальному циліндрі є вода і її насичена пара. Як змінюватимуться маса та тиск насиченої водяної пари при повільному опусканні поршня?

А - маса і тиск насиченої пари не зміняться;

Б - маса пари зміниться, тиск не зміниться;

В - маса пари не зміниться, тиск зросте; Г - маса і тиск зростуть.
- У наслідок нагрівання води в замкненому об'ємі тиск її насиченої пари збільшився на 50%. Як змінилася густина насиченої пари?

А - збільшилася на 50%; Б - збільшилася більше ніж на 50%;

В - зменшилася менше ніж на 50%; Г - не змінилася.
- У замкненому об'ємі охолоджують повітря. Як під час охолодження змінюються абсолютна і відносна вологості повітря?

А - абсолютна вологість не змінюється, а відносна вологість зростає;

Б - абсолютна і відносна вологості зростають;

В - абсолютна вологість не зменшується, а відносна вологість зростає;

Г - абсолютна і відносна вологості не змінюються.

4. Як змінюються тиски ідеального газу та насиченої пари за ізотермічного стискування?

А - тиски ідеального газу та насиченої пари зростають;

Б - тиск ідеального газу не змінюється, тиск насиченої пари зростає;

В - тиски ідеального газу та насиченої пари залишаються незмінними;

Г - тиск ідеального газу зростає, тиск насиченої пари залишається незмінним.

5. Парціальний тиск водяної пари при температурі 18°C дорівнює $1,59\text{кПа}$. Визначте відносну вологість повітря.

А - від 11 до 23%.

Б - від 27 до 32%.

В - від 41 до 52%.

Г - від 74 до 85%.

6. Відносна вологість повітря в приміщенні $\phi = 100\%$. Яке співвідношення виконується для показів сухого термометра T_1 і вологого термометра T_2 психрометра?

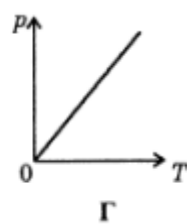
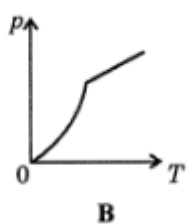
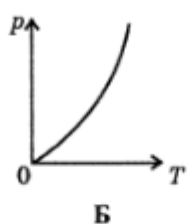
А - $T_1 > T_2$;

Б - $T_1 < T_2$;

В - $T_1 = T_2$;

Г - $T_1 = 2T_2$.

7. В герметичній посудині знаходиться невелика кількість води і насичена водяна пара. Посудину нагрівають. Який графік відповідає залежності тиску в посудині від температури?



8. Як змінюється концентрація молекул насиченої пари із збільшенням об'єму при постійній температурі?
- А - Не змінюється 4 Б - Зменшується;
В - Збільшується 4 Г - Спочатку не змінюється, а потім зростає.
9. Парціальний тиск водяної пари в повітрі при температурі $t = 19^\circ \text{C}$ складає $p = 1,1 \text{ кПа}$. Знайти відносну вологість повітря ϕ .
- А - від 10 до 20%; Б. від 20 до 30%;
В - від 40 до 50%; Г - від 60 до 70%.
10. В 4 м^3 повітря при температурі $t = 16^\circ \text{C}$ міститься 40г водяної пари. Знайти відносну вологість ϕ повітря.
- А - від 11 до 23%; Б - від 27 до 32%;
В - від 41 до 52%; Г - від 64 до 75%.
11. Знайти відносну вологість ϕ повітря $t_1 = 4^\circ \text{C}$ в кімнаті при температурі $t = 18^\circ \text{C}$, якщо точка роси $t = 10^\circ \text{C}$.
- А - від 18 до 25%; Б - від 28 до 38%;
В - від 45 до 59%; Г - від 62 до 75%.
12. Відносна вологість повітря в кімнаті складає $\phi = 65\%$ при температурі $t = 16^\circ \text{C}$. Як зміниться вона при зниженні температури на $\Delta T = 4 \text{ К}$, якщо парціальний тиск залишиться без змін?
- А - зросте на 25%; Б - зросте на 19%;
В - зросте на 15%; Г - зросте на 9%.
13. Відносна вологість повітря ввечері складає $\phi = 50\%$ при температурі $t_1 = 16^\circ \text{C}$. До якої мінімальної температури $t_{\min}$ повинна вночі знизитися температура, щоб випала роса?

А - до 15°C ; Б - до 12°C ; В - до 10°C ; Г - до 5°C

14. Для осушки повітря, яке містилося в балоні ємністю $V = 10\text{л}$, в балон ввели шматок хлористого кальцію, який поглинув $m = 0,13\text{г}$ води. Якою була відносна вологість ϕ повітря в балоні, якщо його температура $t = 20^{\circ}\text{C}$?

А - від 18 до 25%; Б - від 28 до 38%;

В - від 45 до 59%; Г - від 62 до 75%

15. Вологий термометр показує $t_1 = 10^{\circ}\text{C}$, а сухий показує $t_2 = 20^{\circ}\text{C}$. Знайти відносну вологість ϕ повітря, тиск P й густину водяної пари.

А - 60%, 0,96 кПа, 7,3 г/м³; Б - 50%, 0,96 кПа, 7,8 г/м³;

В - 60%, 0,86 кПа, 7,5 г/м³; Г - 60%, 0,96 кПа, 7,8 г/м³

16. При температурі $t_1 = 4^{\circ}\text{C}$ сухий та вологий термометри показували однакову температуру.. Що покаже вологий термометр, якщо температура підвищиться до $t_2 = 10^{\circ}\text{C}$? Вважати, що парціальний тиск водяної пари не змінюється.

А - 5°C ; Б - 7°C ; В - 10°C ; Г - 8°C .

17. При температурі $t_1 = 4^{\circ}\text{C}$ сухий та вологий термометри показували однакову . Що покаже вологий термометр, якщо температура підвищиться до $t_2 = 16^{\circ}\text{C}$? Вважати, що парціальний тиск водяної пари не змінюється.

А - 5°C ; Б - 7°C ; В - 10°C ; Г - 8°C .

18. Волосяний гігрометр показує відносну вологість повітря рівну $\phi_1 = 30\%$. В той же час сухий та вологий термометри показували відповідно $t_1 = 10^{\circ}\text{C}$ та $t_2 = 14^{\circ}\text{C}$. Справжня відносна вологість ϕ_2 повітря. Порівняйте ці вологості.

А - $\phi_1 > \phi_2$; Б - $\phi_1 < \phi_2$; В - $\phi_1 = \phi_2$; Г - $\phi_1 \neq \phi_2$

19. Точка роси $t_1 = 10^{\circ}\text{C}$. Скільки води можна випарувати в кожний кубічний метр 1 м³ повітря при температурі $t_2 = 18^{\circ}\text{C}$?

А - від 1 до 2 г; Б - від 3 до 5 г; В - від 6 до 7 г; Г - від 8 до 9 г.

20. В кімнаті об'ємом $V = 64 \text{ м}^3$ при температурі $t_1 = 20^\circ\text{C}$ відносна вологість повітря $\phi = 60\%$. Визначити масу водяної пари в кімнаті. Тиск насичених парів водяної пари при температурі $t_1 = 20^\circ\text{C}$ дорівнює $p = 2,33 \text{ кПа}$.

А - від 100 до 200 г;

Б - від 320 до 555 г;

В - від 660 до 770 г;

Г - від 812 до 915 г

21. Змішали $V_1 = 5 \text{ м}^3$ повітря з відносною вологістю повітря $\phi_1 = 22\%$. При температурі $t_1 = 15^\circ\text{C}$ та $V_2 = 3 \text{ м}^3$ повітря з відносною вологістю повітря $\phi_2 = 46\%$ при температурі $t_1 = 28^\circ\text{C}$. Знайти відносну вологість ϕ суміші повітря, якщо її об'єм $V_c = 3 \text{ м}^3$.

А - від 18 до 25%;

Б - від 28 до 38%;

В - від 45 до 59%;

Г - від 62 до 75 %.

22. Яка кількість роси випадає з кожного кубічного метра повітря під час ізотермічного зменшення його об'єму в п'ять разів, якщо температура повітря $t = 10^\circ\text{C}$, а відносна вологість повітря $\phi = 60\%$? Густина насиченої водяної пари при температурі повітря $t = 10^\circ\text{C}$ дорівнює $9,43 \text{ г/м}^3$.

А - від 1,22 до 2,02 г;

Б - від 3,52 до 5,55 г;

В - від 6,60 до 7,72 г;

Г - від 8,12 до 9,15 г.

23. В кімнаті об'ємом $V = 50 \text{ м}^3$ відносна вологість повітря $\phi_1 = 40\%$. Якщо випарувати додатково 60 г води, то відносна вологість повітря зросте до $\phi_2 = 50\%$. Визначити температуру повітря в кімнаті. Тиск насиченої водяної пари при температурі $t_1 = 20^\circ\text{C}$ дорівнює $17,3 \text{ мм.рт.ст.}$

А - 15°C ;

Б - 17°C ;

В - 20°C ;

Г - 25°C .

24. В герметично закритій посудині об'ємом $V = 1,1$ л міститься $m = 100$ г (окропу) киплячої води та пари води при температурі $t_1 = 100^\circ\text{C}$. (Повітря в посудині немає). Знайти масу пари.

А - від 0,22 до 1,02 г;

Б - від 1,52 до 2,55 г;

В - від 3,60 до 4,72 г;

Г - від 5,12 до 6,15г.

25. В приміщення треба подати повітря об'ємом $V = 2 \cdot 10^4$ м³ при температура $t_1 = 18^\circ\text{C}$ та відносній вологості повітря $\phi_1 = 50\%$, забираючи його з вулиці при температур $t_2 = 10^\circ\text{C}$ та відносній вологості повітря $\phi_2 = 60\%$. Скільки води треба додатково випарувати в приміщенні? Густина насиченої водяної пари при температурі повітря $t_1 = 10^\circ\text{C}$ дорівнює $9,4 \cdot 10^{-3}$ кг/м³, при температурі $t_1 = 18^\circ\text{C}$ густина насиченої водяної пари при температурі повітря дорівнює $15,4 \cdot 10^{-3}$ кг/м³.

А - від 12,3 до 12,8 кг;

Б - від 15,2 до 25,5кг;

В - від 36,0 до 41,2 кг;

Г - від 45, 2 до 55,5кг.

26. Термометри психрометра показують температури 18°C та 20°C . Визначте парціальний тиск водяної пари.

А - 500 Па;

Б - 700 Па;

В - 800 Па;

Г - 900 Па.

27. Всмоктувальний насос піднімає холодну воду при температурі $t_1 = 0^\circ\text{C}$ на висоту $h_1 = 10,3$ м. на яку висоту він підніме гарячу воду при температурі $t_2 = 100^\circ\text{C}$, якщо тиск нормальний? Поршень насоса переміщується дуже повільно.

А - 5,3 м;

Б - 0 м;

В - 8,5 м;

Г - 9,5 м.

28. У циліндрі під поршнем міститься $m = 27,2$ мг водяної пари при температурі $t_1 = 16^\circ\text{C}$. До якого максимального об'єму слід ізотермічно стиснути пару, щоб вона стала насиченою?

А - 2,0 л;

Б - 1,5 л;

В - 1,2 л;

Г - 1,6 л.

СЕРЕДНІЙ РІВЕНЬ

1. У посудині об'ємом $V = 2,5$ л знаходиться $m = 0,46$ кг вуглекислого газу при температурі $t = 27$ °С. Обчислити тиск газу за рівнянням Клапейрона-Менделєєва і за рівнянням Ван дер Ваальса. Для вуглекислого газу $a = 0,3$ Н·м⁴/моль², $b = 4,3 \cdot 10^{-5}$ м³/моль.
2. Обчислити поправки рівняння Ван дер Ваальса a і b для азоту, якщо його критична температура $T = 126$ К, а критичний тиск $P_k = 3,35 \cdot 10^6$ Па.
3. Обчислити критичні параметри кисню, якщо поправки рівняння Ван дер Ваальса для кисню $a = 0,13$ Н·м⁴/моль², $b = 3,1 \cdot 10^{-5}$ м³/моль.
4. Знайти критичні параметри неону, якщо поправки рівняння Ван дер Ваальса для неону $a = 0,0213$ Н·м⁴/моль², $b = 1,7 \cdot 10^{-5}$ м³/моль.
5. Визначити найбільший тиск $P_{\max}$ насиченої водяної пари.
6. У скільки разів концентрація молекул азоту в критичному стані n_k більше концентрації молекул при нормальних умовах n_0 ?
7. Знайти критичний об'єм кисню масою $m = 0,5$ г.
8. Знайти критичний об'єм води масою $m = 1$ г.
9. Газ в кількості $\nu = 1$ моль перебуває при критичній температурі T_k й займає об'єм V , в 3 рази більший критичного об'єму V_k . У скільки разів тиск газу в такому стані менше критичного тиску P_k ?
10. Газ перебуває в критичному стані. У скільки разів зросте тиск газу P , якщо його температуру T ізохорне збільшити в 2 рази?
11. Азот, маса якого $m = 0,84$ кг, займає об'єм $V = 33$ л при температурі $t = 100$ ° С. Використовуючи рівняння Ван дер Ваальса, знайти тиск P_1 газу на стінки посудини. Для азоту $a = 0,13$ Н·м⁴/моль², $b = 3,9 \cdot 10^{-5}$ м³/моль.

12. Знайти вираз для роботи A , що виконується $\nu = 1$ молем газу при ізотермічному розширенні, вважаючи, що газ підкорюється рівнянню Ван дер Ваальса.
13. При ізотермічному розширенні $\nu = 1000$ молів кисню об'єм збільшився від $V_1 = 1 \text{ м}^3$ до $V_2 = 5 \text{ м}^3$. Температура процесу $t = 27^\circ \text{C}$. Знайти кількість поглиненої теплоти Q й роботу A , виконану газом.
14. При ізотермічному розширенні $\nu = 100$ молів кисню об'єм збільшився від $V_1 = 0,1 \text{ м}^3$ до $V_2 = 0,5 \text{ м}^3$. Температура процесу $t = 27^\circ \text{C}$. Знайти збільшення внутрішньої енергії газу ΔU й роботу A , виконану газом.
15. Вуглекислий газ, маса якого $m = 88 \text{ г}$, займає при температурі $T = 290 \text{ К}$ об'єм $V = 1000 \text{ см}^3$. Знайти внутрішню енергію газу. Вважати $\alpha = 0,3 \text{ Н} \cdot \text{м}^4 / \text{моль}^2$.
16. При $t_1 = 29^\circ \text{C}$ відносна вологість повітря $\phi = 55\%$. Чи випаде вночі роса, якщо температура знизиться до $t_2 = 15^\circ \text{C}$?
17. При температурі $t_1 = 10^\circ \text{C}$ відносна вологість повітря складає $\phi = 80\%$. Як зміниться відносна вологість повітря при збільшенні температури до $t_2 = 20^\circ \text{C}$?
18. Точка роси $t_1 = 9^\circ \text{C}$. Скільки води можна випарувати в кожний кубічний метр 1 м^3 повітря при температурі $t_2 = 25^\circ \text{C}$?
19. В теплиці треба підтримувати температуру $t_1 = 30^\circ \text{C}$ та відносну вологість повітря $\phi = 30\%$. Чи виконується ця вимога, якщо вологий термометр показує $t_2 = 29^\circ \text{C}$, а сухий показує $t_3 = 30^\circ \text{C}$?
20. В балоні об'ємом $V = 100 \text{ л}$ міститься сухе повітря під тиском $p = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$. В нього вводять $m = 2 \text{ г}$ води й нагрівають до $T = 323 \text{ К}$. Обчислити відносну вологість повітря ϕ в посудині та тиск вологого повітря в балоні.
21. В посудині об'ємом $V = 5 \text{ л}$ знаходиться $m_1 = 1 \text{ кг}$ води та $m_2 = 280 \text{ г}$ азоту. Який тиск в посудині при температурі $t = 100^\circ \text{C}$?
22. В запаяній трубці об'ємом $V = 400 \text{ мл}$ знаходиться водяна пара під тиском $p = 8 \text{ кПа}$ при температурі $t_1 = 150^\circ \text{C}$. Яка кількість роси осяде на стінках трубки при охолодженні її до температури $t_2 = 22^\circ \text{C}$?

23. Тиск насиченої водяної пари при температурі $t_1 = 36^\circ\text{C}$ дорівнює $p = 5,945\text{кПа}$. Скільки важить при цій температурі 1м^3 вологого повітря при відносній вологості повітря $\phi = 80\%$ та нормальному атмосферному тиску?
24. В кімнаті об'ємом $V = 40\text{м}^3$ температура повітря $t_1 = 20^\circ\text{C}$, відносна вологість повітря 20% . Скільки необхідно випарувати води, щоб відносна вологість досягла $\phi = 50\%$? Відомо, що тиск насиченої пари при $t_1 = 20^\circ\text{C}$ складає $p = 2330\text{Па}$.
25. В кімнаті при температурі $t_1 = 15^\circ\text{C}$ відносна вологість повітря складає $\phi = 10\%$. Як зміниться відносна вологість повітря при збільшенні температури на $\Delta t = 20^\circ\text{C}$?
26. При температурі $t_1 = 20^\circ\text{C}$ та нормальному атмосферному тиску відносна вологість повітря складає 100% . На скільки процентів це повітря легше сухого повітря при тих же умовах? Тиск насиченої пари при $t_1 = 20^\circ\text{C}$ складає $p = 2,33\text{кПа}$.
27. Відносна вологість повітря в приміщенні складає 60% при температурі $t_1 = 18^\circ\text{C}$. До якої температури треба охолодити предмет, щоб його поверхня запотіла?
28. Закрита посудина об'ємом $V_1 = 500\text{л}$ містить $V_1 = 500\text{мл}$ води. Посудину разом з водою нагріли до температури $t_1 = 147^\circ\text{C}$. На скільки треба змінити об'єм посудини, щоб в ній містилася лише насичена пара? Тиск насиченої пари при $t_1 = 147^\circ\text{C}$ складає $p = 0,47\text{МПа}$.
29. В закритій посудині об'ємом $V = 1\text{м}^3$ міститься вода масою $m_1 = 12\text{г}$ та деяка кількість її насиченої пари, густина та тиск якої при даній температурі відповідно дорівнюють $8 \cdot 10^{-3}\text{кг/м}^3$ та $1,1 \cdot 10^3\text{Па}$. Який тиск встановиться в посудині при збільшенні об'єму в k разів? Температура при збільшенні об'єму не змінюється.
30. Визначити абсолютну вологість повітря, якщо парціальний тиск водяної пари в ньому склав $p = 1,4\text{кПа}$, а температура $t = 60^\circ\text{C}$. Молярна маса води $\mu = 0,018\text{кг/моль}$.

ДОСТАТНІЙ РІВЕНЬ

1. При температурі $t = 4^{\circ}\text{C}$ тиск сухої насиченої пари складає $P = 6 \text{ мм. рт. ст.}$. У скільки разів густина води при цій температурі більше густини водяної пари? Які об'єми займають молекули води та водяної пари? Молярна маса води $\mu = 0,018 \text{ кг /моль}$.
2. У скільки разів при температурі $t = 400^{\circ}\text{C}$ густина парів ртуті при атмосферному тиску відрізняється від густини насичених парів ртуті? Атмосферний тиск 760 мм.рт. ст. , тиск насичених парів ртуті при температурі $t = 400^{\circ}\text{C}$ складає $P = 0,22 \text{ МПа}$.
3. В циліндрі під поршнем в об'ємі $V = 1 \text{ м}^3$ при температурі $t = 30^{\circ}\text{C}$ міститься суміш азоту та парів насиченої водяної пари. Маса суміші $m_1 = 286 \text{ г}$. Яка маса водяної пари сконденсується, якщо об'єм зменшити в три рази при сталій температурі? Яким був тиск до стискання? Тиск насичених парів води при температурі $t = 30^{\circ}\text{C}$ складає $4,2 \text{ кПа}$. Молярна маса води $\mu = 0,018 \text{ кг /моль}$, молярна маса азоту $\mu = 0,028 \text{ кг /моль}$.
4. В посудині певного об'єму міститься повітря при температурі $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря складає 40% . Як зміниться відносна вологість повітря при збільшенні температури на $\Delta t = 80^{\circ}\text{C}$, та зменшенні об'єму в 4 рази?
5. Одна й та ж сама кількість водяної пари міститься при одній і тій же температурі в повітрі, яке займає об'єми $V_1 = 50 \text{ м}^3$ та $V_2 = 40 \text{ м}^3$. Різниця відносної вологості повітря в цих об'ємах складає 10% . Густина насиченої пари при цій температурі $\rho = 23 \text{ г/м}^3$. Знайти масу парів води в кожному з цих об'ємів.
6. В балоні об'ємом $V = 10 \text{ дм}^3$ міститься сухе повітря під тиском $P = 1,01 \cdot 10^5 \text{ Па}$. В нього вводять $m = 5 \text{ г}$ води й нагрівають до $T = 373 \text{ К}$. Обчислити тиск вологого повітря в балоні.

7. Газ перебуває в критичному стані. Як і в скільки разів його тиск p буде відрізнятися від критичного p_k при одночасному збільшенні температури й об'єму газу в 2 рази?
8. Критична температура аргону $T_k = 151 \text{ K}$, критичний тиск $P_k = 4.86 \text{ МПа}$. Визначити критичний молярний об'єм аргону $V_{\mu k}$.
9. Визначити найбільший об'єм $V_{\max}$, що може займати $\nu = 1$ моль води.
10. Визначити густину ρ водяної пари у критичному стані.
11. Холодна вода при температурі $t_1 = 0^\circ\text{C}$ піднімається за поршнем насоса при нормальному атмосферному тиску на 10,3 м. Тиск насиченої пари при температурі $t_1 = 0^\circ\text{C}$ дорівнює 0,61 кПа. На яку висоту підніметься за поршнем насоса вода при температурі $t_2 = 50^\circ\text{C}$. Тиск насиченої пари при температурі $t_2 = 50^\circ\text{C}$ дорівнює 12,34 кПа. Поршень піднімають повільно.
12. Змішали 4л повітря з відносною вологістю $\phi_1 = 20\%$ та 8 л повітря з відносною вологістю $\phi_2 = 40\%$ при однаковій температурі. Об'єм суміші становить 10 л. Визначте відносну вологість ϕ повітря в посудині.

ВИСОКИЙ РІВЕНЬ

1. Перегріту водяну пару, яка міститься в циліндрі під поршнем, спочатку нагрівають при сталому об'ємі, а потім повільно стискають при сталій температурі до повного скраплення. Накреслити графік залежності тиску p в циліндрі від об'єму V .
2. В котел об'ємом $V = 5 \text{ м}^3$ накачали воду масою $m_1 = 20 \text{ кг}$ та нагріли до температури $t = 180^\circ\text{C}$. Знайти масу води m_2 та тиск P парів в посудині. Густина насичених парів води при температурі $H = 453 \text{ K}$ дорівнює $5,05 \text{ кг/м}^3$. Молярна маса води $\mu = 0,018 \text{ кг /моль}$

3. В циліндрі з поршнем міститься рідина під великим тиском. Потім поршень дуже повільно піднімають. Побудуйте графік залежності тиску p в циліндрі при безмежному збільшенні об'єму V для двох сталих температур T_1 та T_2 (ізотерми $T_1 = \text{const}$ та $T_2 = \text{const}$, при чому $T_1 > T_2$).
4. Знайти для газу, що підкоряється рівнянню Ван дер Ваальса, молярну теплоємність при сталому об'ємі $C_{\mu V}$.
5. Знайти для газу, що підкоряється рівнянню Ван дер Ваальса, різницю молярних теплоємностей $C_{\mu p} - C_{\mu V}$.
6. Знайти для газу, що підкоряється рівнянню Ван дер Ваальса, рівняння адіабати.
7. Визначити критичну температуру T_k й критичну густину ρ_k вуглекислого газу, для якого $a = 0,3 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$ і $b = 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$.
8. В закритій посудині об'ємом $V = 0,5 \text{ м}^3$ міститься вода масою $m_1 = 0,5 \text{ кг}$. Посудину нагріли до температури $t = 147^\circ \text{C}$. На яку величину слід змінити об'єм посудини, щоб в ній містилися лише пари насиченої пари? Тиск насичених парів води при температурі $T = 420 \text{ К}$ складає $0,47 \text{ МПа}$. Молярна маса води $\mu = 0,018 \text{ кг/моль}$.
9. При якій температурі T перебуває оксид азоту, якщо його об'єм V і тиск P в 3 рази перевищують відповідні критичні значення V_k й P_k ? Критична температура оксиду азоту $T_k = 180 \text{ К}$.
10. Для деякого газу поправки рівняння Ван дер Ваальса $a = 0,453 \text{ Н}\cdot\text{м}^4/\text{моль}^2$, а критична температура $T_k = 282,7 \text{ К}$. Визначити ефективний діаметр молекули газу.
11. Густина вологого повітря при температурі $t_1 = 17^\circ \text{C}$ і нормальному атмосферному тиску дорівнює $\rho_1 = 1,19 \text{ г/м}^3$. Визначте відносну вологість ϕ повітря в посудині, якщо при цій температурі густина насиченої водяної пари дорівнює $\rho_2 = 0,027 \text{ кг/м}^3$. Молярна маса сухого повітря дорівнює $\mu = 29 \text{ г/моль}$.

12. У запаяній трубці, що стоїть вертикально відкритим кінцем догори, під стовпчиком ртуті заввишки $h = 4\text{см}$ міститься повітря відносна вологість якого $\varphi = 70\%$. Якою стане відносна вологість, якщо трубку повернути відкритим кінцем донизу? Ртуть із трубки не виливається. Атмосферний тиск дорівнює $P_0 = 760\text{мм.рт.ст.}$

ЯВИЩА ПЕРЕНОСУ

В будь-якому реальному термодинамічному процесі рівновага порушується і виникають неоднорідності температури, густини тощо. Для вирівнювання параметрів системи потрібен час, і чим він менший, тим точніше припущення про рівноважний стан системи. Вирівнювання нерівномірності призводить до впорядкованого просторового переносу маси, енергії, імпульсу, називаних відповідно явищами дифузії, теплопровідності і внутрішнього тертя. Важливу роль в явищах переносу відіграють зіткнення між молекулами. Зіткнення молекул не слід уявляти як зіткнення твердих куль. Тільки в окремих випадках така спрощена модель є виправданою. Зіткнення молекул – це процес взаємодії, в результаті якого змінюються напрямки і модуль їх швидкості.

1. Довжина вільного пробігу молекул

Молекули газу, перебуваючи в стані хаотичного руху, постійно зазнають взаємних зіткнень. Траєкторія молекули являє собою лому лінію. Відстань, на яку наближуються при зіткненні центри молекул, називають **ефективним діаметром молекули** d_{ef} . Ефективний діаметр молекул залежить від їх швидкості, тобто від температури: при зростанні температури d_{ef} зменшується.

У проміжок часу між послідовними зіткненнями молекула рухається рівномірно прямолінійно і проходить відстань, яку називають *довжиною вільного пробігу молекули* l . В загальному випадку довжина шляху між послідовними зіткненнями різна. Але для великої кількості молекул застосовують середню статистичну характеристику. $\langle l \rangle$

2. **Середньою довжиною вільного пробігу молекул** називається величина, яка чисельно дорівнює відношенню середньої арифметичної швидкості молекул $\langle v \rangle$ до середнього числа зіткнень молекул за одиницю часу: $\langle z \rangle$

$$\langle l \rangle = \frac{\langle v \rangle}{\langle z \rangle} = \frac{1}{n\sqrt{2}\pi d_{ef}},$$

n – концентрація молекул.

3. Дифузія

Дифузією називається обумовлене тепловим рухом самовільне взаємне проникнення і перемішування стичних речовин.

Явища дифузії спостерігаються в газоподібних, рідких і твердих середовищах. Прикладом дифузії в газах є розповсюдження запахів в повітрі за відсутності прямого їх перемішування. У хімічно чистих газах дифузія при сталій температурі виникає внаслідок неоднакової густини в різних частинах об'єму газу, а в газових сумішах – внаслідок відмінності у густинах окремих газів. Відбувається дифузія в напрямку зменшення концентрації речовини. За умов ізотермічності і відсутності зовнішніх полів дифузія призводить до рівномірного розподілення речовин по об'єму. Дифузія – незворотний процес, одне з джерел дисипації енергії системи.

Найпростіший випадок дифузії – дифузія в однорідному газі з неоднорідностями густини (самодифузія) уздовж одного напрямку.

Закон Фіка. Маса газу m , яка переноситься при дифузії за час t крізь площадку S , перпендикулярну напрямку дифузії (x), пропорційна градієнту густини dp/dx , площі S і часу t :

$$m = -D \frac{d\rho}{dx} S t,$$

D – коефіцієнт дифузії,

$\frac{dp}{dx}$ – зміна густини на одиницю відстані в напрямку переносу речовини (градієнт густини). Знак «–» указує на те, що перенос маси відбувається в напрямку від більшої до меншої густини.

Коефіцієнт самодифузії газів визначається за формулою:

$$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle ,$$

$\langle v \rangle$ – середня арифметична швидкість молекул,

$\langle l \rangle$ – середня довжина вільного пробігу молекул.

4. Теплопровідність

Теплопровідністю називається обумовлений тепловим рухом самовільний перенос енергії у вигляді теплоти від більш нагрітих елементів системи до менш нагрітих.

Явище теплопровідності спостерігається при наявності різниці температур в системі. Якщо в одному місці газу середня кінетична енергія молекул більша, ніж в іншому, то з часом завдяки постійним співударам молекул відбувається процес вирівнювання середніх кінетичних енергій, тобто йде процес вирівнювання температур. Молекули, що переміщуються із області з більш високою температурою в область з меншою температурою, при зіткненнях віддають частину своєї кінетичної енергії, а повільніші молекули із області з нижчою температурою, переміщуючись, збільшують свою кінетичну енергію.

Закон Фур'є. Кількість теплоти Q , яка переноситься при теплопровідності за час t крізь площадку S , перпендикулярну напрямку перенесення теплоти, пропорційна градієнту температури dT/dx , площі S і часу t :

$$Q = -k \frac{dT}{dx} S t ,$$

k – коефіцієнт теплопровідності,

dT/dx – зміна температури на одиницю відстані в напрямку переносу речовини (градієнт температури). Знак « $-$ » указує на те, що перенос теплоти відбувається в напрямку зменшення температури.

Коефіцієнт теплопровідності газів визначається за формулою:

$$k = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle c_v \rho ,$$

$\langle v \rangle$ – середня арифметична швидкість молекул,

$\langle l \rangle$ – середня довжина вільного пробігу молекул,

c_v – питома теплоємність газу при ізохорному процесі,

ρ – густина газу.

5. В'язкість

В'язкістю (внутрішнім тертям) називається виникнення сил тертя між шарами рідини або газу, які рухаються один відносно одного з різними швидкостями.

Сили внутрішнього тертя спрямовані по дотичній до поверхні дотикання шарів. Обумовлена в'язкість тепловим рухом молекул при впорядкованому русі шарів газу або рідини з різними швидкостями один відносно одного. Завдяки хаотичному руху молекули із одного шару переміщуються в інший. При зіткненнях з молекулами іншого шару відбувається передача імпульсу. В результаті імпульс шару, що рухається швидше, зменшується, а імпульс шару, що рухається повільніше, збільшується. Тобто, шар, який рухається з більшою швидкістю, діє на повільніший шар з прискорюючою силою. А шар, який рухається з меншою швидкістю, сповільнює шар, що рухається швидше.

Закон Ньютона. Сила внутрішнього тертя F , яка діє на елемент поверхні між шарами площею S , пропорційна градієнту швидкості руху газу або рідини dU/dz в напрямку, перпендикулярному руху шарів, і площі S :

$$F = -\eta \frac{du}{dz} S,$$

η – коефіцієнт динамічної в'язкості (в'язкість), dU/dz – зміна швидкості шарів на одиницю відстані в напрямку, перпендикулярному руху шарів (градієнт швидкості). Знак « $-$ » указує на те, що перенос імпульсу відбувається в напрямку зменшення швидкості шарів.

Коефіцієнт динамічної в'язкості газів визначається за формулою:

$$\eta = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle \rho,$$

$\langle v \rangle$ – середня арифметична швидкість молекул,

$\langle l \rangle$ – середня довжина вільного пробігу молекул,

ρ – густина газу.

Крім динамічної в'язкості, користуються кінематичною в'язкістю: $\nu = \frac{\eta}{\rho}$.

Закономірності явищ дифузії, теплопровідності і в'язкості схожі між собою. В їх основі лежить перемішування молекул, яке обумовлене хаотичним рухом і взаємними зіткненнями.

Коефіцієнти дифузії D , теплопровідності k і в'язкості π пов'язані співвідношеннями:

$$\eta = \rho D \quad \text{і} \quad \frac{k}{\eta c_v} = 1.$$

ПРИКЛАД РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВОЇ ЗАДАЧІ.

Приклад 1. Знайти середню довжину вільного пробігу атомів гелію $\langle l \rangle$ за умов, що густина гелію дорівнює $\rho = 2,1 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$, а ефективний діаметр атомів гелію складає $d_{\text{еф}} = 1,9 \cdot 10^{-10} \text{ м}$.

Розв'язання.

Середню довжину вільного пробігу атомів гелію $\langle l \rangle$ можна визначити за форму-

лою $\langle l \rangle = \frac{1}{\pi \sqrt{2} n d_{\text{еф}}^2}$, де n – концентрація атомів газу в даних умовах. З рівняння Кла-

пейрона-Менделєєва випливає, що $\rho = \frac{\mu P}{RT} = \frac{\mu P}{N_A kT} = \frac{\mu}{N_A} n$.

$$\text{Звідки} \quad n = \frac{\rho N_A}{\mu}; \quad \langle l \rangle = \frac{\mu}{\pi \sqrt{2} d_{\text{еф}}^2 \rho N_A}; \quad \langle l \rangle = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}.$$

Приклад 2. Коефіцієнт дифузії водню за нормальних умов – D . Визначити коефіцієнт теплопровідності k водню, вважаючи газ ідеальним.

Розв'язання

Коефіцієнт теплопровідності газу $k = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle c_v \rho$, а коефіцієнт дифузії газу

$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle$, де $\langle v \rangle$ – середня арифметична швидкість молекул газу, $\langle l \rangle$ – середня

довжина вільного пробігу молекул газу, c_v – питома теплоємність газу при ізохорному процесі, ρ – густина газу.

Врахуємо, що $c_v = \frac{i}{2} \frac{R}{\mu}$, де $i = 5$ для двохатомних газів і отримаємо:

$$k = \frac{i}{2} D \rho \frac{R}{\mu} = \frac{5}{2} D \rho \frac{R}{\mu}.$$

ЗАДАЧІ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

1. Визначити, яка частина молекул газу пролітає без зіткнень відстані, що перевищують середню довжину вільного пробігу $\langle l \rangle$.
2. Визначити, яка частина молекул газу має довжини вільного пробігу в інтервалі від l до $2l$.
3. Знайти середню довжину вільного пробігу $\langle l \rangle$ молекул газоподібного азоту, що перебуває при нормальних умовах.
4. Знайти середній час $\langle t \rangle$ між зіткненнями молекул газоподібного кисню, що перебуває при нормальних умовах.
5. Знайти середню довжину вільного пробігу $\langle l \rangle$ і середній час між зіткненнями $\langle t \rangle$ молекул газоподібного азоту, що перебуває при температурі $t = 0^\circ\text{C}$ і тиску $P = 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ Па}$.
6. У скільки разів середня довжина вільного пробігу молекул азоту $\langle l \rangle$, що перебуває при нормальних умовах, більше середньої відстані між його молекулами $\langle S \rangle$?
7. Знайти за нормальних умов середню довжину вільного пробігу молекул газу $\langle l \rangle$, для якого поправка рівняння Ван дер Ваальса $b = 4,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{моль}$.
8. Азот перебуває при нормальних умовах. Знайти середнє число зіткнень $\langle N_0 \rangle$ однієї молекули за одну секунду.
9. Азот перебуває при нормальних умовах. Знайти число всіх зіткнень $\langle N_0 \rangle$, що відбуваються між молекулами в $V = 1 \text{ см}^3$ азоту щосекунди.

10. Знайти залежність середньої довжини вільного пробігу молекул $\langle l \rangle$ від абсолютної температури ідеального газу T при ізохорному процесі.
11. Знайти залежність середнього числа зіткнень кожної молекули в одиницю часу $\langle N_0 \rangle$ від абсолютної температури ідеального газу T при ізохорному процесі.
12. Знайти залежності середньої довжини вільного пробігу молекул $\langle l \rangle$ і середнього числа зіткнень кожної молекули в одиницю часу $\langle N_0 \rangle$ від абсолютної температури T ідеального газу при ізобарному процесі.
13. В результаті ізохорного процесу тиск ідеального газу зріс в α разів. У скільки разів змінилася середня довжина вільного пробігу молекул $\langle l \rangle$?
14. В результаті ізохорного процесу тиск ідеального газу зріс в n разів. У скільки разів змінилося середнє число зіткнень кожної молекули в одиницю часу $\langle N_0 \rangle$?
15. В результаті ізобарного процесу тиск ідеального газу зріс в α разів. У скільки разів змінилися середня довжина вільного пробігу молекул $\langle l \rangle$ і середнє число зіткнень кожної молекули в одиницю часу $\langle N_0 \rangle$?
16. Ідеальний газ, що складається із твердих двохатомних молекул, здійснює адіабатний процес. Знайти залежності середньої довжини вільного пробігу молекул $\langle l \rangle$ і середнього числа зіткнень кожної молекули в одиницю часу $\langle N_0 \rangle$ від об'єму V .
17. Ідеальний газ, що складається із твердих двохатомних молекул, здійснює адіабатний процес. Знайти залежності середньої довжини вільного пробігу молекул $\langle l \rangle$ і середнього числа зіткнень кожної молекули в одиницю часу $\langle N_0 \rangle$ від абсолютної температури T .
18. Ідеальний газ здійснює політропний процес із показником політропи n . Знайти залежності середньої довжини вільного пробігу молекул $\langle l \rangle$ і середнього числа зіткнень кожної молекули в одиницю часу $\langle N_0 \rangle$ від абсолютної температури T ; від об'єму V ; від тиску P .
19. В результаті деякого процесу коефіцієнт в'язкості ідеального газу η збільшився в 2 рази, а коефіцієнт дифузії D – в 4 рази. У скільки разів змінився тиск газу?

20. Як зміняться коефіцієнти дифузії D й в'язкості η ідеального газу, якщо об'єм газу V збільшити ізотермічно в α разів?
21. Як зміняться коефіцієнти дифузії D й в'язкості η ідеального газу, якщо об'єм газу V збільшити ізобарне в α разів?
22. Ідеальний газ складається із твердих двохатомних молекул. У скільки разів зміняться коефіцієнти дифузії D й в'язкості η , якщо об'єм газу V адіабатне зменшити в α разів?
23. Знайти показник політропи процесу n , що здійснюється ідеальним газом, при якому залишається незмінним коефіцієнт дифузії D .
24. Знайти показник політропи процесу n , що здійснюється ідеальним газом, при якому залишається незмінним коефіцієнт в'язкості η .
25. Коефіцієнт теплопровідності гелію в $k = 8,7$ разів більше, ніж аргону. Знайти відношення ефективних діаметрів атомів аргону й гелію.

Список використаної літератури.

1. Гаркуша І. П., Горбачу І. Т. та інш. Загальний курс фізики: Збірник задач. –К.: Техніка, 2004. – 560с.
2. Трофимова Т. И. Курс фізики. – М.: Высшая школа, 2001. – 542с.
3. Савельев И. В. Курс фізики. – М.: Наука, 1989, т.1. – 432с.
4. Яворский Б. М., Детлаф А.А. Справочник по фізице. – М.: Наука, 1980. 512с.
5. Король А. М., Андріяшик М. В. Фізика. Підручник для студентів вищих технічних навчальних закладів. - К.: Інкос, - 2006.-344с.
6. Чертов А. Г., Воробьев А. А. Задачник по фізице. – М.: Высшая школа, 1981. – 496с.
7. Гофман Ю. В. Законы, формулы, задачи по фізице. Справочник. – К.: Наукова думка. - 1977. – 576с.
8. Коршак Е. В., Гончаренко С. У., Коршак Н. М. Методика Розв'язання задач з фізики. Практикум. – К.: Вища школа. - 1976. –240с.
9. Взоров Н. Н., Замша О. И. и др. Сборник задач по общей фізице. – М.: Наука. - 1968. –208с.
10. Бендриков Г. А., Буховцев Б. Б. и др. Задачи по фізице для поступающих в вузы.– М.: Наука. - 1977. –384с.
11. Иродов И. Е. Задачи по общей фізице. – М.: Наука. - 1979. –368с.
12. Кравцов О. В., Гомонай О. В. Фізика. Навчальний посібник для слухачів ФДП НТУУ "КПІ". –К.:НТУУ "КПІ" . - 2006. -364с.
13. Гаркуша І. П., Горбач І. Т. та інш. Загальний курс фізики: Збірник задач. –К.: Техніка. - 2004. – 560с.
14. Корсак К. В. Фізика - Київ.: Вища школа. - 1994. - 430с.
15. Лаврова І. В. Курс фізики -М.: Просвещение. - 1981-256с.
16. Збірник різнорівневих завдань для державної підсумкової атестації з фізики. Гімназія Харків. - 2007-80 с.

17. Тесты Физика Задания для проверки знаний, учений и навыков выпускников общеобразовательных школ,лицеве и гимназий. -Киев Освіта 1993 Ежедельник.- 95с.
18. Серова Ф. Г., Янкина А. А. Сборник задач по термодинамике. -М.: Просвещение . -1976. -160с
19. Бендриков Г. А. Буховцев Б. Б., Керженцев В. В., Мякишев Г. Я.. Задачи по физике для поступающих в вузы. -М.:Просвещение – 1977. - 383с.

Додатки

Одиниці фізичних величин

У результаті узагальнення експериментальних фактів, а також результатів діяльності людей встановлюються фізичні закони - стійкі повторювані об'єктивні закономірності, які існують у природі. Найбільш важливі закони встановлюють зв'язок між фізичними величинами, для чого необхідно ці величини вимірювати. Вимір фізичної величини є дія, виконувана за допомогою засобів вимірів для знаходження значення фізичної величини в прийнятих одиницях. Одиниці фізичних величин можна вибрати довільно, але тоді виникнуть труднощі при їхньому порівнянні. Тому доцільно ввести систему одиниць, що охоплює одиниці всіх фізичних величин.

Для побудови системи одиниць довільно вибирають одиниці для декількох незалежних одна від однієї фізичних величин. Ці одиниці називаються основними. Інші ж величини і їхні одиниці виводяться із законів, які зв'язують ці величини і їхні одиниці з основними. Вони називаються похідними.

Зараз обов'язкова до застосування в науковій, а також у навчальній літературі Система Інтернаціональна (СІ), що базується на сімох основних одиницях - метр, кілограм, секунда, ампер, кельвін, моль, кандела - і двох додаткових - радіан і стерадіан.

Метр (м) - довжина шляху, що проходить світло у вакуумі за $1/299\,792\,458$ с.

Кілограм (кг) - маса, рівна масі міжнародного прототипу кілограма (платино-іридійового циліндра), що зберігається в Міжнародному бюро мір і ваг у Севрі, біля Парижа).

Секунда (с) - час, рівний 9192631770 періодам випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану атома цезію-133.

Ампер (А) — сила незмінного струму, що при проходженні по двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини малого поперечного перерізу, розташованим у вакуумі на відстані 1 м один від іншого, створює між цими провідниками силу взаємодії рівну $2 \cdot 10^{-7}$ Н на кожний метр довжини.

Кельвін (К) - $1/273,16$ частина термодинамічної температури потрійної точки води.

Моль (моль) — кількість речовини системи, що містить стільки ж структурних елементів, скільки атомів міститься в нукліді ^{12}C масою $0,012$ кг.

Кандела (кд) — сила світла в заданому напрямку джерела, що випускає монохроматичне випромінювання частотою $540 \cdot 10^{12}$ Гц, енергетична сила світла якого в цьому напрямі складає $1/683$ Вт/ср.

Радіан (рад) - кут між двома радіусами кола, довжина дуги між якими дорівнює радіусу.

Стерадіан (срад) - тілесний кут з вершиною в центрі сфери, що вирізує на поверхні сфери площу, рівну площі квадрата зі стороною, рівною радіусу сфери.

Для встановлення похідних одиниць використовують фізичні закони, які зв'язують їх з основними одиницями. Наприклад, з формули рівномірного прямолінійного руху

$v = \frac{S}{t}$ (S — пройдений шлях, t — час) похідна одиниця швидкості виходить рівною 1 м/с.

Фізичні сталі

Стала Авогадро	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$
Молярна газова стала	$8,31$ Дж/(моль·К)
Стала Больцмана	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Атомна одиниця маси	$1,660 \cdot 10^{-27}$ кг

Густина газів при нормальних умовах (кг/м 3)

азот.....	1,25
повітря.....	1,29
аргон.....	1,78
гелій	0,18
водень	0,09
кисень	1,43

Ефективний діаметр молекули (м)

азот.....	$3,0 \cdot 10^{-10}$	гелій	$1,9 \cdot 10^{-10}$
водень	$2,3 \cdot 10^{-10}$	кисень	$2,7 \cdot 10^{-10}$

Відносні атомні маси деяких елементів

азот	14	кисень.....	16
аргон	40	неон	20
водень.....	1	вуглець	12
гелій	4	хлор	35

Кількість ступенів волі молекули

одноатомної.....	$i = 3$	двохатомної з	
двохатомної з		пружним зв'язком...	$i = 6$
жорстким зв'язком...	$i = 5$	трьохатомної з	
		жорстким зв'язком...	$i = 6$

Густина речовин

Назва речовини	Густина, кг/м^3	Густина, г/см^3
алюміній	2700	2,7
бензин	710	0,71
береза	550	0,55
бетон	2100	2,1
бронза	8700	8,7
бук	800	0,8
верба	500	0,5
вода	1000	1
вода морська	1030	1,03
глина	2000	2
граніт	2700	2,7
гума	1150	1,15
дуб	800	0,8
ебоніт	1150	1,15

залізо	7800	7,8
золото	19300	19,3
корок	250	0,25
крейда	2000	2
липа	400	0,4
лід	900	0,9
мідь	8900	8,9
мед	1420	1,42
олія	920	0,92
парафін	900	0,9
пінопласт	50	0,05
повітря	1,29	0,00129
ртуть	13600	13,6
самшит	1100	1,1
скло	2600	2,6
сосна	550	0,55
спирт	790	0,79

Питома теплоємність речовин

Речовина	Питома теплоємність, <i>Дж/кг·°C</i>
азот	1 000
алюміній	880
вода	4 200
водень	1 400
кисень	920
лід	2 100
мідь	380
олово	230
повітря	1 000

ртуть	120
свинець	130
Спирт	2 400
Срібло	230
Сталь	460

Температура плавлення та кристалізації речовин

Речовина	Температура плавлення, °C
Алюміній	660
Лід	0
Мідь	1 083
Олово	232
Свинець	327
Срібло	960
Сталь	1 400

Питома теплота згоряння палива

Речовина	Питома теплота згоряння, Дж/кг
Бензин	44 000 000
Водень	120 000 000
Вугілля	27 000 000
дрова сухі	12 000 000
природний газ	44 000 000
Спирт	26 000 000

Температура кипіння та питома теплота пароутворення речовин

Речовина	Температура кипіння, °С	Питома теплота пароутворення, Дж/кг
вода	100	2 300 000
водень	-253	450 000
гелій	-269	
ефір	35	
ртуть	357	290 000
спирт	78	900 000

Залежність тиску та густини насиченої водяної пари від температури

Температура, t°С	Тиск насиченої водяної пари, кПа	Густина насиченої водяної пари $\rho/\text{м}^3$
-5	0,40	3,2
0	0,61	4,8
1	0,65	5,2
2	0,71	5,6
3	0,76	6,0
4	0,81	6,4
5	0,88	6,8
6	0,93	7,3
7	1,00	7,8
8	1,06	8,3
9	1,14	8,8
10	1,23	9,4
11	1,33	10,0
12	1,40	10,7
13	1,49	11,4
14	1,60	12,1

15	1,71	12,8
16	1,81	13,6
17	1,93	14,5
18	2,07	15,4
19	2,20	16,3
20	2,33	17,3

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних занять і тестові та контрольні завдання
з фізики за темами „Молекулярна фізика” та „Термодинаміка”
для студентів 1-го та 2-го курсів усіх напрямів підготовки**

Укладачі:

Татарченко Галина Олегівна
Холодняк Віктор Миколайович

Редактор
Техн. редактор
Оригінал - макет

Г.О. Татарченко
В.М Холодняк
В.М Холодняк

Підписано до друку 23.05.2016.

Формат 60x84 $\frac{1}{16}$. Папір типогр. Гарнітура Times.

Друк офсетний. Умов. друк. арк. _____. Обл.-вид. арк. _____.
Тираж ____ екз. Вид. № _____. Замов. № _____. Ціна договірна.

**Видавництво Східноукраїнського національного університету
імені Володимира Даля**

Свідоцтво про реєстрацію: серія ДК № 1620 від 18.12.03 р.

Адреса університету: просп. Центральний 59-А

м. Северодонецьк, 93400, Україна

e-mail: vidavnictvoSNU.ua@gmail.com.