

Міністерство освіти і науки України
Рівненський державний гуманітарний університет

Б.П.Дем'янюк

*Рейтинговий контроль
з молекулярної фізики*

РДГУ – 2007

ББК 22. 36я73
Д 32
УДК 539.19 (075.8)

Дем'янюк Б.П. Рейтинговий контроль з молекулярної фізики: Навчальний посібник. - Рівне: РДГУ, 2007.- 100 с.

Рекомендовано Вченою радою РДГУ (протокол №7 від 23.02.07 р.)

Рецензенти: професор кафедри фізики РДГУ Новоселецький М.Ю., професор кафедри методики викладання фізики та хімії РДГУ проф. Тищук В.І.

У посібнику до кожного змістового модуля з молекулярної фізики та основ термодинаміки подано комплекти завдань для рейтингового контролю самостійної роботи студентів спеціальності “фізики”. Комплекти містять якісні, розрахункові та графічні задачі, задачі–малюнки, фізичні диктанти, завдання для тестового контролю, пакети контрольних робіт, орієнтовні білети модульних екзаменів.

Для студентів і викладачів фізичних спеціальностей вищих закладів освіти III – IV рівнів акредитації.

© РДГУ, 2007

© Дем'янюк Б.П., 2007

*Учителю, наставнику,
професору, доктору хімічних наук,
Колупаєву Борисові Сергійовичу
в честь **70-річчя** присвячую*





Переднє слово

Сучасна парадигма вищої школи передбачає систему особистісно зорієнтованого навчання, яка перш за все забезпечує розуміння та усвідомлення студентами навчальної інформації, на основі чого і формуються необхідні за стандартом знання, уміння і навички (ЗУН) певного спрямування.

Особистісно зорієнтоване навчання (допомагає студенту усвідомити себе особистістю, виявити в собі можливості, які стимулюють самостановлення, самоствердження, самореалізацію) та індивідуально-зорієнтований підхід до нього (з урахуванням індивідуальних особливостей студентів для створення оптимальних умов реалізації потенційних можливостей кожного) вимагають від педагогів нетрадиційних технологій їх реалізації. Однією з таких технологій є кредитно-модульна система навчання в сучасних вищих закладах освіти. При цьому контроль ЗУН є невід'ємною складовою модульного навчання.

Досвід роботи середньої і вищої школи свідчить, що контроль є ефективним тільки тоді, коли дає змогу систематично стежити та впливати на зміст і методи навчання, а найголовніше – на систематичну і послідовну самостійну роботу студентів. Тому для досягнення необхідного рівня освіти з фізики необхідно правильно організувати контрольну-оцінкову діяльність із самоконтролю кожного студента.

Одним з ефективних методів контролю є рейтингова оцінка самостійної роботи студентів, яка дозволяє кожному викладачеві з оптимальною для навчального процесу періодичністю і варіативністю здійснювати контрольну-оцінкову діяльність у межах логічно-структурної схеми та робочої програми навчальної дисципліни.

Рейтингова технологія модульного контролю самостійної роботи дозволяє не тільки інтенсифікувати контрольну-оцінкову діяльність, а й забезпечує достатню демократизацію, диференціацію навчання та індивідуалізацію самого контролю, зокрема, використання різних форм

контролю, його варіантність, надання студентам заходів самоконтролю – типових задач, питань для само- і взаємоперевірки, тестових завдань, алгоритмічного спрямування діяльності і т. ін.

Модульно-рейтингова система навчання з молекулярної фізики на кафедрі фізики РДГУ здійснюється протягом десяти років. На основі здобутого досвіду автором було створено структурно-логічну схему викладання дисциплін та розроблено робочу навчальну програму з молекулярної фізики і термодинаміки. При цьому програмний матеріал реалізується через два навчальні модулі. Перший навчальний модуль поділений на три змістові модулі. По кожному модулю передбачено три основні форми контролю – самостійні короточасні (15 – 25 хв.) роботи, контрольні (2 годинні) планові роботи та модульний екзамен (письмовий, протягом 40 хв.). Усі контрольні заходи проводяться лише у письмовій формі (у тому числі задачі-малюнки, тестування і фізичні диктанти). Повторне складання модульного екзамену проводиться в усній формі. Це забезпечує необхідну об'єктивність в оцінці рівня ЗУН кожного студента.

Для оцінки ЗУН використовується достатньо знайома для випускників середніх шкіл 12-бальна шкала. З урахуванням другого навчального модуля (максимум – 12 балів) рейтингова кафедральна шкала з молекулярної фізики має максимум – 120 балів. Уніфікована університетська шкала – максимум 100 балів. Якщо для 100-бальної шкали середній інтервал рівнів поточних оцінок становить 14 балів, то для 120-бальної шкали – 20 балів. Це означає, що кафедральна шкала передбачає ширші можливості диференціації навчання та індивідуалізації контролю його якості.

Другий навчальний модуль передбачає індивідуальні науково-дослідні завдання, написання наукових рефератів (тематика містить 24 назви) з метою формування умінь викласти на науковій основі навчальний матеріал, підготувати повідомлення, виголосити доповідь, стисло висвітлити їх суть, швидко поставити дослід чи провести експеримент. Контроль

цього модуля здійснюється шляхом підсумкового тестування за матеріалом лабораторного практикуму або захисту рефератів.

У посібнику подаються комплекти завдань рейтингового контролю для кожного модуля. При цьому в комплектах подані пакети орієнтовних варіантів контрольних робіт, тестових завдань та білетів модульного екзамену. Варіанти короточасних самостійних робіт, фізичні диктанти, тематика наукових рефератів, орієнтаційні запитання спрямовані на розвиток і формування фізичного мислення студентів, їх уміння швидко орієнтуватися в суті проблеми, впровадження в практику фізично обґрунтованих ідей і т. ін. Залежно від пізнавальних можливостей студентів академічної групи може змінюватися як оптимальне число контрольних-оцінкових заходів, так і їх форми.

З метою успішної реалізації кредитно-модульного навчання і рейтингової технології оцінки його якості з молекулярної фізики на допомогу студентам був розроблений і виданий навчальний посібник (Дем'янюк Б. П. Молекулярна фізика. Практикум: Навчальний посібник. - Рівне: РДГУ, 2003. – 224 с.). Відповідно до нього була заново створена структурно-логічна схема і розроблена навчальна програма викладання молекулярної фізики і термодинаміки. Педагогічні передумови використання кредитно-модульної системи навчання у вищих закладах освіти викладені у посібнику “Деякі аспекти кредитно-модульного навчання фізики. Методичний посібник /Дем'янюк Б. П. – Рівне: РДГУ, 2005 – 48 с.”.

1.Перший навчальний модуль

Число змістових модулів – 3.

Загальна кількість годин – 161.

В тому числі:

лекцій – 48 год;

практичних занять – 36 год;

лабораторних занять – 34 год;

самостійна робота студентів – 43 год.

Максимальний рейтинг:

за кафедральною шкалою – 108 балів;

за шкалою РДГУ – 84 бали.

1.1. Перший змістовий модуль **“Основи молекулярно-кінетичної теорії речовини”**

Основні форми контролю:
самостійні короткочасні роботи (середній бал);
двохгодинна контрольна робота;
модульний екзамен (40-хвилинний письмовий колоквіум).

Максимальна кількість балів:
за кафедральною шкалою – 36;
за шкалою РДГУ – 28.

1.1.1. Перелік програмних питань:

1. Предмет молекулярної фізики. Термодинамічний і статистичний підходи до вивчення макроскопічних явищ.
2. Основні положення і експериментальні обґрунтування молекулярно-кінетичної теорії речовини.
3. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії газів.
4. Ідеальний газ. Температура і тиск газу. Вимірювання температури і тиску.
5. Параметри газу. Газові закони.
6. Рівняння Клапейрона-Менделєєва. Універсальна газова стала.
7. Основне рівняння кінетичної теорії газів. Молекулярно-кінетичне трактування температури і тиску.
8. Вимірювання швидкостей молекул. Дослід Штерна.
9. Розподіл молекул за швидкостями по Максвеллу. Експериментальне підтвердження розподілу Максвелла.
10. Барометрична формула.
11. Розподіли Больцмана, Максвелла-Больцмана.
12. Розподіл енергії за ступенями вільності.
13. Флуктуації в ідеальному газі і їх прояв.
14. Експериментальне визначення числа Авогадро.
15. Середня довжина і середній час вільного пробігу молекул.
16. Внутрішнє тертя в газах.

17. Внутрішнє тертя в газах при низьких тисках. Технічний вакуум. Методи вимірювання низьких тисків.
18. Теплопровідність газів. Закон Фур'є.
19. Дифузія газів. Закон Фіка.
20. Взаємозв'язок між коефіцієнтами переносу і характеристиками молекул. Співвідношення між коефіцієнтами дифузії, теплопровідності і динамічної в'язкості.

1.1.2.Орієнтаційні запитання

1. Які основні підходи використовуються для означення моделі ідеального газу? Які реальні об'єкти добре описуються цією моделлю?
2. Який молекулярний механізм тиску ідеального газу на стінки посудини? Чи залежить тиск газу від енергії молекул, їх концентрації?
3. Чому молекули ідеального газу рівномірно розподіляються по об'єму посудини?
4. В якому стані ідеального газу визначаються його параметри? Як встановити, що даний стан газу є рівноважним?
5. Як експериментально можна здійснити ізотермічний, ізохорний і ізобарний процеси?
6. Як з рівняння стану ідеального газу отримати газові закони? Поясніть фізичний зміст цих залежностей, відобразіть їх у відповідних координатах графічно.
7. Ідеальний газ знаходиться у мідній кулі, повітряній кулі, в термосі. Які параметри стану ідеального газу у наведених прикладах є внутрішніми, а які зовнішніми?
8. Маса ідеального газу m , його молярна маса M . Записати рівняння стану, використовуючи параметри p , V , T і число молів ν , число частинок в газі N , концентрацію молекул n , густину газу ρ .
9. Які модулі використовуються в молекулярній фізиці для спрощення вивчення властивостей систем?

10. Чим зумовлена хаотичність руху газових молекул?
11. На яких рівнях може розглядатися теорія ідеального газу? Яка різниця в цих підходах?
12. Молекулярний пучок являє собою сукупність великої кількості молекул, що не взаємодіють між собою і рухаються в однаковому напрямку з однаковими за величиною швидкостями. Чи можна такий пучок вважати статистичною системою?
13. В яких випадках у фізиці доцільно використовувати статистичний підхід?
14. Які статистичні величини використовуються в молекулярній фізиці?
15. В чому полягає статистичне тлумачення температури і тиску ідеального газу?
16. Що виражає основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії газів?
17. Енергія однієї молекули ідеального газу $\langle E_0 \rangle = \frac{3}{2} kT$. При $T=0$ $\langle E_0 \rangle$, а отже і $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 0$. Чи означає це, що при абсолютному нулю припиняється рух взагалі?
18. Чи відрізняються середні кінетичні енергії молекул різних газів, які знаходяться при однакових температурах?
19. Від яких факторів залежить величина теплової швидкості газових молекул?
20. У посудині знаходиться ідеальний газ у стані термодинамічної рівноваги при температурі T . Впливом зовнішніх полів можна знехтувати. Як знайти імовірність виявити молекулу в заданих інтервалах значень усіх складових швидкостей?
21. У посудині знаходиться ідеальний газ. Нехай у деякий момент часу ми визначили значення швидкості усіх молекул. Чи можна за цими даними стверджувати, що газ знаходиться у стані рівноваги?
22. Чи справедливий розподіл Максвелла для окремої молекули, яка знаходиться у вільному космосі; для пилінки,

завислої у кімнаті; для броунівської частинки, густина якої рівна густині води?

23. Чи справедливий розподіл Больцмана для броунівської частинки, густина якої дещо більша чи менша густини води?
24. Визначити імпульс сили, яка діє на молекулу при пружному ударі в нерухому стінку: а) при нормальному падінні; б) при падінні молекули під кутом до стінки.
25. До яких процесів слід відносити явища переносу в газах?
26. Які властивості рівноважного стану?
27. Яким чином можна порушити рівноважний розподіл?
28. Який молекулярний механізм відновлення рівноваги?
29. Чи не суперечать часті зіткнення між молекулами постулатам моделі ідеального газу?
30. Як залежать число зіткнень і довжина вільного пробігу молекул від параметрів стану газу?
31. Чим відрізняються умови протікання стаціонарних і нестаціонарних процесів переносу?
32. Запишіть феноменологічні рівняння для стаціонарних потоків перенесення. Охарактеризуйте фізичний зміст кінетичних коефіцієнтів переносу.
33. Подайте (через молекулярний розгляд) величини коефіцієнтів дифузії, в'язкості і теплопровідності. На яких наближеннях ґрунтується цей розгляд?

1.1.3. Орієнтовний пакет завдань модульного екзамену

Варіант №1

1. Явища переносу в газах. Потік величини. Стаціонарний перенос.
2. Рівняння стану ідеального газу, його аналіз.

Варіант №2

1. Флуктуації в ідеальному газі.
2. Найбільш імовірна швидкість газових молекул. Показати, що

$$v_i = \sqrt{\frac{2RT}{M}}.$$

Варіант №3

1. Розподіл Больцмана. Розподіл Максвелла-Больцмана.
2. Фізичний зміст співвідношення $\langle E_0 \rangle = \frac{i}{2} kT$.

Варіант №4

1. Взаємодія між молекулами газу. Ефективний діаметр молекул. Ефективний переріз. Формула Сазерленда.
2. Поняття про молекулу, атом, ізотоп, іон.

Варіант №5

1. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії речовини та експериментальне їх підтвердження.
2. Дифузія в газах. Показати, що $D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle$.

Варіант №6

1. Експериментальне визначення числа Авогадро (дослід Перрена).
2. Нормальні умови в молекулярній фізиці, сталі, які впливають з цих умов.

Варіант №7

1. Рівняння Менделєєва-Клапейрона (вивести).
2. Фізичний зміст температури. Вимірювання температур.

Варіант №8

1. Швидкості газових молекул. Співвідношення між ними.
2. Ізопроеци. Закони Шарля та Гей-Люссака.

Варіант №9

1. Експериментальне вимірювання швидкостей (дослід Штерна).
2. Поняття про ефективний діаметр, ефективний переріз молекул. Чи змінюється ефективний діаметр молекул при зміні температури газу?

Варіант №10

1. Параметри системи. Фізичний зміст вимірювання об'єму, тиску і температури.
2. Показати, що $p = nkT$. Який фізичний зміст k ?

Варіант №11

1. Основні уявлення молекулярно-кінетичної теорії газів.

2. Зв'язок між коефіцієнтами переносу. Показати, що

$$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle.$$

Варіант №12

1. Термодинамічний і статистичний підходи до вивчення макроскопічних систем.

2. Внутрішнє тертя в газах. Довести, що $\eta = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle \rho$.

Варіант №13

1. Температурні шкали. Зв'язок між ними.

2. Закони Бойля-Маріотта і Шарля. Які процеси описують ці закони і для яких газів?

Варіант №14

1. Основне рівняння кінетичної теорії газів (вивід).

2. Які умови у фізиці вважаються нормальними? Які сталі випливають з цих умов.

Варіант №15

1. Середня довжина вільного пробігу молекул і середнє число зіткнень молекул. Середній час вільного пробігу молекул.

2. Розподіл енергії за ступенями вільності.

Варіант №16

1. Експериментальне визначення числа Авогадро (дослід Перрена).

2. Нормальні умови в молекулярній фізиці, сталі, які впливають з цих умов

Варіант №17

1. Розподіли Больцмана, Максвелла-Больцмана.

2. Фізичний зміст співвідношення $\langle E_0 \rangle = \frac{i}{2} kT$.

Варіант №18

1. Барометрична формула.

2. Яка модель ідеального газу? Які реальні гази можна вважати як ідеальні?

Варіант №19

1. Розподіл енергії за ступенями вільності. Як обчислити енергію теплового руху одно-, дво- і багатоатомного газу?
2. Інтенсивні та екстенсивні параметри. Зовнішні параметри.

Варіант №20

1. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії речовини і її експериментальне обґрунтування.
2. Дифузія в газах. Показати, що $D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle$.

Варіант №21

1. Розподіл швидкостей за Максвеллом. Експериментальне підтвердження розподілу.
2. Фізичний зміст R та k (сталі Больцмана).

Варіант №22

1. Рівняння Менделєєва-Клапейрона (вивести і пояснити).
2. Фізичний зміст температури. Вимірювання температур.

Варіант №23

1. Швидкості газових молекул. Співвідношення між ними.
Показати, що $\langle v_{\text{кв}} \rangle = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$.
2. Закони Шарля та Гей-Люссака. Які процеси описують ці закони? До яких газів вони можуть застосовуватися?

Варіант №24

1. Температурні шкали. Зв'язок між ними.
2. Закони Бойля-Маріотта і Шарля. Які процеси описують ці значення і для яких газів?

Варіант №25

1. Параметри системи. Фізичний зміст. Вимірювання об'єму, тиску і температури.
2. Теплопровідність газів. Довести, що $\lambda = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle \rho c_v$.

Варіант №26

1. Експериментальне вимірювання швидкостей газових молекул (дослід Штерна, досліди Ламмерта та Елдріджа).

2. Закон Гей-Люссака. Довести, що $\frac{V}{T} = const.$

Варіант №27

1. Основні уявлення молекулярно-кінетичної теорії газів.

2. Виходячи з основного рівняння молекулярно-кінетичної теорії показати, що $p = nkT$. Який зміст k , T ?

Варіант №28

1. Термодинамічний і статистичний підходи до вивчення макроскопічних систем.

2. Внутрішнє тертя в газах. Довести, що $\eta = \frac{1}{3} \langle v \rangle \langle l \rangle \rho$.

Варіант №29

1. Основне рівняння кінетичної теорії газів (вивід).

2. Доведіть, що $R = 8,31$ Дж/(моль·К).

1.1.4. Пакети рівневих завдань до контрольної роботи “Основи молекулярно-кінетичної теорії газів”

1.1.4.1. Пакет I

Варіант №1

1. Визначити об'єм одного кмоль кисню.

2. Балон ємністю V , наповнений газом при тиску p і температурі T зважується. Його вага рівна F_1 . Потім з балона відкачують газ, поки тиск не впаде до p_1 . Вага балона стає рівною F_2 . Визначити густину газу при нормальних умовах.

3. Визначити тиск і молярну масу суміші газів з 10 г кисню і 10 г азоту, які займають об'єм 20 л при температурі 150°C .

4. Тиск газу $p = 10^{-6}$ мм рт. ст., концентрація молекул $n = 10^9$ см $^{-3}$. Знайти: 1) середню кінетичну енергію поступального руху однієї молекули; 2) температуру газу.

Варіант №2

1. Скільки молекул міститься в 80 г метану (CH_4)?

2. Яка густина повітря в балоні, якщо тиск $p = 5$ атм, а температура $t = 10^{\circ}\text{C}$?

3. Знайти молярну масу суміші 25 г кисню, 75 г азоту і 100 г вуглекислого газу CO_2 .
4. Газ займає об'єм $V = 2$ л при тиску $p = 5$ атм. Знайти сумарну кінетичну енергію поступального руху молекул газу.

Варіант №3

1. Визначити масу атома водню за числом Авогардо і молярною масою. Який діаметр цього атома?
2. Визначити тиск 4 кг кисню, що знаходиться в балоні місткістю $V = 2$ м³ при температурі $t = 29$ °С. Яка кількість молів кисню міститься в цьому балоні?
3. Скляний балон об'ємом 1 л був наповнений газом при тиску $p = 10^5$ Па і заважив 0,9898 Н. Потім частина газу була видалена так, що тиск в балоні впав до $p_1 = 5 \cdot 10^4$ Па. Вага балона стала рівною 0,9800 Н. Яка густина газу при нормальному атмосферному тиску? Температура постійна.
4. Знайти температуру газу, якщо середня кінетична енергія поступального руху його молекул рівна $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

Варіант №4

1. Скільки молекул міститься в 3 см³ кисню при нормальних умовах?
2. Визначити числове значення газової сталої R в одиницях системи СІ.
3. Балон містить в собі стиснений газ при температурі 27°С та тиску 40 атм. Який буде тиск, якщо з балона випущено половина маси газу, а температура знизилась до 12°С?
4. Балон містить водень масою $m = 10$ г при температурі $t = 7$ °С. Знайти сумарну кінетичну енергію поступального руху молекул.

Варіант №5

1. Визначити об'єм і діаметр молекули CO_2 .
2. У балоні знаходиться газ метан під тиском $p = 200$ атм та при температурі $t = 27$ °С. Знайти густину газу в балоні.
3. Циліндр ділиться на дві частини рухомим поршнем. Знайти рівноважне положення поршня, коли в кожному з частин циліндричного об'єму поміщені однакові маси кисню і водню. Довжина циліндра 85 см.

4. Балон містить азот масою $m = 2$ г при температурі $t = 7^{\circ}\text{C}$. Визначити сумарну кінетичну енергію поступального руху всіх молекул газу.

1.1.4.2. Пакет II

Варіант 1

1. Оболонка аеростата об'ємом $V = 1600$ м³, який знаходиться на поверхні Землі, заповнена на $n = 7/8$ при тиску $p = 101$ кПа і температурі $t = 15^{\circ}\text{C}$. Аеростат піднявся на деяку висоту, де тиск $p_1 = 79,3$ кПа і температура $t_1 = 2^{\circ}\text{C}$. Скільки водню втратив аеростат при своєму підйомі в результаті розширення газу?
2. Знайти середню квадратичну швидкість молекул газу, густина якого при тиску 750 мм рт.ст. рівна $8,2 \cdot 10^{-5}$ г/см³. Чому рівна маса одного кмоля цього газу, якщо значення густини дано для температури 17°C ?
3. Які тиск і число молекул в одиниці об'єму повітря на висоті 2 км над рівнем моря? Тиск на рівні моря 101 кПа, а температура 10°C . Зміною температури з висотою знехтувати.
4. Знайти для кисню при нормальних умовах довжину вільного пробігу молекул при збільшенні температури вдвоє, якщо нагрівання відбувається: а) ізохорно; б) ізобарно?

Варіант 2

1. В посудину об'ємом 1 л запущено $m = 0,28$ г азоту. Азот нагрітий до $t = 1500^{\circ}\text{C}$. При цій температурі $\alpha = 30\%$ молекул азоту дисоціюють на атоми. Визначити тиск в посудині.
2. Яке число молекул двоатомного газу займають об'єм $V = 10$ см³ при тиску $p = 40$ мм рт.ст. і при температурі $t = 27^{\circ}\text{C}$? Якою сумарною енергією теплового руху володіють ці молекули?
3. Визначити відношення числа молекул водню, які володіють швидкостями в інтервалі від 2 до 2,01 км/с, до числа молекул, які володіють швидкостями від 1,0 до 1,01 км/с, якщо температура водню 0°C .

4. Стальний стержень довжиною 40 см і перерізом 6 см^2 нагрівається так, що з одного кінця його температура підтримується в 350°C , а з другого знаходиться лід при 0°C . Вважаючи, що передача тепла здійснюється вздовж стержня, обчислити масу льоду, який розплавиться за 6 хв. Коефіцієнт теплопровідності сталі $67,2 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$.

Варіант 3

1. В балон ємністю $V = 110 \text{ л}$ вміщено $m_1 = 0,8 \text{ кг}$ водню і $m_2 = 1,6 \text{ кг}$ кисню. Знайти тиск суміші на стінки посудини. Температура оточуючого середовища $t = 27^\circ\text{C}$.
2. 1 кг двохатомного газу знаходиться під тиском $p = 8 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ і має густину $\rho = 4 \text{ кг/м}^3$. Знайти енергію теплового руху молекул газу при цих умовах.
3. Яка частина молекул кисню володіє швидкостями, які відрізняються від найімовірнішої не більше ніж на 10 м/с при температурах 0° і 300° ?
4. В алюмінієвій каструлі кипить вода. Знайти різницю температур нижньої і верхньої поверхонь дна каструлі, якщо товщина дна 2 мм , площа дна 400 см^2 і в каструлі за 5 хв . википає 180 г води. Тепловіддачею через бокові стінки знехтувати.

Варіант 4

1. До якої температури треба нагріти кулю, яка має $m = 17,5 \text{ г}$ води, щоб вона розірвалася, якщо відомо, що стінки запаяної кулі витримують тиск 10^7 Па ? Об'єм кулі $V = 1 \text{ л}$.
2. Чому рівна енергія теплового руху 20 г кисню при температурі 10°C ? Яка частина цієї енергії припадає на долю поступального руху і яка на долю обертального?
3. Водень знаходиться при нормальних умовах і займає об'єм $V = 1 \text{ см}^3$. Визначити число молекул в цьому об'ємі, які володіють швидкостями, меншими від деякого значення $v_{\text{max}} = 1 \text{ м/с}$.
4. Скільки теплоти пройде за одну годину внаслідок теплопровідності через вікно з подвійною рамою, якщо площа вікна 1 м^2 ? Відстань між склом рам 10 см , температура назовні -27°C , всередині приміщення $+23^\circ\text{C}$.

Варіант 5

1. Яка частина газу лишилась в балоні, тиск в якому був рівний $p = 1,2 \cdot 10^7$ Па, а температура $t = 27^\circ\text{C}$, якщо тиск впав до $p_1 = 10^5$ Па? Балон при цьому охолов до $t_1 = -23^\circ\text{C}$.
2. В посудині об'ємом 2 л знаходиться 10 г кисню при тиску 680 мм рт.ст. Знайти: а) середню квадратичну швидкість молекул газу; б) число молекул, які знаходяться в посудині; в) густину газу.
3. В деякому об'ємі газу знаходиться число молекул, рівне сталій Авогадро N_A . Приймаючи цей газ за ідеальний, визначити число ΔN молекул, швидкості яких менші 0,001 найбільш імовірної.
4. Знайти ефективний діаметр молекули кисню, якщо відомо, що для кисню коефіцієнт внутрішнього тертя при 0°C рівний $18,8 \cdot 10^{-6}$ Н·с/м².

Варіант 6

1. Скільки молекул повітря виходить з кімнати об'ємом $V = 120 \text{ м}^3$ при підвищенні температури від $t_1 = 15^\circ\text{C}$ до $t_2 = 25^\circ\text{C}$? Атмосферний тиск $p_0 = 10^5$ Па.
2. Густина деякого газу рівна $6 \cdot 10^{-2}$ кг/м³, середня квадратична швидкість молекул цього газу рівна 500 м/с. Знайти тиск, який газ чинить на стінки посудини.
3. Пилинки масою $m = 10^{-18}$ г зависли в повітрі. Визначити товщину шару Δh повітря, в межах якого концентрація пилинок відрізняється не більше як на 1%. Температура повітря T в деякому об'ємі однакова і рівна 300 К.
4. Середня довжина вільного пробігу молекули вуглекислого газу при нормальних умовах рівна $4 \cdot 10^{-8}$ см. Яка середня арифметична швидкість молекул? Скільки зіткнень на 1 с здійснює молекула?

Варіант 7

1. Яка різниця в масі повітря, що заповнює приміщення об'ємом $V = 50 \text{ м}^3$, зимою і літом, якщо літом температура приміщення досягає $t_1 = 40^\circ\text{C}$, а зимою падає до $t = 0^\circ\text{C}$? Тиск нормальний.

- Знайти число молекул водню в 1 см^3 , якщо тиск рівний 200 мм рт.ст. , а середня квадратична швидкість його молекул при даних умовах рівна 2400 м/с .
- При якій температурі число молекул кисню, які володіють швидкостями в інтервалі $399 - 401 \text{ м/с}$, рівне числу молекул з швидкостями в інтервалі $699 - 701 \text{ м/с}$?
- При нормальному тиску $\langle l \rangle$ молекули повітря рівна $6,21 \cdot 10^{-8} \text{ м}$. Знайти середню довжину вільного пробігу молекул повітря при надвисокому вакуумі ($10^{-11} \text{ мм рт.ст.}$). Температуру вважати постійною.

Варіант 8

- Який тиск p газу в електричній лампочці, об'єм якої $V = 1 \text{ л}$, якщо при відламуванні її кінчика під поверхнею води на глибині $h = 1 \text{ м}$ в лампочку зайшло $m = 998,7 \text{ г}$ води? Атмосферний тиск нормальний.
- Макроскопічна пилінка вуглецю володіє масою $1 \cdot 10^{-10} \text{ г}$. Визначити з якого числа атомів вона складається.
- Яка частина молекул газу має кінетичну енергію поступального руху, яка відмінна від середньої кінетичної енергії поступального руху не більше як на 1% ?
- В сферичній посудині об'ємом 2 дм^3 знаходиться водень. При якій густині водню його молекули не будуть стикатися одна з одною?

1.1.5. Тестові завдання “Елементи МКТ речовини”

Завдання:

- Яку систему називають статистичною?
- Які тіла називають макроскопічними?
- Що визначає порядковий номер елемента в таблиці Менделєєва?
- Який заряд має атом?
- Як визначається молярна маса суміші?
- Що таке відносна молекулярна маса?
- Що називають атомом?

8. Що називають молем?
9. Що називають молекулою?
10. Яка маса називається молярною?
11. Чим відрізняються молекули різних речовин?
12. Дайте означення відносної атомної маси?
13. Сформулюйте основні положення МКТ будови речовини.

Відповіді (правильна лише одна):

1. Молярною масою називають сукупну масу молекул речовини.
2. Порядковий номер в таблиці Менделєєва визначає число нейтронів у ядрі.
3. Система, яка складається з великої, але скінченої кількості структурних елементів, називається статистичною.
4. Макроскопічні тіла – системи, які володіють значними об'ємами та масами.
5. Відносна атомна маса визначається відношенням маси електронів до маси нейтронів, що містяться в атомі.
6. Речовина складається з молекул (атомів), які рухаються і взаємодіють між собою.
7. Макроскопічні тіла – тіла, які складаються з великої кількості молекул (порядку тисяч і сотні тисяч).
8. Статистична система – замкнута система, яка не обмінюється речовиною з оточуючим середовищем.
9. Молярна маса суміші визначається за формулою

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n M_i}, \text{ де } m_i, M_i, \text{ відповідно маса } i \text{ молекули і молярна маса } i\text{-ої}$$

компоненти суміші.

10. Молекули різних речовин мають різне число атомів різних елементів.
11. Молем називають кількість речовини, яка містить стільки структурних елементів, скільки міститься атомів в 0,012 кг ізотопу вуглецю ^{12}C .

12. Молекули різних речовин мають різне число атомів.
13. Моль дорівнює кількості речовин, яка міститься в одиниці її об'єму.
14. Відносною молекулярною масою речовини називають відношення середньої маси молекули до $1/12$ маси атома вуглецю ^{12}C : $M_2 = \frac{\langle m_M \rangle}{1/2m_{^{12}\text{C}}}$.
15. Атом електронейтральний – його заряд рівний нулю.
16. Заряд атома визначається сукупним зарядом електронів.
17. Атом – найменша частина даного хімічного елемента, яка зберігає його хімічні властивості.
18. Молекулою називають найменшу стійку частинку речовини, яка зберігає її хімічні властивості.
19. Масу моля речовини, виражену в кг, називають молярною масою.
20. Молекула – найменша частинка хімічного елемента, яка зберігає його фізичні властивості.
21. Відносною атомною масою хімічного елемента називають відношення маси атома цього елемента до $1/2$ маси ізотопу вуглецю ^{12}C : $A_2 = \frac{m_a}{1/2m_{^{12}\text{C}}}$.
22. Відносна молекулярна маса визначається відношенням маси молекули до маси нуклонів ядер атомів, з яких складається молекула.
23. Порядковий номер елемента в таблиці Менделєєва визначає число протонів в атомі.
24. Речовина складається з макромолекул, що обертаються та взаємодіють між собою.
25. Молярна маса суміші визначається як $M = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{v_1 + v_2 + \dots + v_n}$, де m_i , v_i – маса та число молів i -ої компоненти суміші.
26. Атом – найменша частинка речовини, яка зберігає її хімічні та фізичні властивості.

1.1.6. Фізичний диктант “Газові закони. Рівняння стану”

1. Ідеальний газ – модель газу, в якій нехтують між молекулами та власними молекул.
2. Усі гази при середніх (кімнатних) температурах та низьких тисках (близьких до атмосферного) можна вважати за газ.
3. Зміну параметрів газу називають
4. При ізопроцесах змінюються два основні параметри, третій залишається
5. Параметри, які обумовлюються розміщення зовнішніх тіл називають До них належить, наприклад,
6. При ізотермічному процесі тиск газу пропорційний об’єму. Рівняння цього процесу записується у вигляді
7. При підвищенні температури на 1°C об’єм газу при сталому тиску збільшується на об’єму, який газ займав при
8. Рівняння $\frac{p}{T} = \text{const}$ описує процес і на діаграмі (p, T) відображається, яку називають
9. На діаграмі (p, T) ізобара відображається, яка поблизу абсолютного нуля штрихується або зовсім не проводиться.
10. Поблизу абсолютного нуля закон ідеального газу не виконується, бо при цих температурах гази
11. Рівняння $\frac{V}{T}$ описує процес і на діаграмі (V, T) відображається лінією, яку називають
12. Рівняння $pV = \frac{m}{M}RT$ називають Воно справджується лише для газу, або газів, які

13. Універсальна газова стала R чисельно рівна, яку виконує газ при розширенні внаслідок нагрівання на

1.1.7. Пакети самостійних аудиторних робіт

1.1.7.1. Пакет I “Елементи МКТ речовини”

Варіант 1

Мікроскопічна пилінка вуглецю має масу 0,1 нг. Визначити з якого числа атомів вона складається.

Варіант 2

Скільки атомів і молекул знаходиться в азоті масою 1 г, якщо ступінь дисоціації азоту 7%?

Варіант 3

Радонові лікувальні ванни містять $1,8 \cdot 10^6$ атомів радону у воді об'ємом 1 л. На скільки молекул води припадає один атом радону в такій ванні?

Варіант 4

Скільки молекул міститься в 1 м^3 води? Яка маса молекули води? Який діаметр молекули води?

Варіант 5

Скільки молекул кисню міститься в 1 дм^3 ? В 1 кг? Умови нормальні.

Варіант 6

Знайти масу: а) одного кубічного метра, б) одного літра повітря при нормальних умовах. Яка маса молекули повітря?

Варіант 7

Змішано 20 г азоту, 40 г кисню і 40 г вуглекислого газу. Яка молярна маса цієї суміші?

Варіант 8

Знайти число атомів, які містяться в 1 м^3 кисню при нормальних умовах.

Варіант 9

Визначити кількість речовини в молях, яка знаходиться в 1 кг ртуті; $5,6 \text{ дм}^3$ кисню при нормальних умовах.

Варіант 10

Знайти кількість речовини, яка знаходиться в 6 г вуглекислого газу. Скільки молекул газу знаходиться в даній масі?

Варіант 11

Знайти число молекул, які знаходяться в 0,5 кг кисню; в 5,0 см³ вуглекислого газу при нормальних умовах.

1.1.7.2. Пакет II “Закони ідеального газу”

Варіант 1

Циліндр довжиною $l = 1,6$ м заповнений повітрям при нормальному атмосферному тиску. Знайти силу, яка буде діяти на поршень, який вводиться в циліндр, якщо він зупинений на відстані $l_1 = 0,1$ м від дна циліндра. $D_{\text{циліндра}} = 0,2$ м.

Варіант 2

Ємність об'ємом $V = 20$ л вміщує суміш водню і гелію при $t = 20^\circ\text{C}$ і тиску $p = 2,0$ атм. Маса суміші $m = 5,0$ г. Знайти відношення маси водню до маси гелію в даній суміші.

Варіант 3

При нагріванні деякої маси газу на $\Delta t = 1$ град при нормальному тиску його об'єм збільшився на $\frac{1}{350}$ початкового об'єму.

Знайти початкову температуру газу.

Варіант 4

Легкорозтяжну повітряну кулю масою $m_1 = 100$ кг заповнено $m_2 = 200$ кг азоту при нормальному атмосферному тиску. До якої температури треба нагріти азот у теплоізолюючій повітряній кулі, щоб вона піднялася?

Варіант 5

У закритій посудині спочатку знаходилось $m = 0,56$ кг азоту. Внаслідок витікання газу через тріщину та зниження в результаті цього температури на 15%, тиск у посудині через деякий час зменшився на 25%. Яка кількість молекул азоту вийшла з посудини за цей час?

Варіант 6

З кисневого балона місткістю $V = 0,1 \text{ м}^3$ і початковим тиском $p = 12,5 \text{ МПа}$ при температурі $t_1 = 25^\circ\text{C}$ повільно виходить газ. Яка маса кисню вийшла, якщо при підвищенні температури до 35°C тиск у балоні не змінився?

Варіант 7

У двох посудинах місткістю $V_1 = 2 \text{ л}$ і $V_2 = 5 \text{ л}$ знаходяться однакові гази при тисках відповідно $p_1 = 0,5 \text{ МПа}$ і $p_2 = 0,7 \text{ МПа}$ та температурах $t_1 = 27^\circ\text{C}$ і $t_2 = 127^\circ\text{C}$. Який тиск і яка температура встановиться у посудинах після з'єднання їх трубкою і змішування газів?

Варіант 8

У двох балонах газобалонного автомобіля міститься газ (паливо для двигуна) під тиском $p_1 = 20,26 \text{ МПа}$. Місткість кожного балона $V = 0,08 \text{ м}^3$. Яка маса газу була витрачена за час поїздки, якщо тиск у балонах знизився до $p_2 = 10, 13 \text{ МПа}$? Температура газу $t_0 = 0^\circ\text{C}$. Густина палива при нормальних умовах $\rho = 0,6 \text{ кг/м}^3$.

Варіант 9

Густина газу при тиску $0,20 \text{ МПа}$ і температурі 7°C рівна $2,41 \text{ кг/м}^3$. Яка маса 1 моля цього газу?

Варіант 10

Визначити густину суміші, яка складається з гелію масою 8 г і аргону 4 г , при температурі 17°C і тиску $0,1 \text{ МПа}$.

1.1.7.3. Пакет III. “Основне рівняння МКТ”

Варіант 1

Знайти концентрацію молекул водню в посудині при тиску $p = 0,3 \text{ кПа}$ і температурі, при якій середня квадратична швидкість молекул водню $\langle v_{\text{кв}} \rangle = 2,7 \text{ км/с}$. Якщо енергією обертального руху володіють молекули водню при цих умовах? Яка середня арифметична швидкість молекул водню?

Варіант 2

Обчислити середню квадратичну швидкість завислої в повітрі пилінки масою $m = 10 \text{ нг}$ і порівняти її з середньою

квадратичною швидкістю молекул повітря при тій самій температурі $t = 22^{\circ}\text{C}$. Якою енергією поступального руху володіють пилінки та молекула повітря?

Варіант 3

Обчислити середню квадратичну швидкість молекул двохатомного газу, якщо відомо, що середня кінетична енергія теплового руху молекул цього газу масою $m = 32$ г дорівнює $\langle E \rangle = 2,8$ кДж. Знайти середню арифметичну і найбільш імовірну швидкість молекул цього газу при заданих умовах?

Варіант 4

При тиску $p = 100$ кПа в 1 м^3 знаходиться $n = 2,7 \cdot 10^{25}$ молекул повітря. Обчислити їхню найбільш імовірну швидкість. Яка маса молекул повітря?

Варіант 5

Визначити середню квадратичну швидкість молекул азоту, якщо відомо, що при тиску $p = 50$ кПа їхня концентрація $n = 1,3 \cdot 10^{25} \text{ м}^{-3}$. Яка маса молекули азоту?

Варіант 6

При температурі $t = 527^{\circ}\text{C}$ найбільш імовірна швидкість молекул деякого газу $v_i = 1820$ м/с. Встановити, який це газ. Якою енергією поступального руху володіють молекули цього газу?

1.1.7.4. Пакет IV “Статистичні розподіли”

Варіант 1

1. Балон ємністю 20 л наповнений киснем при температурі 15°C . Коли частину кисню витратили, тиск у балоні зменшився на $4,9 \cdot 10^5$ Па. Скільки кг кисню було витрачено?
2. Яка частина молекул вуглекислоти при температурі 27°C володіє швидкостями, які лежать в інтервалі від 2000 до 2005 м/с?

Варіант 2

1. Знайти число молекул в одиниці об'єму і густину водню при тиску 10^{-8} мм рт.ст. і кімнатній температурі.

2. Яка частка молекул вуглекислого газу володіє швидкостями, які лежать в інтервалі від 600 до 601 м/с при температурі 300К?

Варіант 3

1. Яка частка молекул водню при температурі 27 °С володіє швидкостями, які лежать в інтервалі від 1995 до 2005 м/с?
2. Обчислити середню квадратичну швидкість і середню кінетичну енергію поступального руху молекул водяної пари при температурі 27 °С.

Варіант 4

1. В 10 см³ ртутної пари знаходиться $7,3 \cdot 10^{16}$ молекул, середня квадратична швидкість яких 100 м/с. Визначити тиск пари і її температуру.
2. Знайти тиск і концентрацію молекул повітря на висоті 3000 м над рівнем моря, якщо тиск на рівні моря 10^5 Па, а температура 13 °С. Зміною температури з висотою знехтувати.

Варіант 5

1. Скільки молекул кисню знаходиться в посудині об'ємом 10м³, якщо при хаотичному русі з швидкістю 400 м/с вони чинять на стінку посудини тиск 0,1 атм?
2. Який відсоток молекул володіють швидкостями, які відрізняються від найбільш імовірної не більше як на 0,4%?

Варіант 6

1. Знайти кінетичну енергію обертального руху молекули при температурі 13 °С, а також повну енергію обертального руху молекул, які наявні в 4 г кисню.
2. Тиск повітря на рівні моря 750 мм рт.ст., а на вершині гори 600 мм рт.ст. Яка висота гори, якщо температура повітря 17°С?

Варіант 7

1. У повітрі знаходяться краплі масла діаметром 10^{-6} м. Знайти їх середню квадратичну швидкість при температурі 17°С. Густина масла $0,8 \cdot 10^3$ кг/м³.
2. На якій глибині в шахті густина повітря збільшиться в 2 рази? Вважати температуру повітря в шахті постійною і рівною 0°С.

Варіант 8

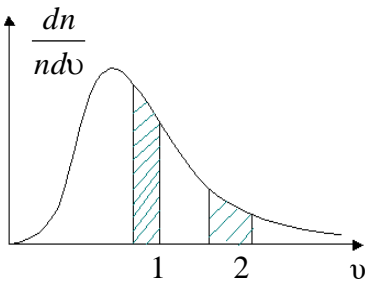
1. Об'єм кімнати рівний 20 м^3 . Маса повітря в кімнаті змінилась на $1,3 \text{ кг}$. На скільки при цьому змінилась температура, якщо атмосферний тиск нормальний, а початкова температура 15°C ?
2. На якій висоті густина повітря в 2 рази менша, ніж на рівні моря? Температуру вважати постійною і рівною 0°C .

Варіант 9

1. Густина деякого газу при 10°C і тиску $2 \cdot 10^5 \text{ Па}$ рівна $0,34 \text{ кг/м}^3$. Який це газ?
2. Знайти кількість молекул азоту, що містяться при нормальних умовах в 1 см^3 і мають швидкість від 99 м/с до 101 м/с .

Варіант 10

1. Знайти тиск і концентрацію молекул повітря на висоті 3000 м над рівнем моря, якщо тиск на рівні моря 10^5 Н/м^2 , а температура 13°C . Зміною температури з висотою знехтувати.



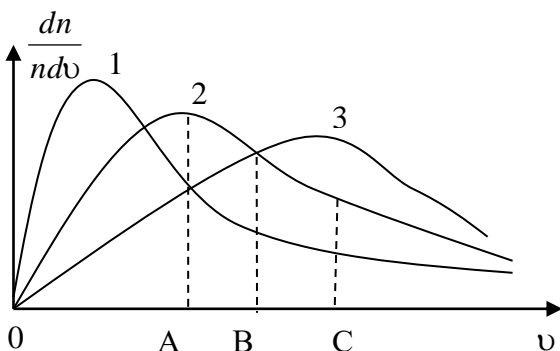
2. Площі заштрихованих ділянок 1 і 2 на кривій максвеллівського розподілу однакові. Котрій з ділянок відповідає більше число молекул Δn ? Котрій з цих ділянок відповідає більша середня кінетична енергія молекул $\langle E \rangle$? Що означає, що крива розподілу проходить

через початок координат?

Варіант 11

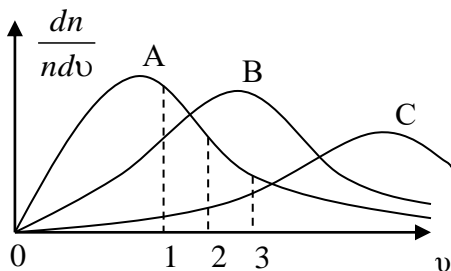
1. На якій глибині в шахті густина повітря збільшується в 2 рази? Вважати температуру повітря в шахті постійною і рівною 0°C .
2. Котра із кривих розподілу відповідає вищій температурі? Котра із швидкостей для ізотерми 2 є найімовірнішою, середньоарифметичною? Як зміниться середня квадратична

швидкість молекул газу, якщо його температура зростає в 3 рази?



Варіант 12

1. На якій висоті густина повітря в 2 рази менша, ніж на рівні моря? Температуру вважати незмінною і рівною 0°C .
2. На кривій розподілу виділені два інтервали швидкостей, причому $v_2 - v_1 = v_3 - v_2$.



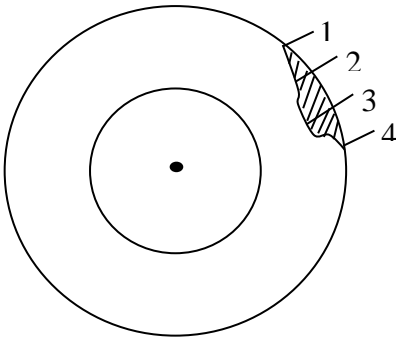
Котрому з цих інтервалів відповідає більше число молекул? Котрому з цих інтервалів відповідає більша середня кінетична енергія молекул?

Котра з кривих відповідає найнижчій температурі?

Варіант 13

1. На якій висоті над поверхнею Землі парціальний тиск вуглекислого газу зменшується в 2 рази? Температуру атмосфери вважати сталою і такою, що дорівнює 17°C .
2. В яку із точок (див. мал.) у досліді Штерна потрапляють молекули з швидкістю, що перевищує наймовірнішу? До якої

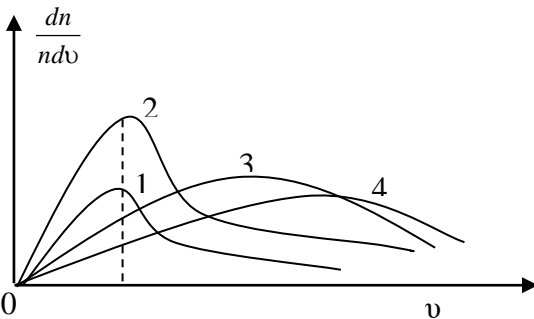
температури в досліді Штерна розігрівалась платинова нитка?
 Яка була швидкість обертання циліндрів?



Варіант 14

1. Літак здійснює політ на висоті 10000 м. Для зручності пасажирів в кабіні підтримується тиск, який відповідає тиску на висоті 2000 м. Знайти:

- а) різницю тисків повітря в середині і ззовні літака, якщо температура постійна на всіх висотах і рівна $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- б) знайти розривну силу, що діє на кожний погонний метр



фюзеляжа, якщо діаметр корпусу 3 м.

2. Що виражає U у формулі $n = n_0 e^{-\frac{U}{kT}}$ у випадку розподілу молекул в полі земного тяжіння?

Яке співвідношення (див. мал.) між

температурами T_1, T_2, T_3, T_4 ? Яке співвідношення між числом молекул n_2, n_3, n_4 , якщо площі під кривими розподілу 2, 3, 4 однакові?

1.1.7.5. Пакет V. “Явища переносу в газах”

Варіант 1

1. Знайти середню довжину вільного пробігу молекул азоту при температурі $t = 77 \text{ }^{\circ}\text{C}$ і тиску $p = 133 \text{ Па}$.
2. Температура газу зросла у 4 рази, а його концентрація зменшилася у стільки ж разів. Чи змінилося при цьому (при незмінних всіх інших параметрах) число зіткнень молекул за 1с?

Варіант 2

1. Знайти густину водню в посудині, якщо відомо, що середня довжина вільного пробігу його молекул рівна 1,2 мм.
2. Якого порядку $\langle l \rangle$ молекул газу при нормальних умовах?

Варіант 3

1. У балоні електролампочки об'ємом 100 см^3 міститься 100 мг гелію. Знайти середню довжину вільного пробігу молекул гелію.
2. У деякій посудині за рахунок зміни об'єму концентрація газу зросла у 2 рази. Чи змінилася при цьому $\langle l \rangle$ газу?

Варіант 4

1. Газоподібний кисень знаходиться при нормальних умовах. Обчислити середню кількість зіткнень, яких зазнає кожна молекула кисню за одиницю часу, та число всіх зіткнень молекул в 1 м^3 за одну секунду.
2. Кожні два атоми змішуваних газів утворили молекулу з ефективним діаметром у 4 рази більшим, ніж діаметр атомів. Чи змінилася при цьому $\langle l \rangle$?

Варіант 5

1. У сферичній колбі місткістю $V = 3 \text{ дм}^3$ знаходиться водяна пара. При якій густині водяної пари середня довжина вільного пробігу її молекул буде більшою від розмірів посудини?
2. Чи залежить $\langle l \rangle$ від температури, якщо густина газу не змінюється?

Варіант 6

1. Колба об'ємом 10^{-3} м^3 містить $1,5 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$ водню під тиском $2 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$. Яка середня квадратична швидкість молекул в колбі? Яке число зіткнень за 1 с відбувається в колбі?
2. Чи можна вважати вакуум $10^{-6} \text{ мм рт.ст.}$ високим, якщо він створений у колбі діаметром 0,5 м, в якій міститься кисень при $0 \text{ }^\circ\text{C}$?

Варіант 7

1. 3 балона ємністю 10 л, наповненого стиснутим воднем, через несправність вентиля витікає газ. При температурі $7 \text{ }^\circ\text{C}$ манометр показав тиск $50 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Через деякий час при температурі 17°C манометр показав такий же тиск. Знайти масу газу, який витік з балона.
2. Знайти ефективний діаметр молекули кисню, якщо відомо, що для кисню коефіцієнт внутрішнього тертя при $0 \text{ }^\circ\text{C}$ рівний $18,8 \cdot 10^{-6} \text{ Н}\cdot\text{с/м}^2$.

Варіант 8

1. Середня довжина вільного пробігу молекул гелію при нормальних умовах 0,23 мкм. Знайти коефіцієнт дифузії гелію при цих умовах.
2. Виразити число зіткнень однієї молекули з іншими протягом 1с і число зіткнень між усіма молекулами за 1 с в 1 м^3 . Від яких факторів залежить число зіткнень між молекулами ідеального газу?

Варіант 9

1. Теплопровідність трьохатомного газу із жорсткими (об'ємними) молекулами рівна $1,45 \text{ сВт/(м}\cdot\text{К)}$, а коефіцієнт дифузії при цих умовах $10 \text{ мкм}^2/\text{с}$. Визначити число молекул газу в об'ємі 1 м^3 при цих умовах.
2. Чому рівна середня довжина вільного пробігу молекул гелію при нормальних умовах?

Варіант 10

1. Скільки зіткнень за 1 с зазнають молекули вуглекислого газу при нормальних умовах?
2. Обчислити коефіцієнт дифузії і динамічну в'язкість азоту при тиску $0,10 \text{ МПа}$ і температурі 7°C .

1.2. Другий змістовий модуль “Основи термодинаміки”

Основні форми контролю:
самостійні короткочасні роботи (середній бал);
2-ох годинна контрольна робота;
модульний екзамен (40-хвилинний письмовий колоквіум).

Максимальна кількість балів:
за кафедральною шкалою – 36;
за шкалою РДГУ – 36.

1.2.1. Перелік програмних питань

1. Термодинамічна система. Термодинамічна рівновага. Параметри стану. Внутрішня енергія системи.
2. Робота і теплота як форми передачі енергії.
3. Теплоємність речовини. Теплоємність ідеального газу.
4. Перший закон термодинаміки.
5. Застосування першого закону термодинаміки до аналізу ізопроцесів.
6. Адіабатний процес. Рівняння Пуассона. Рівняння Майєра. Робота при адіабатному процесі.
7. Оборотні і необоротні процеси. Цикли.
8. Теплові машини. Цикл Карно. ККД циклу Карно.
9. Приведена теплота. Нерівність Клаузіуса. Другий закон термодинаміки.
10. Ентропія.
11. Ентропія і термодинамічна імовірність.
12. Статистичне тлумачення другого закону термодинаміки.
13. Основне рівняння термодинаміки.
14. Розрахунок зміни ентропії для різних процесів.
15. Межі застосування другого закону термодинаміки.
16. Третій закон термодинаміки.

1.2.2.Орієнтаційні запитання

1. Якими способами можна змінити внутрішню енергію ідеального газу, який знаходиться в закритому поршнем циліндрі з металевими стінками? з теплоізольованими стінками?
2. Який молекулярний механізм адіабатного нагрівання і охолодження газу?
3. За рахунок якого джерела енергії здійснюється робота при ізотермічному, ізобарному, адіабатному розширенні ідеального газу? Як її визначити аналітично і графічно для кожного із зазначених процесів?
4. Як забезпечити квазістатичність ізохорного, ізобарного, ізотермічного і адіабатного процесів?
5. Як залежить внутрішня енергія ідеального газу від числа ступенів вільності його молекул? Чим визначається число ступенів вільності (навести приклади)?
6. При одній і тій же температурі в однакових об'ємах знаходиться по одному молю одноатомного і багатоатомного газів. Чи однакові тиски чинять ці гази на стінки посудин?
7. Система переведена з відомого стану 1 у відомий стан 2 при допомозі невідомого процесу. Чи можна визначити виконану роботу? отриману кількість теплоти? приріст внутрішньої енергії?
8. Чи є функцією стану теплоємність системи? При яких умовах можливе однозначне визначення теплоємності?
9. Визначити теплоємність газу в ізохорному, ізотермічному і адіабатному процесах. Чи може теплоємність ідеального газу в будь-якому процесі бути від'ємною?
10. Однакові маси газу знаходяться при одній і тій же температурі в різних за об'ємом посудинах. В якому випадку ентропія системи більша?
11. Однакові маси газу знаходяться в однакових за об'ємом посудинах при різних температурах. В якому випадку ентропія системи більша?

12. Система перейшла із стану з меншим значенням ентропії в стан з більшим значенням ентропії. Як при цьому зміняться параметри системи? Конкретизуйте відповідь для ідеального газу.
13. Ідеальний газ нагрівали від температури T_1 до температури T_2 один раз ізохорно, а другий – ізобарно. В якому випадку буде більша зміна ентропії?
14. Визначте зміну ентропії при оборотному адіабатному процесі розширення (стиснення) газу. Поясніть фізичну суть результату.
15. Чи можна змінити ентропію ідеального газу, не надаючи йому певної кількості теплоти?
16. Які характерні особливості необоротних процесів? Наведіть приклади відомих вам необоротних процесів.
17. Чи можна стверджувати, що для будь-якого елементарного процесу справедливе співвідношення $dS = \frac{d'Q}{T}$?
18. Система перейшла із стану 1 в стан 2 явно необоротним шляхом. Чи можна визначити зміну ентропії в цьому процесі?
19. Як змінюється ентропія системи при наближенні її температури до абсолютного нуля? Поясніть фізичний зміст результату.
20. Чому для роботи теплової машини необхідний циклічний процес? Яка роль нагрівника і холодильника?
21. В чому перевага циклу Карно над іншими циклами? Як зміниться ККД циклу, якщо робоче тіло охолоджувати не за рахунок адіабатного процесу, а безпосередньо в холодильнику? Чому?
22. Доведіть теорему Карно, використовуючи властивість ентропії як функції стану.
23. На малюнку відображені цикли двох теплових машин. Яка машина має більший коефіцієнт корисної дії? Яка машина виконує більшу роботу?
24. Чи можливий процес, при якому вся теплота віднята від резервуара (нагрівника), перетворюється в роботу?

25. Як зміниться температура повітря в кімнаті, якщо побутовий холодильник буде працювати при відкритих дверцятах?

1.2.3.Орієнтовний пакет завдань модульного екзамену

Варіант №1

1. Перший закон термодинаміки.
- 2.Що таке холодильна машина? За яким циклом вона працює в ідеальному варіанті?

Варіант №2

- 1.Цикл Карно, його модель і ККД.
- 2.Чи можна передати тілу деяку кількість теплоти, не викликаючи цим підвищення його температури?

Варіант №3

- 1.Адіабатний процес. Рівняння Пуассона (без виведення). Робота газу при адіабатному процесі.
- 2.Які зміни внутрішньої енергії термодинамічної системи відбуваються при здійсненні прямого циклу Карно?

Варіант №4

- 1.Перший закон термодинаміки і його застосування до аналізу ізотермічного та ізохорного процесів.
- 2.Три гази He, H₂ і CO₂ (по 1 молю) нагріли ізохорно до однакової температури. У котрого газу найбільша зміна ентропії?

Варіант №5

- 1.Робота і теплота як форми передачі енергії від системи до системи.
- 2.Як ефективніше збільшити ККД теплової машини, що працює за циклом Карно, підвищенням температури нагрівника T_1 при сталій температурі холодильника T_2 чи зниження T_2 при сталій T_1 ?

Варіант №6

- 1.Внутрішня енергія термодинамічної системи.
- 2.Молярні теплоємності при сталому тиску і об'ємі. Взаємозв'язок між ними (встановити).

Варіант №7

1. Ентропія системи. Статистичне тлумачення II-го закону термодинаміки.
2. Як зміниться температура ідеального газу, якщо при зменшенні його об'єму у 2 рази і тиск зменшився у 2 рази?

Варіант №8

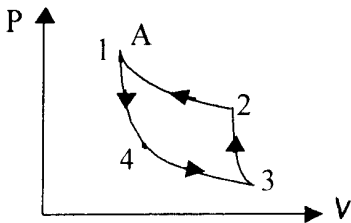
1. Перший закон термодинаміки.
2. Що таке холодильна машина? За яким циклом вона працює в ідеальному варіанті?

Варіант №9

1. Політропний процес.
2. Чому з висотою зменшується температура земної атмосфери?

Варіант №10

1. Адіабатний процес. Рівняння Пуассона (вивід).
2. Які зміни внутрішньої енергії термодинамічної системи відбуваються при здійсненні зворотного (оберненого) циклу Карно із точки А?



Варіант №11

1. Адіабатний процес. Рівняння Пуассона, (без виведення). Робота газу при адіабатному процесі.
3. Які зміни внутрішньої енергії термодинамічної системи відбуваються при здійсненні прямого циклу Карно?

Варіант №12

1. Перший закон термодинаміки і його застосування до аналізу ізотермічного та ізохорного процесів.

2. Три гази He, H₂ і CO₂ (по 1 молю) нагріли ізохорно до однакової температури. У котрого газу найбільша зміна ентропії?

Варіант №13

1. Робота і теплота як форми передачі енергії від системи до системи.
2. Як ефективніше збільшити ККД теплової машини, що працює за циклом Карно, підвищенням температури нагрівника T_1 при сталій температурі холодильника T_2 чи зниження T_2 при сталій T_1 ?

Варіант №14

1. Внутрішня енергія термодинамічної системи.
2. Молярні теплоємності при сталому тиску і об'ємі. Взаємозв'язок між ними (встановити).

Варіант №15

1. Рівняння Пуассона. Показник адіабаты.
2. Чому теплова машина повинна мати холодильник з температурою нижчою за температуру нагрівника?

Варіант №16

1. Теплоємність ідеального газу.
2. Теорема Карно.

Варіант №17

1. Адіабатний процес. Рівняння Пуассона (без виведення). Робота при адіабатному процесі.
2. Яких змін може зазнавати ентропія ізольованої системи?

Варіант №18

1. Цикл Карно, його моделювання, ККД циклу Карно.
2. Як зміниться абсолютна температура ідеального газу, якщо при збільшенні його об'єму у два рази тиск збільшився у п'ять разів?

Варіант №19

1. Теплові машини. ККД теплової машини.
2. Чому з висотою температура атмосфери знижується?

Варіант №20

1. Адіабатний процес. Рівняння Пуассона (без виведення). Робота при адіабатному процесі.

2. Яких змін може зазнавати ентропія ізольованої системи?

Варіант №21

1. Перше начало (закон) термодинаміки.
2. Два тіла з температурами $T_1 > T_2$ приведені в стикання і теплоізолювані від навколишнього середовища. Як у процесі теплообміну будуть змінюватися ентропія кожного з тіл і сумарна ентропія обох тіл?

Варіант №22

1. Границі застосування II-го закону термодинаміки.
2. Визначити за класичними підходами молярні теплоємності для одноатомних, двоатомних і багатоатомних газів (ідеальних).

Варіант №23

1. Застосування першого закону термодинаміки до аналізу адіабатного процесу.
2. Третій закон термодинаміки.

Варіант №24

1. Приведена теплота. Нерівність Клаузіуса.
2. Котра із величин, що входять у I-ий закон термодинаміки залежить від температури? Чи можна говорити, що тіло має запас певної кількості теплоти?

Варіант №25

1. Застосування I-го закону термодинаміки до аналізу ізобарного і ізохорного процесів.
2. Які умови мають виконуватися, щоб процес був оборотним?

Варіант №26

1. Перше начало (закон) термодинаміки.
2. Два тіла з температурами $T_1 > T_2$ приведені в стикання і теплоізолювані від навколишнього середовища. Як у процесі теплообміну будуть змінюватися ентропія кожного з тіл і сумарна ентропія обох тіл?

Варіант №27

1. Адіабатний процес. Рівняння Пуассона
2. Якою площею на діаграмі прямого циклу Карно виразиться робота теплової машини? Котрий із зазначених на діаграмі

процесів є адіабатним? Яка із площ фігур на цій діаграмі зображає роботу при ізотермічному стисненні?

Варіант №28

1. Основні поняття термодинаміки: теплота, робота і внутрішня енергія.
2. Яких умов потрібно дотримуватися, щоб процес був оборотним?

1.2.4. Пакети завдань до контрольної роботи
“Основи термодинаміки”

Варіант 1

1. Питома теплоємність при сталому тиску деякого газу $970 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, молярна маса – $30 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$. Знайти, яким числом ступенів вільності володіють молекули цього газу.
2. При зменшенні об'єму кисню від $V_1 = 20 \text{ дм}^3$ до $V_2 = 10 \text{ дм}^3$ його тиск зріс від $p_1 = 0,1 \text{ МПа}$ до $p_2 = 0,25 \text{ МПа}$. Який приріст внутрішньої енергії газу?
3. Газ, який здійснює цикл Карно, $\frac{3}{4}$ теплоти, отриманої від нагрівника, віддає холодильнику. Температура холодильника 0°C . Яка температура нагрівника?
4. Знайти зміну ентропії при ізобарному розширенні 16 г гелію від 20 до 50л.

Варіант 2

1. Різниця між питомими теплоємностями при сталому тиску і сталому об'ємі деякого газу складає $260 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$. Знайти молярну масу даного газу.
2. Аргон масою 10 г нагрітий на 100 К при сталому тиску. Знайти кількість теплоти, наданої газу, приріст внутрішньої енергії і роботу, виконану газом.
3. Теплову машину, яка працює за циклом Карно з $\text{ККД} = 20\%$, використовують при тих же умовах як холодильник. Знайти холодильний коефіцієнт такої машини.
4. Кусок льоду масою 200 г, взятий при -10°C , нагрітий до 0°C і розплавлений, після чого утворена вода нагріта на 10°C . Знайти зміну ентропії.

Варіант 3

1. Густина деякого газу при нормальних умовах $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$. Відношення питомих теплоємностей 1,4. Знайти питомі теплоємності c_p і c_v цього газу.
2. Під час ізобарного стиску при початковій температурі 100°C об'єм кисню масою 10 кг зменшився в 1,25 разів. Знайти виконану газом роботу і кількість відведеної теплоти.
3. Газ здійснює цикл Карно. Робота ізотермічного розширення газу складає 5 Дж. Знайти роботу ізотермічного стиску, якщо $\eta = 0,2$.
4. Знайти зміну ентропії ΔS при конденсації $m = 1 \text{ кг}$ пари, яка знаходилася при температурі 100°C , у воду і наступним охолодженням води до 20°C . Конденсація пари відбувається при нормальному тиску, теплоємність води не залежить від температури.

Варіант 4

1. Знайти γ для суміші, яка складається з водню масою 4 г і вуглекислого газу масою 22 г.
2. Двохатомний ідеальний газ, який знаходиться в деякому початковому стані, стискується до об'єму, в 10 разів меншого за початковий. Стиск відбувається один раз ізотермічно, а другий – адіабатно. При якому процесі і в скільки разів робота буде більшою? В результаті якого процесу зросте внутрішня енергія і в скільки разів?
3. Найменший об'єм газу, що здійснює цикл Карно, 12 дм^3 . Знайти найбільший об'єм, якщо об'єм газу в кінці ізотермічного розширення 60 дм^3 , а в кінці ізотермічного стиску – 19 дм^3 .
4. Знайти зміну ентропії при розширенні 200 г водню від об'єму 15 л до 45 л, якщо процес відбувається: при сталому тиску; при сталій температурі.

Варіант 5

1. Кількість теплоти, необхідна для нагрівання газу на 25 К при сталому тиску, рівна 500 Дж, а кількість теплоти, яка виділяється при охолодженні того ж газу на 75 К при постійному об'ємі, 1,07 кДж. Знайти γ даного газу.

2. Азот при тиску 10^5 Па і температурі $T = 293$ К займає об'єм 10^{-2} м³. Газ розширюється вдвоє. Знайти кінцевий тиск і роботу, яку виконує газ, при процесах: а) ізобарному; б) ізотермічному; в) адіабатному.
3. ККД циклу Карно $\eta = 0,35$. Температура нагрівника 600 К. Знайти роботу, що витрачається для адіабатного стиску 1 кмоль двохатомного газу.
4. Знайти приріст ентропії 2 кмоль ідеального трьохатомного газу при нагріванні його від 0 до 500°C , якщо процес нагрівання відбувається: а) при $p = \text{const}$; б) при $V = \text{const}$.

Варіант 6

1. Які питомі теплоємності c_p і c_v суміші кисню масою $m_1 = 10$ г і азоту масою $m_2 = 20$ г?
2. Азот, який мав температуру 27°C , був адіабатно стиснутий так, що його об'єм зменшився в 10 разів. Маса газу 6 г. Знайти кінцеву температуру газу і роботу стиснення.
3. Знайти ККД циклу, який складається з двох ізобар і двох ізотерм.
4. Знайти зміну ентропії при перетворенні 10 г льоду, взятого при -20°C , в пару при 100°C .

Варіант 7

1. Визначити питомі теплоємності c_p і c_v азоту, нагрітого до 400°C , якщо відомо, що при цьому 20% молекул дисоціювали на атоми.
2. В закритій посудині об'ємом 5 л знаходиться водень при температурі 27°C і тиску 760 мм рт.ст. Водень охолоджують до температури -183°C . Знайти: а) тиск в посудині після охолодження; б) кількість відданої газом теплоти; в) зміну внутрішньої енергії.
3. Ідеальна теплова машина, яка працює по циклу Карно, передає тепло від холодильника з водою при температурі 0°C кип'ятильнику при температурі 100°C . Яку кількість води треба заморозити в холодильнику, щоб перетворити в пару 1 кг води в кип'ятильнику?
4. В результаті ізохорного нагрівання одного грама водню тиск газу збільшився в два рази. Знайти зміну ентропії.

Варіант 8

1. Знайти зміну ентропії при ізобарному розширенні 16 г гелію від 20 до 50л.
2. Газ здійснює цикл Карно. Робота ізотермічного стиску газу рівна 4 Дж. Знайти роботу ізотермічного розширення газу, якщо термічний коефіцієнт корисної дії циклу рівний 0,2.
3. Маса атома деякого одноатомного газу рівна $6,6 \cdot 10^{-27}$ кг. Знайти питому теплоємність цього газу при постійному об'ємі.
4. 0,2 кг азоту нагрівають при постійному тиску від 20 до 100°C. Яка кількість теплоти поглинається при цьому? Який приріст внутрішньої енергії? Яку зовнішню роботу виконав газ?

1.2.5. Тестові завдання по темі

“Перший закон термодинаміки і його застосування до аналізу ізопроцесів”

Завдання:

1. Як формулюється перший закон термодинаміки?
2. Чим обумовлюється внутрішня енергія ідеального газу?
3. Які є форми передачі енергії в ідеальному газі?
4. Чим відрізняються теплота і робота як форми передачі енергії?
5. Чи справедливе твердження, що у рівноважному стані система володіє внутрішньою енергією, теплотою і оцінюється певною роботою?
6. Формула $Q = \frac{m}{M} C_p (T_2 - T_1) \dots$
7. Формула $A = p(V_2 - V_1)$ визначає ...
8. Рівняння $p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$ характеризує ...
9. Яке співвідношення між молярними і питомими теплоємностями?

Відповіді (одна правильна):

1. Внутрішня енергія ідеального газу обумовлюється потенціальною енергією взаємодії його молекул та внутріатомною енергією його атомів.
2. Робота і теплота є функціями процесу, лише внутрішня енергія функцією стану.
3. ... визначає кількість теплоти, отриману газом при ізобарному процесі.
4. Отримана газом теплота йде на збільшення його внутрішньої енергії та виконання роботи проти зовнішніх сил: $d'Q = dU + d'A$.
5. ... визначає кількість теплоти, отриманої газом при ізотермічному процесі.
6. Внутрішня енергія ідеального газу визначається кінетичною енергією теплового руху його молекул.
7. ... визначає роботу газу при ізобарному процесі.
8. Теплота є формою передачі енергії хаотичного руху, а робота – направленого руху.
9. Внутрішня енергія є функцією стану системи, а теплота і робота – функції процесу.
10. ... роботу газу при ізохорному процесі.
11. Зміна внутрішньої енергії газу відбувається при поглинанні газом теплоти та виконанні роботи над системою зовнішніми силами: $dU = d'Q + d'A'$.
12. ... адіабатний процес і називається рівнянням Пуассона.
13. В ідеальному газі енергія передається шляхом виконання над газом роботи або передачі газу певної кількості теплоти.
14. ... характеризує політропний процес і називається рівнянням політропи.
15. Молярна теплоємність C визначається через питому теплоємність як $C_p = Mc_p$; $C_V = Mc_V$.
16. Питома теплоємність виражається через молярну як $c_p = MC_p$; $c_V = MC_V$.
17. В ідеальному газі енергія передається при зіткненнях молекул, шляхом конвекції та теплового випромінювання.

18. При виконанні над системою роботи змінюється її внутрішня енергія та кінетична і потенціальна енергія системи як цілого.

1.2.6. Пакети завдань до самостійних аудиторних робіт

1.2.6.1. Пакет I. “Перший закон термодинаміки. Теплоємність газу”

Варіант 1

При деякій температурі питома теплоємність метану при сталому тиску дорівнює 2373 Дж/(кг·К). Чи “розморожені” частково коливальні вільності молекул метану при цій температурі?

Варіант 2

Різниця питомих теплоємностей для деякого газу $c_p - c_v = 189$ Дж/(кг К). Визначити, який це газ.

Варіант 3

Визначити питомі теплоємності c_p і c_v деякого газу, якщо відомо, що його густина при нормальних умовах $\rho = 1,43$ кг/м³, а відношення молярних теплоємностей дорівнює 1,4. Який це газ?

Варіант 4

При нагріванні 1 кг невідомого газу в балоні на 1 К при сталому об’ємі витрачається 704,8 Дж теплоти, а при сталому тиску 958,8 Дж. Встановити, який це газ?

Варіант 5

Кисень масою 80 г ізобарно нагрівають від 15 до 115 °С. Визначити: а) роботу, виконану газом; б) зміну внутрішньої енергії; в) кількість підведеної теплоти.

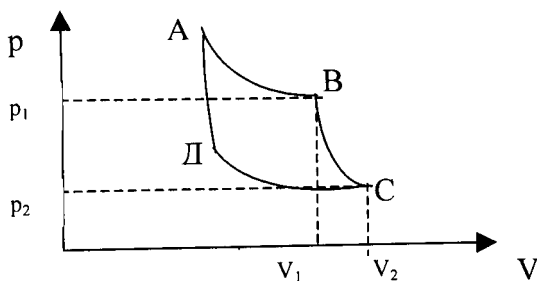
Варіант 6

При розширенні маси $m = 56$ г азоту виконана робота $A = 28$ Дж. Яка кількість теплоти була надана газу, якщо процес його розширення відбувся: а) ізобарно; б) ізотермічно?

1.2.6.2. Пакет II. “Законы термодинамики. Энтропия”

Варіант 1

1. Кисень масою $m = 2$ кг збільшив свій об'єм V в 5 разів, один раз ізотермічно при температурі $t_1 = 10^\circ\text{C}$, другий раз - ізотермічно при температурі $t_2 = 100^\circ\text{C}$, третій раз - адіабатно. Яка буде зміна ентропії в кожному з цих випадків?
2. Двохатомний газ здійснив цикл Карно, графік якого подано на малюнку. Об'єм газу в станах В і С відповідно $V_1 = 12$ л, $V_2 = 16$ л. Знайти ККД циклу.



3. Кисень, який займав об'єм $V = 1$ л при тиску $p = 12$ атм, адіабатно розширюється до об'єму $V_2 = 10$ л. Знайти роботу розширення газу.

Варіант 2

1. Азот масою $m = 5$ кг, нагрітий на $\Delta T = 150$ К, зберіг незмінним об'єм V . Знайти теплоту Q , надану газу, зміну ΔU внутрішньої енергії і виконану газом роботу.
2. У результаті кругового процесу газ виконав роботу $A = 1$ Дж і передав холодильнику теплоту $Q = 4,2$ Дж. Знайти ККД циклу.
3. Водень масою $m = 100$ г був ізобарно нагрітий так, що його об'єм V збільшився втричі, потім водень був ізохорно охолоджений так, що тиск p його зменшився в три рази. Знайти зміну ΔS ентропії.

Варіант 3

1. Знайти зміну ентропії при ізобарному розширенні азоту масою $m = 4$ г від об'єму 5 л до об'єму 9 л.

2. Найменший об'єм газу, який здійснює цикл Карно, $V_1 = 153$ л. Знайти найбільший об'єм V_3 , якщо об'єм газу в кінці ізотермічного розширення $V_2 = 189$ л, а в кінці ізотермічного стиску $V_4 = 600$ л.
3. Азот масою $m = 2$ г, який мав температуру $t_1 = 27^\circ\text{C}$ був адіабатне стиснутий так, що його об'єм зменшився в 10 разів. Знайти кінцеву температуру газу і роботу стиснення.

Варіант 4

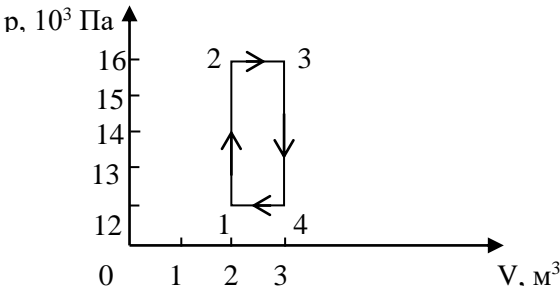
1. Азот масою $m = 2$ г, який мав температуру $t_1 = 27^\circ\text{C}$ був адіабатне стиснутий так, що його об'єм зменшився в 10 разів. Знайти кінцеву температуру t_2 газу і роботу A стиснення.
2. Здійснюючи замкнений цикл, газ отримав від нагрівника теплоту $Q = 4190$ Дж. Яку роботу A здійснив газ в результаті протікання цього процесу (циклу), якщо $\eta = 0,1$?
3. У результаті ізохорного нагрівання водню масою $m = 1$ г тиск p газу збільшився в 2 рази. Знайти зміну ентропії газу.

Варіант 5

1. Лід масою $m_1 = 2$ кг при $t_1 = 0^\circ\text{C}$ був перетворений у воду тієї ж температури при допомозі пари, яка мала $t_2 = 100^\circ\text{C}$. Знайти масу пари m_2 . Яка зміна ентропії системи лід-пара при таненні льоду.
2. Газ здійснює цикл Карно. Робота ізотермічного розширення газу $A_1 = 5$ Дж. Знайти роботу A_2 ізотермічного стиску, якщо η циклу 0,2.
3. Повітря, яке знаходиться під тиском $p_1 = 10^5$ Па, було адіабатне стиснуто до тиску $p_2 = 10^6$ Па. Який буде тиск p_3 , коли стиснене повітря, зберігаючи незмінним об'єм, охолодиться до початкової температури?

Варіант 6

1. Водень займає об'єм $V = 10\text{м}^3$ при $p = 10^5$ Па. Газ нагріли при $V = \text{const}$ до $p = 3 \cdot 10^5$ Па. Знайти зміну внутрішньої енергії газу, роботу, виконану газом, і теплоту, надану газу.
2. 1 кмоль двохатомного газу здійснив замкнений цикл, графік якого приведено на малюнку. Знайти Q_1 , Q_2 , A і η цього циклу.



3. Кусок льоду масою $m = 200$ г, взятий при $t_1 = 10^\circ\text{C}$, був нагрітий до $t_2 = 0^\circ\text{C}$ і розплавлений, після чого утворена вода була нагріта до $t_3 = 10^\circ\text{C}$. Знайти зміну ентропії ΔS .

Варіант 7

1. Гелій в кількості 1 моль, ізобарно розширюючись, збільшив свій об'єм в 4 рази. Знайти приріст ентропії при цьому процесі.
2. Газ, який здійснює цикл Карно, за рахунок кожних 4190 Дж, отриманих від нагрівника, виконує роботу $A = 598$ Дж. Який ККД цього циклу? В скільки разів T_1 більше T_2 ?
3. При адіабатному стиску газу його об'єм зменшився в 10 разів, а тиск p збільшився в 21,4 рази. Знайти відношення C_p/C_v цього газу.

Варіант 8

1. З балону, в якому знаходиться водень під тиском $p_1 = 10^6$ Па при $t_1 = 18^\circ\text{C}$, випустили половину газу, який в ньому знаходився. Знайти кінцеву температуру t_2 і тиск p_2 , рахуючи процес адіабатним.
2. Ідеальний багатоатомний газ здійснює цикл, який складається з двох ізохор і двох ізобар, причому найбільший тиск газу в 2 рази більший найменшого, а найбільший об'єм в 4 рази більший найменшого. Знайти η циклу.
3. При нагріванні аргону масою 8 г його температура збільшилась вдвоє. Знайти приріст ентропії при: а) ізохорному; б) ізобарному нагріванні.

Варіант 9

1. Знайти приріст ентропії CO_2 масою 1 кг в процесі стиснення від $p_1 = 0,2$ МПа при $t_1 = 40^\circ\text{C}$ до $p_2 = 4,5$ МПа при $t_2 = 253^\circ\text{C}$.
2. 6,5 г водню, який знаходиться при температурі 27°C , розширюються вдвоє при $p = \text{const}$ за рахунок поглинання зовнішнього тепла. Знайти: а) роботу розширення; б) зміну внутрішньої енергії газу; в) кількість тепла, наданого газу.
3. Знайти коефіцієнт корисної дії циклу, який складається з двох ізобар і двох адіабат (через p_{max} , γ , p_{min}).

Варіант 10

1. Кисень і водень, які мають рівні маси, однаково ізотермічно стискають. Для якого газу приріст ентропії буде більший і в скільки разів?
2. В закритій посудині знаходиться 20 г азоту і 32 г кисню. Знайти зміну внутрішньої енергії цієї суміші газів при охолодженні її на 28 градусів.
3. Ідеальний газ виконує цикл, що обмежується ізобарою, ізохорою та адіабатою, змінюючи тиск від мінімального до максимального в 4 рази. Знайти ККД циклу.

Варіант 11

1. Повітря масою 1 кг стискають адіабатно так, що його об'єм зменшується в 6 раз, а потім при постійному об'ємі тиск збільшується в 1,5 рази. Знайти ΔS в цьому процесі.
2. 1 кмоль багатоатомного газу нагрівається на 100 градусів в умовах вільного розширення ($p = \text{const}$). Знайти: а) кількість тепла, наданого газу; б) зміну його внутрішньої енергії; в) роботу розширення.
3. Ідеальний газ здійснює цикл Карно. Температура нагрівника в три рази вище температури холодильника. Нагрівник віддав теплоту в 42 кДж. Яку роботу виконав газ?

Варіант 12

1. Кисень масою 1 кг при $p = 0,5$ МПа і температурі $t = 127^\circ\text{C}$, ізобарно розширюючись, збільшив свій об'єм в 2 рази, а потім стискається ізотермічно до $p_1 = 4$ МПа. Знайти сумарний приріст ентропії.

2. В посудині під поршнем знаходиться 1 г азоту. Яку кількість теплоти треба затратити, щоб нагріти азот на 10 градусів? На скільки при цьому підніметься поршень? Вага поршня 9,8 Н, площа його поперечного перерізу 10 см^2 . Тиск над поршнем 10^5 Па .
3. В результаті кругового процесу газ виконав роботу $A = 1 \text{ Дж}$ і передав холодильнику кількість теплоти $Q_2 = 4,2 \text{ Дж}$. Знайти термічний коефіцієнт корисної дії циклу та відношення температур нагрітника і холодильника.

Варіант 13

1. Знайти приріст ентропії, при розширенні 200 г водню від об'єму 15 л до об'єму 45 л, якщо процес відбувається: а) при $p = \text{const}$; б) при $T = \text{const}$.
2. Робота ізотермічного розширення 10 г деякого газу від об'єму V_1 до об'єму $V_2 = 2V_1$ рівна 575 Дж. Знайти середню квадратичну швидкість молекул газу при цій температурі.
3. Здійснюючи замкнутий цикл, газ отримав від нагрітника кількість теплоти $Q_1 = 4 \text{ кДж}$. Знайти роботу газу при здійсненні циклу, коли $\eta = 0,1$.

Варіант 14

1. Обчислити приріст ентропії 2 кмолів ідеального трьохатомного газу при нагріванні його від 0 до 500°C , якщо процес нагрівання відбувається при: а) $V = \text{const}$; б) $p = \text{const}$.
2. Газ розширюється адіабатно і при цьому його об'єм збільшується вдвоє, а абсолютна температура падає в 1,32 рази. Яку кількість ступенів вільності мають молекули цього газу?
3. Ідеальний газ здійснює цикл Карно. Робота ізотермічного розширення газу рівна 5 Дж. Знайти роботу ізотермічного стиску, якщо ККД циклу $\eta = 0,2$.

Варіант 15

1. Знайти зміну ентропії при ізотермічному розширенні 14 г азоту від 2 до 5 л.
2. Газ здійснює цикл Карно. Абсолютна температура нагрітника в 4 рази вище абсолютної температури холодильника. Яку

частину тепла, отриманого за один цикл від нагрівника, газ віддає холодильнику?

3. Водень масою $m = 10$ г нагріли на $\Delta T = 200$ К, при цьому газу була передана теплота $Q = 3,35 \cdot 10^4$ Дж. Знайти зміну внутрішньої енергії водню і виконану ним роботу.

Варіант 16

1. Знайти зміну ентропії при ізобарному розширенні 16 г гелію від 20 до 50 л.
2. Газ здійснює цикл Карно. Робота ізотермічного розширення газу складає 5 Дж. Знайти роботу ізотермічного стиску, якщо $\eta = 0,2$.
3. Розширюючись, водень здійснив роботу 4270 Дж. Скільки теплоти було підведено до газу, якщо газ розширюється ізобарно, ізотермічно?

Варіант 17

1. 10 г водню розширюється ізобарно до подвійного об'єму. Знайти зміну ентропії.
2. Ідеальна теплова машина, яка працює по циклу Карно, передає теплоту від холодильника з водою при $T_2 = 273$ К нагрівнику при 373 К. Яку кількість води треба заморозити в холодильнику, щоб перетворити в пару 1 кг води в кип'ятильнику?
3. Автомобільна шина була надута до тиску $p_1 = 2,2$ атм при $t_1 = 15^\circ\text{C}$. Під час руху вона нагрілась до $t_2 = 55^\circ\text{C}$ і лопнула. На скільки градусів охолонув повітря, яке вийде з камери? Процес вважати адіабатним.

Варіант 18

1. 32 г кисню нагрівається від 50 до 150°C . Знайти зміну ентропії, якщо нагрівання проходить: а) ізохорно; б) ізобарно.
2. Коефіцієнт корисної дії циклу Карно рівний 0,35. Температура нагрівника 600 К. Знайти роботу, яка витрачається при адіабатному стиску 1 кмоль двохатомного газу.
3. При адіабатному стисненні кисню масою $m = 1$ кг здійснена робота $A = 10^5$ Дж. Яка буде кінцева температура T_2 газу, якщо до стиску кисень знаходився при температурі $t_1 = 27^\circ\text{C}$?

Варіант 19

1. До якої температури треба довести кисень, масою 4 кг, який знаходиться при температурі 227°C , не змінюючи його об'єму, щоб зменшити ентропію кисню на $1,31$ кДж/К?
2. Двохатомному газу надано 2100 Дж тепла. При цьому газ розширився при постійному тиску. Знайти роботу розширення газу.
3. Найменший об'єм V_1 газу, що здійснює цикл Карно, рівний 153 л. Знайти найбільший об'єм V_3 , якщо об'єм V_2 в кінці ізотермічного розширення і об'єм V_4 в кінці ізотермічного стиску рівні відповідно 600 і 189 л.

Варіант 20

1. В результаті ізохорного нагрівання одного грама водню тиск збільшився в 2 рази. Знайти зміну ентропії.
2. 7 г вуглекислого газу було нагріто на 10°C в умовах вільного розширення ($p = \text{const.}$). Знайти роботу розширення газу і зміну його внутрішньої енергії.
3. Температура пари, яка надходить з котла в парову машину, рівна 210°C . Температура в конденсаторі $t_2 = 40^{\circ}\text{C}$. Яка теоретично максимальна робота може бути виконана при затратах 4200 Дж тепла на утворення пари?

Варіант 21

1. 200 г заліза при 100°C занурюються в калориметр, в якому знаходиться 300 г води при 12°C . Як змінюється ентропія системи при вирівнюванні температур?
2. При ізотермічному розширенні 10 г азоту, який знаходиться при температурі 17°C , була виконана робота, рівна 860 Дж. В скільки разів змінився тиск азоту при розширенні?
3. Ідеальний газ виконує цикл, що складається з ізотерми, ізохори та адіабати. Максимальний тиск при цьому перевищує мінімальний у 3 рази. Знайти ККД циклу.

Варіант 22

1. Знайти зміну ентропії при нагріванні 30 см³ заліза від 20°C до 100°C .
2. 10 г кисню знаходяться під тиском $3 \cdot 10^5$ Па при температурі 10°C . Після нагрівання при $p = \text{const}$ газ зайняв об'єм 10 л.

Знайти: а) кількість тепла, отриманого газом; б) зміну внутрішньої енергії газу; в) роботу, виконану газом при розширенні.

- 3.64 г кисню виконують цикл Карно від $t_1 = 0^\circ\text{C}$ до максимальної температури t_2 . Максимальний тиск в 15 разів більший від мінімального. Визначити t_2 та роботу, виконану газом за один цикл $\eta = 30\%$.

Варіант 23

1. Знайти зміну ентропії при нагріванні 1 дм^3 міді від 20 до 300°C .
2. Ідеальний багатоатомний газ здійснює цикл, який складається з двох ізохор і двох ізобар, причому найбільший тиск в 2 рази більше найменшого, а найбільший об'єм в 4 рази більше найменшого. Знайти η .
3. Водень при нормальних умовах мав об'єм $V_1 = 100\text{ м}^3$. На скільки змінилась внутрішня енергія U газу при адіабатному розширенні до $V_2 = 150\text{ м}^3$?

Варіант 24

1. У калориметр, теплоємністю якого можна знехтувати і який містить 250 г води при 23°C , кидають 27 г льоду при 0°C . Знайти зміну ентропії, яка відбулася на кінець плавлення льоду.
2. Газ здійснює цикл Карно. Абсолютна температура T_1 нагрівника в 3 рази вища, ніж температура T_2 холодильника. Нагрівник передав газу теплоту $Q_1 = 42 \cdot 10^3\text{ Дж}$. Яку роботу виконав газ?
3. При адіабатному розширенні кисню з початковою температурою $t = 47^\circ\text{C}$ внутрішня енергія зменшилась на 8400 Дж . Знайти масу кисню, якщо його об'єм збільшився в 10 раз.

Варіант 25

1. Знайти зміну ентропії 1 г водню, коли: а) газ спочатку адіабатно стискується до вдвоє меншого об'єму, а потім ізохорно охолоджується до початкової температури; б) газ спочатку адіабатно стискується до вдвоє меншого об'єму, а потім ізотермічно розширюється до початкового об'єму.

2. Ідеальний газ здійснює цикл Карно. Температура нагрівника $t_1=197^\circ\text{C}$, температура холодильника $t_2=9^\circ\text{C}$. При ізотермічному розширенні газ здійснює роботу $A = 100$ Дж. Знайти η циклу, а також Q_2 .
3. Повітря, яке при тиску $p_1 = 1$ атм займало об'єм $V_1 = 10$ л, було адіабатно стиснуте до об'єму $V_2 = 1$ л. Під яким тиском p_2 знаходився газ після стиску?

Варіант 26

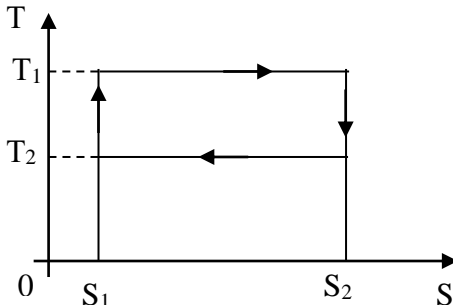
1. Знайти зміну ентропії при охолодженні 5 г кисню від 90 до 10°C : а) при постійному об'ємі; б) при постійному тиску.
2. Газ здійснює цикл Карно. Температура нагрівника в чотири рази більша абсолютної температури холодильника. Яку частину теплоти, отриманої за один цикл від нагрівника, газ віддає холодильнику?
3. При адіабатному стиску кисню масою $m = 20$ г його внутрішня енергія збільшилась на 8360 Дж і температура підвищилась до $t_2 = 643^\circ\text{C}$. Знайти: а) підвищення температури Δt ; б) кінцевий тиск газу p_2 , якщо початковий тиск $p_1 = 2$ атм.

1.2.6.3. Пакет III. “Основи термодинаміки”

Варіант 1

1. Різниця питомих теплоємностей $c_p - c_v$ деякого двохатомного газу дорівнює 260 Дж/(кг·К). Знайти молярну масу M газу та його питомі теплоємності c_p і c_v .
2. При ізотермічному розширенні кисню, що містив кількість речовини $\nu = 1$ моль і мав температуру $T = 300$ К, було передано кількість теплоти $Q = 2$ кДж. В скільки разів збільшиться об'єм газу?
3. Теплова машина працює в інтервалі температур 500°C та 20°C . Який теоретично максимальний ККД машини?
4. 640 г розплавленого свинцю при температурі плавлення вилили на лід при 0°C . Знайти зміну ентропії при цьому процесі, якщо температура плавлення свинцю 327°C , питома

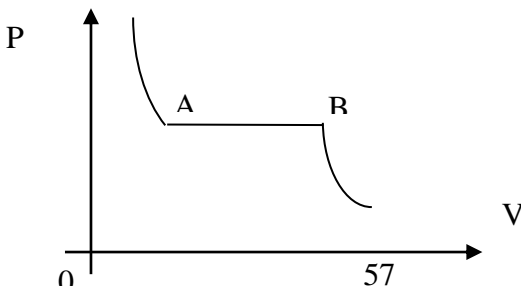
теплоємність свинцю $126 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, а його питома теплота кристалізації $L = 2,26 \cdot 10^4 \text{ Дж}/\text{кг}$.

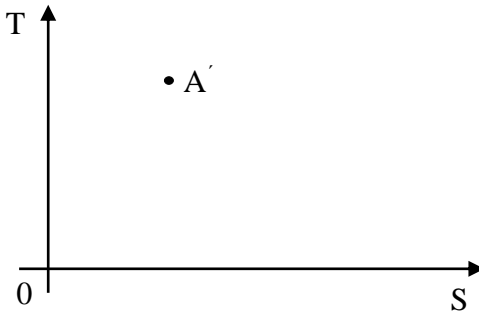


5. Для циклу, який зображено на малюнку, знайти теплоту Q_1 , яку отримує робоче тіло, теплоту Q_2 , яку робоче тіло віддає холодильнику, і ККД циклу.

Варіант 2

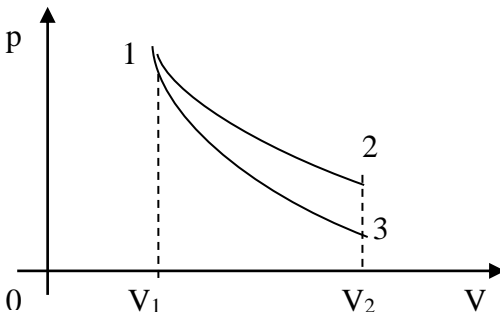
1. Які питомі теплоємності c_p і c_v суміші газів, що містить кисень масою $m_1 = 10 \text{ г}$ та азот масою $m_2 = 20 \text{ г}$?
2. Азот, який займав об'єм $V_1 = 10 \text{ л}$ під тиском $p_1 = 0,2 \text{ МПа}$, ізоермічно розширився до об'єму $V_2 = 28 \text{ л}$. Визначити роботу A розширення газу.
3. Яка температура холодильника ідеальної парової машини, якщо при температурі пари 200°C її ККД дорівнює $21,1\%$?
4. Знайти зміну ентропії при плавленні 1 кг льоду, що знаходився при 0°C , і наступному нагріванні утвореної води до 5°C .
5. Точка А на діаграмі (p, V) відповідає точці А' на діаграмі (T, S) . Відобразити на діаграмі (T, S) всю ділянку АВ; теплота пароутворення даної маси речовини рівна Q .





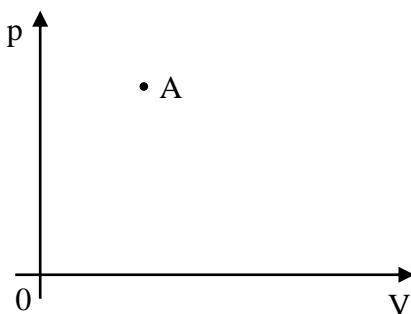
Варіант 3

1. Визначити питому теплоємність c_V суміші газів, що містить $V_1 = 5$ л водню та $V_2 = 3$ л гелію. Гази знаходяться при однакових умовах.
2. При ізотермічному розширенні водню масою $m = 1$ г, що мав температуру $T = 280$ К, об'єм газу збільшився у 3 рази. Визначити роботу A розширення газу.
3. Газ дістав від нагрівника 300 Дж теплоти. Яку роботу виконав газ, якщо ККД циклу 0,4? Яку кількість теплоти газ віддав холодильнику?
4. Знайти приріст ентропії при перетворенні 1 г води при 0°C в пару при 100°C .
5. На діаграмі (p, V) подано ізотермічне та адіабатне розширення ідеального газу від об'єму V_1 до об'єму V_2 . Відобразіть ці процеси на діаграмі (T, S) .



Варіант 4

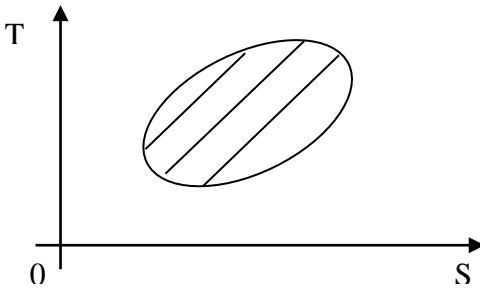
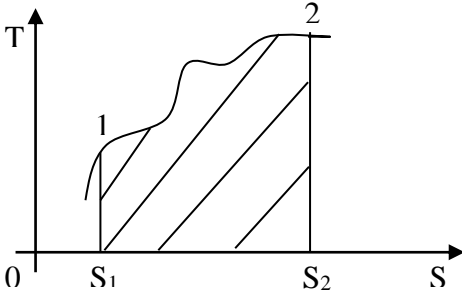
1. Визначити питому теплоємність c_p суміші кисню та азоту, якщо кількість речовини ν_1 першої компоненти дорівнює 2 молі, а кількість речовини ν_2 другої дорівнює 4 молі.
2. Водень масою $m = 10$ г нагріли на $\Delta T = 200$ К, причому газу було передано кількість теплоти $Q = 40$ кДж. Знайти зміну ΔU внутрішньої енергії водню і здійснену ним роботу.
3. Під час колового процесу газ виконав роботу 50 Дж і віддав холодильнику 200 Дж теплоти. Який ККД циклу?
4. Лід масою $m = 200$ г, взятий при температурі $t_1 = -10^\circ\text{C}$, був нагрітий до температури $t_2 = 0^\circ\text{C}$ і розплавлений, після чого отримана вода була нагріта до температури $t = 10^\circ\text{C}$. Визначити зміну ентропії в ході вказаних процесів.
5. Провести через точку A на діаграмі (p, V) ізотерму та ізентропу.



Варіант 5

1. Суміш газів складається з хлору та криптону, взятих при однакових умовах і в рівних об'ємах. Визначити питому теплоємність c_p суміші.
2. Азот масою $m = 200$ г розширюється ізотермічно при температурі $T = 280$ К, причому об'єм газу збільшується у 2 рази. Знайти: 1) зміну ΔU внутрішньої енергії газу; 2) здійснену при розширенні газу роботу A ; 3) кількість теплоти Q , яку отримав газ.
3. За один цикл двигун дістає від нагрівника 2,1 кДж теплоти. ККД двигуна 0,2. Яку роботу виконає двигун за один цикл?

4. Знайти зміну ΔS ентропії при ізотермічному розширенні азоту масою $m = 4$ г від об'єму $V_1 = 5$ л до об'єму $V_2 = 9$ л.
5. На діаграмі (T, S) зображений квазістатичний процес. Чому рівна заштрихована площа?



Варіант 6

1. Визначити питому теплоємність c_V суміші ксенону та кисню, якщо кількість речовини газів в суміші однакові і рівні ν .
2. Яка робота A здійснюється при ізотермічному розширенні водню масою $m = 5$ г, взятого при температурі $T = 290$ К, якщо об'єм газу збільшився у 3 рази?
3. Внаслідок колового процесу газ виконав роботу 2 кДж і передав холодильнику 8,4 кДж теплоти. Визначити ККД циклу.
4. В результаті ізохорного нагрівання водню масою 1 г тиск газу збільшився у 2 рази. Визначити зміну ΔS ентропії газу.

5. Намалювати на діаграмі (p, V) сім'ю ізентроп ідеального газу для різних значень $S_1 < S_2 < S_3 < \dots$. Показник адіабати газу γ відомий.

1.3. Третій змістовий модуль ***“Властивості реальних газів, рідин і твердих тіл”***

Основні форми контролю:
самостійні короткочасні роботи (середній бал);
підсумкове рейтингування лабораторних робіт (середній бал);
модульний екзамен (40-хвилинний письмовий колоквиум).

Максимальна кількість балів:
за кафедральною шкалою – 36;
за шкалою РДГУ – 28.

1.3.1. Перелік програмних питань

1. Рівняння Ван-дер-Ваальса.
2. Співставлення ізотерм Ван-дер-Ваальса експериментальними ізотермами реального газу. 3
3. Критичний стан. Критичні параметри.
4. Внутрішня енергія реального газу.
5. Ефект Джоуля-Томсона.
6. Зрідження газів і отримання низьких температур.
7. Швидкість звуку в газах.
8. Фазові переходи.
9. Кипіння рідин. Рівновага рідини і пари.
10. Рівняння Клайперона-Клаузіуса.
11. Вологість повітря. Вимірювання вологості повітря.
12. Поверхневий натяг рідин. Змочування.
13. Формула Лапласа.
14. Капілярні явища.
15. Тиск насичуючої пари під меніском.

16. Аморфні і кристалічні тіла. Класифікація кристалів по типу зв'язків. Анізотропія кристалів. Дефекти в кристалах. Рідкі кристали.
17. Теплове розширення кристалів.
18. Діаграма рівноваги твердих, рідких і газоподібних фаз. Потрійна точка.
19. Плавлення та кристалізація. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса.
20. Класична теорія теплоємності кристалів. Труднощі класичної теорії.
21. Квантова теорія теплоємності кристалів.

1.3.2. Орієнтаційні запитання

1. При яких експериментальних умовах модель ідеального газу не можна використати для опису його поведінки?
2. Як змінюється уявлення про молекулу при переході до теорії Ван-дер-Ваальса (ВДВ)?
3. Намалюйте графік залежності потенціальної енергії взаємодії молекул від відстані між ними. Яка апроксимація використовується в теорії ВДВ?
4. Врахуйте окремо спочатку поправку b , а потім поправку a . Побудуйте відповідну сім'ю ізотерм. Чи мають фізичний зміст дільниці, де тиск від'ємний?
5. Як показують розрахунки, внутрішній тиск у воді складає $11 \cdot 10^8$ Па. Чому він не відчувається при зануренні у воду?
6. Чи можна за допомогою манометра виміряти внутрішній тиск в реальному газі чи рідині?
7. Реальний газ адіабатно розширився у вакуум. Як змінилася його внутрішня енергія? температура? ентропія?
8. Побудуйте сім'ю ізотерм ВДВ в координатах pV і порівняйте їх з відповідною сім'єю для ідеального газу. Які дільниці ізотерм ВДВ описують нестабільні стани речовини?

9. Побудуйте ізотерми реального газу в координатах TV . Продемонструйте на цій діаграмі можливість однофазного переходу рідина-газ.
10. Які тіла з фізичної точки зору відносять до твердих тіл?
11. Які структурні особливості твердих кристалічних і аморфних тіл?
12. Які сили взаємодії проявляються між структурними елементами твердого тіла і як вони змінюються із зміною відстані між частинками твердого тіла?
13. Які особливості теплового руху атомів (молекул) у кристалічних і аморфних тілах?
14. Як впливає структура твердого тіла на його фізичні властивості?
15. Чому більшість металів є ізотропними матеріалами?
16. Які основні положення класичної теорії теплоємності твердих тіл?
17. Який механізм теплового розширення твердих тіл?
18. Чому процеси плавлення і кристалізації є ізотермічними?
19. Як дістати переохолоджену рідину?
20. У чому суть явища сублімації?
21. Накреслити діаграму стану води. Зобразити на цій діаграмі графіки фазових перетворень та сублімації льоду.
22. Подати діаграму стану будь-якої речовини і пояснити її структуру. Показати яких можливих фазових переходів може зазнати речовина при переході з одного агрегатного стану в інший.

1.3.3. Орієнтовний пакет завдань модульного екзамену

Варіант 1

1. Поверхневий натяг рідин, його природа. Коефіцієнт поверхневого натягу.
2. Рідкі кристали.

Варіант 2

1. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Внутрішній тиск і власний об'єм молекул.

2. Чому температура кипіння рідин (води) зростає з підвищенням тиску (зовнішнього)?

Варіант 3

1. Діаграма рівноваги твердих, рідких і газоподібних фаз. Потрійна точка.

2. Який фізичний зміст коефіцієнта поверхневого натягу? Від яких факторів він залежить?

Варіант 4

1. Тиск насиченої пари над меніском.

2. Капілярні явища.

Варіант 5

1. Ефект Джоуля-Томсона.

2. Яка з наведених формул розкриває фізичний зміст коефіцієнта поверхневого натягу?

1. $h = \frac{2\alpha}{\rho g h_1}$; 2. $\alpha = \frac{\Delta A}{\Delta S}$; 3. $\Delta p = \frac{2\alpha}{r}$; 4. $\Delta p = \alpha \left(\frac{l}{r_1} + \frac{l}{r_2} \right)$;

5. $\alpha = \frac{\Delta F}{l}$.

Варіант 6

1. Випаровування. Рівновага рідини і пари.

2. Подати на малюнку потенціальну криву взаємодії атомів твердого тіла і пояснити її хід.

Варіант 7

1. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Внутрішній тиск і власний об'єм молекул. Вираз поправок Ван-дер-Ваальса.

2. Внаслідок чого виникає сила поверхневого натягу?

Варіант 8

1. Фазові переходи I-го і II-го роду. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса.

2. Від яких величин залежить висота підняття рідини в капілярі при повному змочуванні?

Варіант 9

1. Критичний стан речовини. Критичні параметри. Особливості цього стану.

2. Чому дві краплини ртуті при дотику зливаються в одну?

Варіант 10

1. Поверхневий натяг рідин, його природа. Коефіцієнт поверхневого натягу. Фізичний зміст.
2. Що таке ізоτροпія і анізотропія? Що розуміють під полікристалом?

Варіант 11

1. Квантова теорія теплоємності кристалів.
2. Що таке критична точка? Що таке потрійна точка?

Варіант 12

1. Порівняння ізотерм Ван-дер-Ваальса з експериментальними ізотермами реального газу.
2. В трьох посудинах знаходяться вода, спирт і ртуть. В ці рідини опускають однакові капілярні трубки. Яка з рідин в капілярі підніметься найвище?

Варіант 13

1. Аморфні і кристалічні тіла. Класифікація кристалів за типами зв'язку між структурними елементами. Анізотропія кристалів. Дефекти в кристалах.
2. Показати, що внутрішній тиск в реальних газах $p_i = \frac{a}{V^2} v^2$.

Варіант 14

1. Реальний газ. Внутрішня енергія реального газу.
2. Який характер руху молекул у рідинах?

Варіант 15

1. Кипіння рідин. Залежність температури кипіння від зовнішнього тиску. Перегріті рідини.
2. Чим пояснити, що тверде тіло має незмінні форму і об'єм?

Варіант 16

1. Ефект Джоуля-Томсона. Температура інверсії.
2. Що таке енергія зв'язку у твердому тілі?

Варіант 17

1. Квантова теорія теплоємності кристалів.
2. Від яких параметрів насиченої пари залежить її тиск? Чому?

Варіант 18

- 1.Співставлення ізотерм Ван-дер-Ваальса експериментальними ізотермами реального газу. 3
- 2.Які тверді тіла називають аморфними? кристалічними?

Варіант 19

- 1.Ефект Джоуля-Томсона. Температура інверсії.
- 2.Що таке енергія зв'язку у твердому тілі?

Варіант 20

- 1.Плавлення і кристалізація твердих тіл. Діаграма. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса.
- 2.Чому при змочуванні рідиною стінок капіляра в ньому утворюється вгнутий меніск?

Варіант 21

- 1.Критичний стан речовини. Критичні параметри.
- 2.Явище змочування рідиною твердих поверхонь. Крайовий кут.

Варіант 22

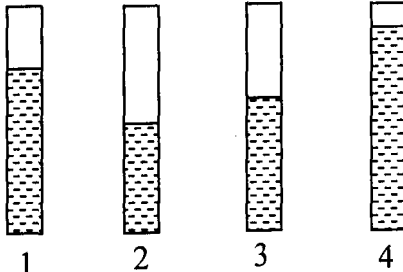
- 1.Класична теорія теплоємності кристалів, її недоліки.
- 2.Для яких речовин температура плавлення підвищується, а для яких знижується з ростом тиску?

Варіант 23

- 1.Фазові переходи. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса.
- 2.Які структурні елементи можуть знаходитися у вузлах кристалічної ґратки?

Варіант 24

- 1.Внутрішня енергія реального газу (її складові та вираз).
- 2.У чотирьох однакових капілярах є вода при температурі 10°C, 50°C, 70°C і 90°C? У якому з капілярів температура води 50°C і 90°C? Чому?



Варіант 25

1. Фазові переходи. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса.
2. Які структурні елементи можуть знаходитися у вузлах кристалічної ґратки?

Варіант 26

1. Критичний стан речовини. Критичні параметри.
2. Явище змочування рідинами твердих поверхонь. Крайовий кут.

Варіант 27

1. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса.
2. Критичний стан речовини, його особливості.

Варіант 28

1. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Внутрішній тиск і власний об'єм молекул. Вираз поправок Ван-дер-Ваальса.
2. Внаслідок чого виникає сила поверхневого натягу?

**1.3.4. Паке́т завдань для самостійної роботи по темах
“Реальні гази. Рідини і тверді тіла”**

Варіант 1

1. Аргон масою 4 г займає об'єм $0,1 \text{ дм}^3$ під тиском 2,5 МПа. Знайти температуру газу, вважаючи його спочатку ідеальним, а потім - реальним.
2. Знайти значення сталих a і b для бензолу (C_6H_6) в рівнянні Ван-дер-Ваальса за відомими для нього значеннями критичних температури T_k і тиску p_k .
3. На яку висоту підніметься під дією капілярних сил вода в сформованих у ґрунті капілярах діаметром 0,3 мм і в стеблах жита, які мають середній діаметр пор 20 мкм? Змочування вважати повним.
4. Обчислити за класичною теорією теплоємності питомі теплоємності кристалів: а) алюмінію; б) міді; в) платини.

Варіант 2

1. Обчислити внутрішній тиск води, якщо відома стала a в рівнянні Ван-дер-Ваальса.

2. Знайти густину водню в критичному стані за відомими значеннями критичних температури T_k і тиску p_k .
3. Гніт піднімає воду на висоту 8 см. На яку висоту по тому ж гніті піднімається газ?
4. Знайти температуру плавлення льоду при тиску 1 МПа. Вважати, що при зміні тиску в межах від 0,1 до 1 МПа густина льоду і води та питома теплота плавлення незмінні.

Варіант 3

1. В балоні ємністю 22 дм³ знаходиться азот масою 0,7 кг при температурі 0°C. Знайти тиск газу на стінки балона, внутрішній тиск і власний об'єм молекул.
2. Який внутрішній тиск вуглекислого газу в момент зрідження, якщо при цьому його густина 550 кг/м³, а також відомі критичні температура T_k і тиск p_k ?
3. Обчислити різницю рівнів води в капілярах діаметром 0,5 мм і 1 мм, які занурені у посудину з водою. Якою була б різниця рівнів в капілярах, коли б їх занурити у ртуть?
4. Дві пластини - мідна і залізна - однакової товщини щільно прилягають одна до іншої. Температура зовнішньої поверхні мідної пластини 100°C, а залізної - 0°C. Знайти температуру на межі контакту пластин.

Варіант 4

1. Об'єм кисню масою 4 г збільшується від 1 до 5 дм³. Розглядаючи газ як реальний, знайти роботу внутрішніх сил при такому розширенні.
2. Знайти діаметр молекули кисню за відомими для нього значеннями критичних температури T_k і тиску p_k .
3. Рамка з рухомою нижньою поперечкою довжиною 15 см затянута мильною плівкою. Яку треба виконати роботу проти сил поверхневого натягу, щоб розтягнути плівку на 4 см, якщо $\sigma = 45$ мН/м?
4. Знайти приріст ентропії при затвердінні ртуті масою 1 кг при температурі затвердіння -38,9°C.

2. Другий навчальний модуль

“Індивідуальні науково-дослідні завдання”

Максимальний рейтинг:

за кафедральною шкалою – 12 балів;

за університетською шкалою – 16 балів.

2.1. Тематика наукових рефератів з молекулярної фізики і термодинаміки

№ п/п	Тема	Питання для вивчення
1.	Предмет молекулярної фізики	Предмет, об'єкти досліджень, статистичний і термодинамічний методи досліджень. Основні положення МКТ речовини, їх експериментальні підтвердження. Молекула, атом, іон, ізотоп.
2.	Основи МКТ газів	Основи уявлення МКТ газів. Статистична система, параметри її стану. Вимірювання параметрів.
3.	Рівняння стану ідеального газу	Ідеальний газ. Процеси, ізопроцеси. Газові закони, їх рівняння і графічне відображення. Рівноважний стан газу. Рівняння Клайперона-Менделєєва.
4.	Основне рівняння МКТ газів	Газоподібний стан речовини, ідеальний газ. Вивід основного рівняння МКТ газів. Енергія молекул газу, її розподіл за ступенями вільності. Статистичне тлумачення тиску і температури.
5.	Статистичні розподіли в молекулярній фізиці	Газ як статистична система. Швидкості молекул, їх вираження. Співвідношення між швидкостями. Дослід Штерна. Розподіл молекул за швидкостями. Барометрична формула, розподіл Больцмана.

6.	Розподіл газу в статистичних системах	Розподіл молекул газу за швидкостями. Характерні швидкості розподілу Максвелла. Експериментальна перевірка розподілу молекул за швидкостями. Розподіл газу в полі потенціальних сил. Зв'язок між розподілами Максвелла і Больцмана. Розподіл енергії за ступенями вільності молекул. Флуктуації в ідеальному газі, їх прояв.
7.	Основні характеристики молекулярного руху	Тепловий рух молекул, середня арифметична швидкість, середнє число зіткнень. Середня довжина вільного пробігу молекул. Вплив молекулярного руху на неоднорідності в статистичній системі. Явища переносу.
8.	Процеси переносу в термодинамічних системах	Фізична суть процесів переносу – дифузії, теплопровідності і внутрішнього тертя. Стаціонарні процеси і їх рівняння. Вираження коефіцієнтів переносу через характеристики молекулярного руху. Зв'язок між коефіцієнтами дифузії, теплопровідності та динамічної в'язкості.
9.	Перший закон термодинаміки	Термодинамічний метод досліджень, термодинамічна система, термодинамічна рівновага. Внутрішня енергія системи. Зовнішня робота, кількість теплоти, теплоємність. Перший закон термодинаміки, його форми і формулювання.

10.	Теплоємність речовини	Теплоємність речовини, теплоємність газів. Класична і квантова теорії теплоємності.
11.	Застосування першого закону термодинаміки до ізопроцесів	Перший закон термодинаміки, його форми і зміст. Застосування першого закону термодинаміки до аналізу ізотермічного, ізобарного, ізохорного та адіабатного процесів. Рівняння Майера і Пуассона. Робота при адіабатному процесі.
12.	Другий закон термодинаміки	Оборотні і необоротні процеси, цикли (прямі, зворотні, оборотні і необоротні). Цикл Карно. ККД теплових машин, аналіз можливостей перетворення теплоти в роботу. Другий закон термодинаміки, нерівність Клаузіуса.
13.	Ідеальний цикл Карно	Оборотні і необоротні цикли. Теплові і холодильні машини. ККД теплової машини. Ідеальний цикл Карно, його модель по Млодзівському. ККД циклу Карно, теореми Карно. Напрямки удосконалення теплових машин.
14.	Ентропія системи	Поняття про ентропію як функцію стану термодинамічної системи. Закон зміни ентропії для ізольованої системи. Фізичний зміст ентропії. Основне рівняння термодинаміки. Розрахунки зміни ентропії для деяких процесів. Зв'язок ентропії і термодинамічної імовірності. Постулат Больцмана.

15.	Границі застосування законів термодинаміки	Ентропія і термодинамічна імовірність, їх зв'язок. Постулат Больцмана. Статистичний характер законів термодинаміки. Неможливість застосування другого закону термодинаміки до мікрооб'єктів та неізольованих систем (всесвіту). Критика "теплової смерті" всесвіту.
16.	Основні закони термодинаміки	Поняття про термодинаміку, термодинамічну систему і термодинамічні процеси. Теплота і робота як форми передачі енергії. Внутрішня енергія системи. Формулювання, фізична суть і вираження першого, другого і третього законів термодинаміки. Висновки з них.
17.	Реальні гази	Ідеальний і реальний гази. Рівняння Ван-дер-Ваальса, поправки Ван-дер-Ваальса. Співставлення ізотерм Ван-дер-Ваальса з експериментальними ізотермами. Критичний стан речовини.
18.	Особливості реальних газів	Рівняння Ван-дер-Ваальса, ізотерми реального газу. Критичний стан речовини. Критичні параметри. Внутрішня енергія реального газу. Ефект Джоуля-Томсона. Зрідження газів і отримання низьких температур.
19.	Фазові переходи	Фазові переходи першого і другого роду. Рівновага рідини і пари. Вологість повітря і способи її визначення. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса.

20.	Властивості рідин	Сучасні уявлення про структуру рідин, ближній і дальній порядок, тепловий рух в рідинах. Поверхневий натяг, поверхневий шар. Змочування. Формула Лапласа. Капілярні явища.
21.	Особливості рідкого стану речовини	Структурні особливості рідин, моделі рідин. Тепловий рух в рідинах. Випаровування і кипіння рідин. Тиск насиченої пари над меніском. Перегріті пара і рідина. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса.
22.	Тверді особливості структури властивостей тіла, та	Аморфні і кристалічні тіла. Дальній порядок в кристалах. Класифікація кристалів за типом зв'язків. Анізотропія кристалів. Дефекти в кристалах. Рідкі кристали. Теплове розширення кристалів.
23.	Фазові перетворення твердих тілах в	Фазові перетворення першого і другого роду. Плавлення і кристалізація твердих тіл. Переохоложені рідини, випаровування твердих тіл. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Діаграма стану трьохфазної системи, потрійна точка.
24.	Кристалічні тіла, їх особливості	Структура твердих кристалічних тіл, дальній порядок в кристалах, класифікація кристалів за типом зв'язку. Анізотропія кристалів. Теплоємність кристалів. Закон Дюлонга і Пті. Класична і квантова теорія теплоємності кристалів.

2.2. Перелік завдань для підсумкового тестування з лабораторного практикуму по молекулярній фізиці

1. Які основні положення молекулярно-кінетичної теорії газів?
2. Як визначити середню енергію поступального руху, повну середню енергію теплового руху молекули ідеального газу, енергію теплового руху всіх молекул, що містяться в посудині?
3. Як можна визначити сталу Больцмана експериментально?
4. Що таке тиск газу з точки зору його молекулярної будови?
5. Пояснити молекулярно-кінетичний механізм в'язкості.
6. Описати з позицій молекулярно-кінетичної теорії процес кипіння рідин.
7. Дати пояснення рідин і газів як суцільних середовищ. Які відмінності і що спільного є між ними?
8. Записати рівняння Ньютона. Який фізичний зміст коефіцієнта внутрішнього тертя і яка його розмірність?
9. Пояснити механізм теплопровідності в діелектриках і металах.
10. Що називають градієнтом температур? Яким рівнянням описується теплопередача?
11. Що таке фонон, теплові пружні хвилі?
12. Як визначити коефіцієнт внутрішнього тертя повітря методом витікання через капіляр?
13. Яка схема методу визначення теплопровідності твердих тіл за допомогою стандартного λ -калориметра ИТ- λ -400?
14. Намалювати графік $\lambda=f(t)$ і пояснити його характер.
15. Яка методика вимірювання коефіцієнта теплопровідності газів (метод нагрітої нитки)?
16. Як оцінити середню довжину вільного пробігу молекул та їх ефективний діаметр, використовуючи явище теплопровідності?
17. Як визначити коефіцієнт дифузії повітря і водяної пари за допомогою методу, заснованого на визначенні швидкості випаровування води в атмосферне повітря?

18. Що називають явищем дифузії? Які ви знаєте види дифузії? Який фізичний зміст D ?
19. Який зв'язок коефіцієнта дифузії з коефіцієнтом теплопровідності та динамічною в'язкістю?
20. Як пов'язаний коефіцієнт дифузії з характеристиками теплового руху молекул?
21. У чому полягає метод Клемана і Дезорма для вимірювання відношення молярних теплоємностей газу?
22. Вивести співвідношення між C_p і C_v із першого закону термодинаміки.
23. З якою точністю можна проводити вимірювання масштабною лінійкою, секундоміром?
24. Провести аналіз ізопроцесів із врахуванням I-го принципу термодинаміки.
25. Як виражається теплоємність через число ступенів вільності? Чому C_p більше C_v ?
26. Дайте поняття циклічного процесу. Намалюйте на діаграмі pV прямий і зворотний цикли.
27. Яким методом визначають питому теплоємність рідин?
28. Що важче – центнер вовни, чи центнер заліза? Відповідь обґрунтуйте?
29. Сформулюйте II-ий закон термодинаміки. Яке його статистичне тлумачення?
30. У чому полягає метод визначення вологості повітря за допомогою гігрометра Ламбрехта?
31. У чому полягає метод визначення вологості повітря за допомогою аспіраційного психрометра?
32. Що таке пружність пари, точка роси? Як визначити точку роси за допомогою гігрометра?
33. Як експериментально визначити сталу аспіраційного психрометра?
34. Що називається абсолютною вологістю, відносною?
35. Які фізичні основи процесу випаровування вологи?
36. Що таке коефіцієнт поверхневого натягу (два означення)?
37. Чим обумовлене явище поверхневого натягу?

38. Вивести формулу Лапласа для загального випадку кривої поверхні.
39. Вивести формулу для висоти опускання або підняття рідини в капілярах.
40. У чому полягає метод капілярного підйому для визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини?
41. У чому полягає метод відриву петлі для визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини?
42. Що називають теплоємністю? Питомою теплоємністю? Молярною теплоємністю?
43. Яка структура твердих тіл і чим вона обумовлюється?
44. Які основні положення класичної теорії теплоємності? Як залежить питома теплоємність від температури?
45. Які основні положення квантової теорії теплоємності?
46. У чому полягає визначення питомої теплоємності металів методом охолодження?
47. Пояснити теплове розширення твердих тіл з точки зору молекулярно-кінетичної будови речовини.
48. Яка методика визначення коефіцієнта лінійного розширення твердих тіл за допомогою приладу Менделєєва?
49. Вивести формулу для знаходження коефіцієнта лінійного розширення за допомогою приладу Менделєєва.
50. Які загальні уявлення про структуру рідин?
51. Чим обумовлене теплове розширення рідин?
52. Як залежить від температури і тиску коефіцієнт об'ємного розширення і чому?
53. У чому полягає спосіб визначення температурного коефіцієнта об'ємного розширення рідин за допомогою приладу Дюлонга-Пті?
54. Вивести формулу для знаходження коефіцієнта об'ємного розширення рідин за допомогою приладу Дюлонга-Пті.
55. Яка причина аномального теплового розширення води?
56. Вивести формулу для визначення коефіцієнта взаємної дифузії повітря і водяної пари.
57. Вивести робочу формулу для визначення коефіцієнта теплопровідності методом розігрітої нитки.

58. Який порядок обчислення абсолютної і відносної похибок вимірювання величин? (Продемонструвати на будь-якому прикладі).
59. Як побудований рідинний термометр? Які правила користування ним? З якою точністю вимірює термометр температуру?
60. Яка будова барометра-анероїда? Як ним правильно користуватися?
61. Яке призначення калориметрів? З яких матеріалів виготовляють лабораторні калориметри?
62. При яких умовах вимірюють тиск і температуру газу?

3. ДОДАТКИ

3.1. Пакети завдань для додаткового контролю ЗУН студентів

3.1.1. Пакети завдань для повторної підсумкової контрольної роботи

Варіант 1

1. Газ нагрівається у відкритій ємності при нормальному атмосферному тиску від 27°C до 327°C . Як зміниться при цьому число молекул в одиниці об'єму газу?
2. Який тиск і число молекул в одиниці об'єму повітря на висоті 2 км над рівнем моря? Тиск на рівні моря 101 кПа, а температура 10°C . Зміною температури з висотою знехтувати.
3. Газ, що здійснює цикл Карно, ККД якого 25%, при ізотермічному розширенні виконує роботу 240 Дж. Яка робота виконується газом при ізотермічному стисненні?
4. Яке підвищення температури ідеального газу: а) ізобарне; б) ізохорне, вимагає більшої кількості теплоти?
5. Знайти характер залежності середньої довжини $\langle l \rangle$ і середнього часу $\langle \tau \rangle$ вільного пробігу молекул газу від його температури T і тиску p . Намалювати якісно залежність $\langle l \rangle = f(T)$ і $\langle \tau \rangle = f(T)$ при сталих $p_1 < p_2 < p_3 < \dots$

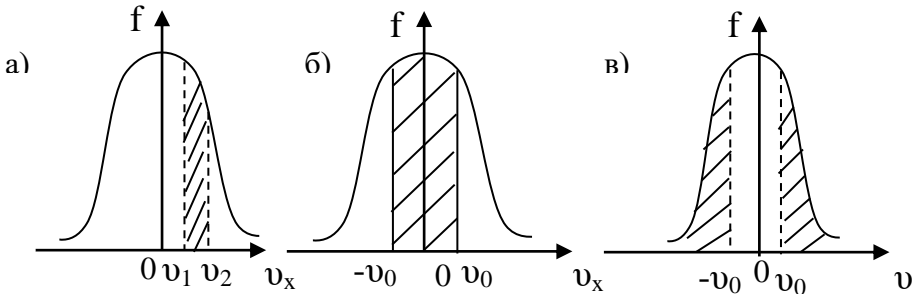
Варіант 2

1. В посудині об'ємом 2 дм^3 знаходиться газ під тиском $0,50 \text{ МПа}$. Чому рівна середня кінетична енергія поступального руху молекул газу?
2. Об'єм бульбашки повітря в міру його спливання з дна озера на поверхню збільшується в три рази. Яка глибина озера?
3. Коефіцієнт дифузії кисню при нормальних умовах $14,1 \text{ мм}^2/\text{с}$. Знайти, яким буде коефіцієнт дифузії при температурі 50°C , якщо нагрівання газу відбувалося при сталому об'ємі.
4. Який формальний граничний перехід перетворює рівняння стану Ван-дер-Ваальса в рівняння стану ідеального газу? Чому він відповідає з фізичної точки зору?

5. Розподіл Больцмана часто записують у вигляді $n = n_0 e^{-U/kT}$, де n – концентрація молекул газу, U – потенціальна енергія молекул в зовнішньому полі, T – температура газу. Що являє собою величина n_0 ?

Варіант 3

1. Тиск в циліндрі парової машини об'ємом 20 дм³ після відкриття клапана зменшився на $\Delta p = 0,81$ МПа. Яка маса пари вийшла з циліндра? Температура пари 100⁰С.
2. Яка середня квадратична і середня арифметична швидкість пилінки, що знаходиться в повітрі в зрівноваженому стані при температурі 17⁰С, якщо її маса $1 \cdot 10^{-10}$ г?
3. У сферичній колбі ємністю 2 дм³ знаходиться водень. При якій густині водню його молекули практично не будуть стискатися одна з одною?
4. На малюнку подані залежності функції розподілу $f(v_x)$. Який фізичний зміст мають заштриховані площі?



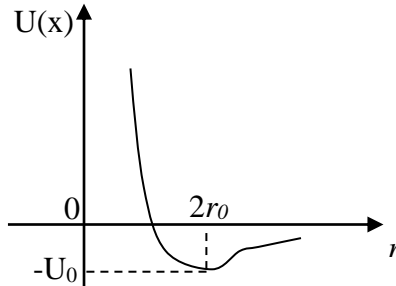
5. Який фізичний зміст величини W у виразі для ентропії $S = k \ln W + S_0$?

Варіант 4

1. Яка частина молекул володіє швидкостями, які відрізняються від найбільш імовірної не більше, ніж на 10 м/с, при температурах 0 і 300⁰С?
2. При температурі 47⁰С і деякому тиску середня довжина вільного пробігу молекул кисню $4 \cdot 10^{-8}$ м. В результаті ізотермічного стиску об'єм газу зменшився в 2 рази. Знайти

середнє число зіткнень молекул кисню за одну секунду в кінці стиску.

3. Розширюючись багатоатомний газ, який складається з жорстких молекул, здійснює роботу 245 Дж. Яка кількість теплоти була надана газу, якщо він розширюється: 1) ізобарно; 2) ізотермічно?
4. Відобразити на діаграмах (p, V) , (V, T) , (p, T) процеси: ізохорний, ізобарний, ізотермічний і адіабатний. Газ ідеальний.
5. Типова крива залежності енергії взаємодії U двох молекул від відстані між ними має вигляд, поданий на малюнку. Які сили діють між молекулами при $r < 2r_0$ і $r > 2r_0$?



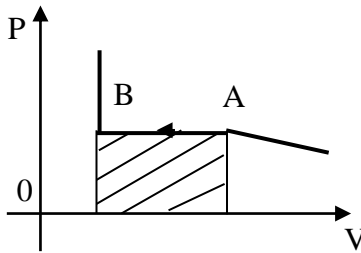
Варіант 5

1. В балоні ємністю 14 дм³ знаходиться суміш гелію з киснем масою 64 г при температурі 7⁰С і тиску 0,12 МПа. Знайти масу гелію і кисню у суміші.
2. Теплопровідність багатоатомного газу з жорсткими молекулами рівна 1,45 · 10⁻² Вт/(м·К), а коефіцієнт дифузії при таких же умовах 10 мкм²/с. Знайти число молекул в газі об'ємом 1 м³ при цих умовах.
3. Кисень масою 1 кг при тиску 0,50 МПа і температурі 127⁰С ізобарно розширився і збільшив свій об'єм в 2 рази, а потім ізотермічно стиснувся до тиску 4,0 МПа. Знайти сумарний приріст ентропії.
4. Який фізичний зміст має вираз $(p + \frac{a}{V^2})$?

5. Чому молярна теплоємність при сталому об'ємі менша за молярну теплоємність при сталому тиску? На яку величину?

Варіант 6

1. Скільки частинок (атомів і молекул) знаходиться в азоті масою 1 г, якщо ступінь дисоціації азоту 7,0%?
2. Густина деякого газу при нормальних умовах $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$. Відношення питомих теплоємностей 1,4. Знайти питомі теплоємності c_p і c_v цього газу.
3. Кусок льоду масою 0,3 кг мав початкову температуру 233 К і потім перетворився в пару при температурі 373 К і атмосферному тиску. Знайти приріст ентропії при цьому процесі.
4. Речовину переводять із стану А в стан В. Якій величині рівна заштрихована площа? Як змінюється в цьому процесі внутрішня енергія системи?



5. Чому газ має дві теплоємності: теплоємність при сталому об'ємі та теплоємність при сталому тиску?

3.1.2. Пакети завдань для додаткових зрізів ЗУН студентів з молекулярної фізики

Варіант 1

1. Оцінити кількість молекул повітря в атмосфері Землі.
2. За класичною теорією теплоємності розрахувати питомі теплоємності міді, заліза і вольфраму.
3. Викачуючи інтенсивно з колби повітря, заморозили частину води шляхом власного випаровування. Яка частина води при

цьому випарувалася, якщо припливу теплоти зовні немає? Питома теплота випаровування при 0°C становить $2,54 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$, а питома теплота плавлення льоду $3,35 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$.

4. У горизонтальному капілярі знаходиться вода. У який бік буде зміщуватися вода у капілярі, якщо один із його кінців нагрівати?

Варіант 2

1. Визначити молекулярну формулу C_xH_y газу, який є сполукою вуглецю з воднем, якщо при температурі $t=27^\circ\text{C}$ і тиску 100 кПа густина цього газу $\rho = 0,64 \text{ кг/м}^3$.
2. При нагріванні 1 кг невідомого газу в балоні на 1 К при сталому об'ємі витрачається $704,8 \text{ Дж}$ теплоти, а при сталому тиску $958,8 \text{ Дж}$. Встановити, який це газ.
3. Чому за реактивним літаком утворюється інверсійний слід?
4. Визначити механічну напругу в латунному циліндрі, затиснутому при $t_0 = 0^\circ\text{C}$ між двома опорами, якщо його нагріти до $t = 150^\circ\text{C}$. Для латуні $\alpha = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ К}^{-1}$, модуль Юнга $E = 90 \text{ ГПа}$.

Варіант 3

1. Органічна сполука $(\text{C}_3\text{H}_6\text{O})_n$ масою $m = 0,716 \text{ кг}$ в газоподібному стані при нормальному тиску і температурі $t=200^\circ\text{C}$ займає об'єм $V = 243 \text{ дм}^3$. Обчислити кількість мономерів n .
2. Різниця питомих теплоємностей для деякого газу $c_p - c_v = 189 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$. Визначити, який це газ.
3. Гелій в кількості $\nu = 1 \text{ кмоль}$ займає об'єм $V = 0,237 \text{ м}^3$ при температурі $t = -200^\circ\text{C}$. Користуючись рівнянням Ван-дер-Ваальса, знайти тиск газу.
4. Чому коефіцієнт поверхневого натягу залежить від температури?

Варіант 4

1. До якого тиску потрібно стиснути повітря в посудині при температурі $t = 27^\circ\text{C}$, щоб мідна куля піднялася з дна вгору? Вважати, що при високих тисках газові закони застосовні.

- Внаслідок ізотермічного розширення маси $m = 8,2$ г деякого газу в $n = 4,5$ рази виконується робота $A = 820$ Дж. Знайти середню квадратичну швидкість молекул цього газу.
- Знайти молярні теплоємності C_p^1 і C_v^1 газу Ван-дер-Ваальса.
- Чому висота гір на Землі обмежена?

Варіант 5

- На дні озера глибиною $h = 20$ м температура води $t_1 = 7$ °С. Бульбашка повітря, яка на дні озера має об'єм $V_1 = 2$ мм³, повільно піднімається. Який об'єм матиме бульбашка повітря біля поверхні води, якщо атмосферний тиск нормальний? Тиском, зумовленим поверхневим натягом, знехтувати. Температура повітря над водою $t_2 = 27$ °С.
- Який фізичний механізм явищ переносу при низьких тисках?
- Знайти зміну ентропії водню масою 0,8 кг при його стисненні від 0,1 МПа при температурі 27 °С до 1,5 МПа при температурі 127 °С.
- Визначити, на скільки змінюється температура рідини, якщо n крапель радіусом r зливаються в одну радіусом R . Густина рідини ρ , питома теплоємність c , коефіцієнт поверхневого натягу σ .

Варіант 6

- У посудині міститься $m_1 = 100$ г гелію і $m_2 = 50$ г азоту при температурі $t = 25$ °С і тиску 200 кПа. Обчислити густину суміші.
- Що розуміється під терміном "низький вакуум", "високий вакуум"?
- Розрахувати ККД циклу двигуна Отто, який складається з двох адіабат і двох ізохор. Ступінь адіабатного стиснення робочого тіла $V_1/V_2 = \beta$. Зобразити цикл на діаграмі p, V .
- На скільки потрібно збільшити зовнішній тиск, щоб при нагріванні бензолу на $\Delta T = 5$ К об'єм його не змінився? Коефіцієнт об'ємного розширення бензолу $\beta = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{K}^{-1}$, коефіцієнт стисливості $\gamma = 9,0 \cdot 10^{-10} \text{Па}^{-1}$.

Варіант 7

- Знаючи що атмосферний тиск в ізотермічній атмосфері змінюється за законом $p = p_0 e^{-\alpha H}$, визначити висоту, на яку

- може піднятися куля-зонд, якщо матеріал, з якого виготовлено цю кулю, допускає збільшення її поверхні в n разів.
2. Розрахувати коефіцієнт теплопровідності λ азоту при нормальних умовах.
 3. Чому для ідеального газу $C_p > C_v$?
 4. Дві пластинки, мідна і залізна, однакової товщини щільно прилягають одна до одної. Температура зовнішньої поверхні мідної пластинки 100°C , залізної – 0°C . Знайти температуру в місці дотику пластинок.

Варіант 8

1. Маса планети Марс $m = 6,6 \cdot 10^{23}$ кг, радіус $r = 3,2 \cdot 10^6$ м. Оцінити температуру атмосфери на поверхні Марса, якщо припустити, що планета оточена газовою оболонкою сталої густини висотою $h = 5 \cdot 10^4$ м з середньою молекулярною масою $M = 10^{-2}$ кг/моль.
2. Якої найбільшої швидкості може досягти дощова краплина діаметром $d = 2$ мм при падінні в повітрі? Температура і тиск повітря нормальні.
3. При нагріванні деякого металу від $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 400^\circ\text{C}$ його густина зменшилась в 1,027 рази. Знайти для цього металу середній коефіцієнт об'ємного теплового розширення.
4. Як можна примусити воду кипіти, не нагріваючи її?

Варіант 9

1. У горизонтально розміщеній трубці довжиною $L = 1$ м на відстані $b = 80$ см від запаяного кінця знаходиться стовпчик ртуті довжиною $l = 0,3$ см. З якою кутовою швидкістю ω повинна обертатись трубка в горизонтальній площині, щоб ртуть досягла відкритого краю трубки? Тиск атмосфери нормальний.
2. Коефіцієнт дифузії деякого газу при нормальних умовах $D = 15,3$ мм²/с. Який це газ?
3. Як можна пояснити зниження температури повітря з висотою в атмосфері Землі?
4. Для нагрівання металевого тіла масою $m = 50$ г від температури $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до температури $t_2 = 50^\circ\text{C}$ витрачено кількість теплоти

$Q = 180 \text{ Дж}$. Користуючись законом Дюлонга і Пті, знайти, з якого матеріалу виготовлено тіло.

3.2. Пакети контрольних завдань для комплексної перевірки ЗУН студентів з молекулярної фізики і термодинаміки

Варіант 1

1. Скільки атомів і молекул знаходиться в азоті масою 1 г, якщо ступінь дисоціації азоту 7%?
2. Кисень масою 1 кг при тиску 0,5 МПа і температурі 127°C ізобарно розширився до об'єму, вдвічі більшого за початковий, а потім ізотермічно стиснувся до тиску 4,0 МПа. Знайти сумарний приріст ентропії.
3. Відобразити на діаграмах: а) p, V ; б) p, T ; в) V, T наближені графіки ізохорного та ізотермічного процесів для ідеального газу.

Варіант 2

1. Густина деякого газу при нормальних умовах $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$. Відношення питомих теплоємностей 1,4. Знайти питомі теплоємності c_p і c_v цього газу.
2. Знайти температуру плавлення льоду при тиску 1,0 МПа. Вважати, що при зміні тиску в межах від 0,10 до 1,0 МПа густина льоду і води та питома теплота плавлення є сталими.
3. Відобразити на діаграмах : а) p, V ; б) p, T ; в) V, T наближені графіки ізобарного та адіабатного процесів для ідеального газу.

Варіант 3

1. Аргон масою 10,0 г нагрітий на 100 К при сталому тиску. Знайти кількість теплоти, яку отримав газ, приріст внутрішньої енергії і роботу, виконану газом.
2. Яку роботу проти сил поверхневого натягу треба виконати, щоб видуваючи мильну кулю збільшити її діаметр від 1,0 до 9,0 см?
3. Внутрішній тиск у воді становить понад 11 000 атм. Чому людина, яка пірнула у воду, не зазнає при цьому травм?

Варіант 4

1. Обчислити за класичною теорією теплоємності питомі теплоємності кристалів: 1) алюмінію; 2) міді; 3) платини.
2. До якої температури треба довести кисень масою 4,0 кг, який знаходиться при температурі 227⁰С, не змінюючи його об'єму, щоб зменшити ентропію кисню на 1,31 кДж/К?
3. Пояснити, чому з підвищенням висоти над рівнем моря температура земної атмосфери знижується.

Варіант 5

1. Середня довжина вільного пробігу молекул гелію при нормальних умовах $2,3 \cdot 10^{-7}$ м. Знайти середню тривалість вільного пробігу молекул гелію при тиску 1,0 МПа та температурі 17⁰С.
2. Теплову машину, яка працює за циклом Карно з ККД = 20%, використовують при тих же умовах як холодильну машину. Знайти її холодильний коефіцієнт.
3. Посудина з газом у вигляді прямокутного паралелепіпеда рухається з швидкістю v . Чи буде тиск газу на його стінки відрізнятись від тиску в нерухомій посудині?

Варіант 6

1. Коефіцієнт дифузії вуглекислого газу при нормальних умовах 10 мм²/с. Визначити динамічну в'язкість вуглекислого газу при цих умовах.
2. Який атмосферний тиск, якщо вода закипає при температурі 95⁰С? Питомі об'єми води і пари відповідно рівні 1,04 дм³/кг та 1,67 м³/кг.
3. Молекулярний пучок являє собою сукупність дуже великого числа незв'язаних молекул, які рухаються в одному напрямку з однаковими за величиною швидкостями. Чи можна вважати такий пучок статистичною системою?

Варіант 7

1. В посудині об'ємом 1 дм³ знаходиться деякий газ при температурі 17⁰С. Знайти зміну тиску газу, якщо внаслідок витікання газу з нього вийде 10²¹ молекул.
2. Скільки молекул знаходиться у воді об'ємом 1 м³? Яка маса молекули води?

3. Чому коефіцієнти в'язкості і теплопровідності не залежать від тиску, а коефіцієнт дифузії залежить?

Варіант 8

1. Дві пластини – мідна і залізна – однакової товщини щільно прилягають одна до одної. Температура зовнішньої поверхні мідної пластини 100°C , залізної – 0°C . Знайти температуру в місці контакту пластин.
2. Кисень і водень, маси яких рівні, однаково ізотермічно стискаються. Для якого газу приріст ентропії буде більшим і в скільки разів?
3. Намалювати для ідеального газу приблизні графіки ізохорного, ізобарного і адіабатного процесів на діаграмі V, T , обґрунтувавши їх хід.

Варіант 9

1. Вуглекислий газ масою 4,4 г під тиском 0,10 МПа при температурі 87°C адіабатно стискають до $1/20$ його початкового об'єму. Знайти кінцеву температуру і тиск газу, зміну внутрішньої енергії і роботу, виконану газом.
2. Чи можна вважати стан газу при тиску 133 мкПа високим вакуумом, якщо газ знаходиться в колбі діаметром $D = 0,5$ м і являє собою кисень при 0°C ?
3. Які властивості рівноважного стану?

Варіант 10

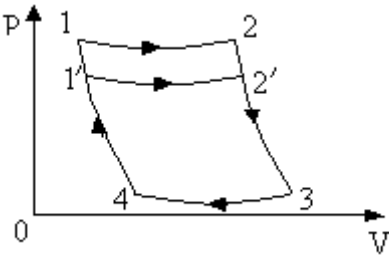
1. Яка частина молекул азоту при температурі 7°C володіє швидкостями від 500 до 510 м/с?
2. Знайти середню енергію молекул, які знаходяться в азоті масою 7,0 г при температурі 16°C . Яка частина цієї енергії припадає на поступальний рух і яка частина на обертальний рух? Коливальні ступені вільності молекул азоту не збуджуються.
3. Газ стискають від об'єму V_1 (тиск p_1) до об'єму V_2 ізотермічно, ізобарно і адіабатно. При якому процесі для цього треба затратити більшу роботу. Пояснити відповідь графічно.

Варіант 11

1. Який тиск і концентрація молекул повітря на висоті 2,0 км над рівнем моря? Тиск на рівні моря 101 кПа, а температура 10°C . Зміною температури з висотою знехтувати.
2. Яка частка теплоти, підведеної до ідеального газу при ізобарному процесі, витрачається на збільшення внутрішньої енергії і яка – на роботу при розширенні у випадку:
а) одноатомних; б) двоатомних з жорсткими молекулами;
в) трьохатомних (об'ємних) з жорсткими молекулами газів?
3. Деякий ідеальний газ зазнає спочатку ізобарного розширення, а потім ізотермічного стиску. Відобразити ці процеси в координатах p , T і V , T .

Варіант 12

1. В балоні ємністю 22 дм^3 знаходиться азот масою 0,70 кг при температурі 0°C . Знайти тиск газу на стінки балона, внутрішній тиск газу і власний об'єм молекул.
2. В посудині об'ємом 3 дм^3 знаходиться гелій масою 4,0 мг, азот масою 70 мг і $5,0 \cdot 10^{21}$ молекул водню. Який тиск суміші, якщо її температура 27°C ?
3. На малюнку подані діаграми двох циклів Карно: 1-2-3-4-1 і 1'-2'-3-4-1'. В якому з циклів машина буде мати більший ККД?



Варіант 13

1. Середня квадратична швидкість молекул деякого газу 900 м/с, а середня довжина вільного пробігу при цих умовах 4,0 мкм. Знайти середнє число зіткнень молекул цього газу за 1с.
2. Знайти питомі теплоємності c_p і c_v суміші, яка складається з азоту в кількості 1 моля, метану – 4 моля і аргону масою 8,0 г.

3. Чому вщерть заповнена водою і закоркована пляшка при замерзанні води лопається?

Варіант 14

1. Гніт піднімає воду на висоту 8,0 см. На яку висоту по цьому гніті підніметься газ?
2. В циліндрі під поршнем знаходиться двохатомний газ в кількості 1 моля при температурі 27°C . Спочатку газ розширюється адіабатно до об'єму в 5 разів більшого за початковий, а потім стискується ізотермічно до початкового об'єму. Знайти виконану газом роботу.
3. Чи можна за допомогою манометра виміряти внутрішній тиск в реальному газі чи рідині?

Варіант 15

1. Середня довжина вільного пробігу молекул гелію при нормальних умовах 0,23 мкм. Знайти коефіцієнт дифузії гелію при цих умовах.
2. При ізобарному розширенні трьохатомного газу з жорсткими молекулами, який знаходиться під тиском 0,2 МПа, внутрішня енергія змінилася на 4,8 кДж. Знайти приріст об'єму газу.
3. Чи можна нагріти воду до 200°C ?

Варіант 16

1. Для гелію динамічна в'язкість при температурі 0°C рівна $16,3 \text{ мкПа}\cdot\text{с}$. Знайти діаметр молекул гелію.
2. Знайти приріст ентропії вуглекислого газу масою 1,0 кг в процесі стиснення від тиску 0,2 МПа при температурі 40°C до тиску 4,5 МПа при температурі 253°C .
3. Яке повітря важче при нормальних умовах, сухе чи вологе?

Варіант 17

1. Знайти теплопровідність аргону при нормальних умовах.
2. Ідеальний двохатомний газ здійснює цикл, який складається з двох ізохор і двох ізобар, при цьому найбільший тиск в три рази більший найменшого, а найбільший об'єм в 5 раз більший найменшого. Знайти ККД циклу.
3. Для яких планет більша імовірність мати атмосферу: холодних чи гарячих, легких чи важких?

Варіант 18

1. На яку висоту підніметься під дією капілярних сил вода в ґрунтових капілярах діаметром 0,3 мм і в стеблах жита, які мають середній діаметр пор 20 мкм? Змочування вважати повним.
2. Повна кінетична енергія молекул багатоатомного газу, маса якого 20 г, рівна 3,2 кДж. Знайти середню квадратичну швидкість молекул цього газу.
3. Чи знаходиться міжзірковий газ, концентрація частинок якого складає 1 см^{-3} , в стані вакууму?

Варіант 19

1. Визначити відношення числа молекул, які володіють швидкостями в інтервалі від 2,0 до 2,01 км/с, до числа молекул, які володіють швидкостями від 1,0 до 1,01 км/с, якщо температура водню 0°C .
2. Об'єм бульбашки повітря при її спливанні з дна озера на поверхню збільшився у 3 рази. Яка глибина озера?
3. Ідеальний газ знаходиться: а) в залізному балоні; б) у повітряній кулі; в) в термосі. Які параметри у цих випадках будуть зовнішніми, а які внутрішніми?

Варіант 20

1. Кусок льоду масою 0,3 кг з температурою 233 К, перетворений в пару при температурі 373 К і нормальному атмосферному тиску. Знайти приріст ентропії при цьому процесі.
2. Знайти середню кінетичну енергію обертального руху молекул водню, які знаходяться в 1 молі при 18°C .
3. Зобразити графічно в координатах p, T дві ізохори, які відповідають різним масам одного і того ж газу, які займають однакові об'єми.

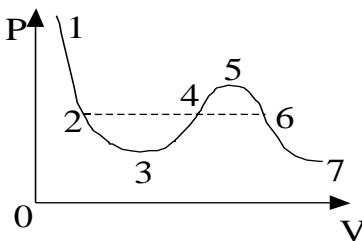
Варіант 21

1. Тиск в циліндрі парової машини об'ємом 20 дм^3 після відкриття клапана зменшився на $\Delta p = 0,81 \text{ МПа}$. Яка маса водяної пари випущена з циліндра? Температура пари 100°C .

- Визначити висоту гори, якщо тиск на її вершині рівний половині тиску над рівнем моря. Температуру вважати всюди однаковою і рівною 0°C .
- Чи справедливий розподіл Максвелла для окремої молекули, яка знаходиться у вільному космосі; для пилінки, завислої в повітрі кімнати; для броунівської частинки, густина якої рівна густині води?

Варіант 22

- В балоні ємністю 14 дм^3 знаходиться суміш гелію з киснем масою 64 г при температурі 7°C і тиску $0,12 \text{ МПа}$. Знайти масу гелію і кисню в суміші.
- При зменшенні об'єму кисню від $V_1 = 20 \text{ дм}^3$ до $V_2 = 10 \text{ дм}^3$ його тиск зріс від $p_1 = 0,10 \text{ МПа}$ до $p_2 = 0,25 \text{ МПа}$. Який приріст внутрішньої енергії газу?
- Яка з ділянок теоретичної ізотерми Ван-дер-Ваальса відповідає станів перенасиченої пари? Якому станів речовини відповідає ділянка експериментальної ізотерми 2-6? Яка із ділянок не може бути ні при яких умовах здійснена на практиці?



Варіант 23

- Знайти діаметр молекули аргону за відомою сталою b в рівнянні Ван-дер-Ваальса.
- Скільки зіткнень за 1 с здійснюють молекули вуглекислого газу при нормальних умовах?
- Чому дві краплини ртуті при дотику зливаються в одну?

Варіант 24

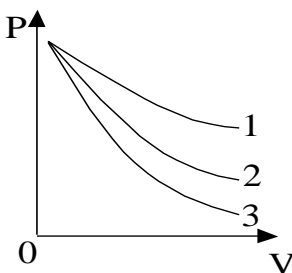
- Ідеальний трьохатомний газ з жорсткими (об'ємними) молекулами нагрівають при сталому об'ємові так, що його тиск збільшується вдвічі. Після цього газ адіабатно

розширюється до початкового тиску, а потім ізобарно стискується до початкового об'єму. Знайти ККД циклу, який здійснюється газом.

2. Мікроскопічна пилінка вуглецю володіє масою 0,1 кг. Визначити, із якого числа атомів вона складається.
3. Три гази He, N₂ і CO₂ (по 1 молу) нагрілися ізохорно до однакової температури. У котрого газу найбільша зміна ентропії?

Варіант 25

1. Скільки молекул газу знаходиться в балоні ємністю 30 дм³ при температурі $T = 300$ К і тиску 5 МПа?
2. Знайти коефіцієнт теплопровідності повітря при $t = 10^{\circ}\text{C}$ і тиску 10^5 Па.
3. На графіку подані дві адіабати (CO₂ і He) і спільна ізотерма. Котра з цих кривих є спільною ізотермою і котра адіабата якому газу належить?



Варіант 26

1. Знайти питомий об'єм пари при 100°C і нормальному тиску, якщо відомо, що при тиску 735,5 мм рт.ст. температура кипіння води $99,1^{\circ}\text{C}$.
2. При якому збільшенні висоти кількість пилинок, що перебувають у броунівському русі в повітрі при $t = 17^{\circ}\text{C}$, зменшиться в e раз. Діаметр пилинок $d = 5 \cdot 10^{-7}$ м, їх густина $\rho = 1$ г/см³.
3. У котрого з трьох газів Ne, N₂ і C₂H₄ (етилену) найбільша питома теплоємність при сталому об'ємі c_V ?

Варіант 27

1. Різниця питомих теплоємностей деякого двоатомного газу при постійному тиску і постійному об'ємі рівна $2,6 \cdot 10^2 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$. Знайти молярну масу газу і його питомі теплоємності c_p і c_v .
2. Знайти зміну ентропії при охолодженні 2,0 г повітря від 40 до 0°C : а) при сталому тиску; б) при сталому об'ємі.
3. У двох посудинах при однаковому тиску знаходяться кисень і водень, причому концентрації молекул обох газів однакова. У котрого з цих газів вища температура? У котрого з цих газів більша $\langle v_{\text{кв}} \rangle$?

Варіант 28

1. Кисень в кількості 1 моля знаходиться при температурі $T=350\text{K}$. Знайти відносну похибку при обчисленні внутрішньої енергії газу, якщо газ розглядати як ідеальний. Розрахунки провести для двох об'ємів: 1) 2 л; 2) 0,2 л.
2. З кінця скляної трубки, опущеної у воду, видули бульбашку повітря радіусом 0,02 см. При цьому тиск повітря в бульбашці перевищував атмосферний на $9,840 \cdot 10^4 \text{ Па}$. На яку глибину опущена трубка?
3. Як розподіляється енергія за ступенями вільності газових молекул?

3.3. Деякі фізичні константи та величини

Таблиця 1. Фізичні константи

Константи	Позначення	Значення
Швидкість світла у вакуумі	c	$2,99792458 \cdot 10^8$ м/с
Гравітаційна стала	G	$6,6720 \cdot 10^{-11}$ Н·м ² ·кг ⁻¹
Атомна одиниця маси	<i>a. o. m.</i>	$1,6605655 \cdot 10^{-27}$ кг
Молярна газова стала	R	$8,31441$ Дж·моль ⁻¹ ·К ⁻¹
Молярний об'єм ідеального газу ($T_0 = 273,16$ К; $p_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Па)	V_m	$0,02241383$ м ³ /моль
Стала Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Число Лошмідта	n_0	$2,68 \cdot 10^{25}$ м ⁻³
Стала Больцмана	k	$1,380662 \cdot 10^{-23}$ Дж/К

Таблиця 2. Молярні маси речовин

Речовина	$M \cdot 10^3$, кг/моль	Речовина	$M \cdot 10^3$, кг/моль
Азот (N_2)	28	Криптон (Kr)	84
Аміак (NH_3)	17	Ксенон (Xe)	131
Аргон (Ar)	40	Метан (CH_4)	16
Водень (H_2)	2	Мідь (Cu)	64
Вода (H_2O)	18	Неон (Ne)	20
Вуглець (C)	12	Окис	
Вуглекислий газ (CO_2)	44	вуглецю (CO)	28
Гелій (He)	4	Окис азоту (NO)	30
Залізо (Fe)	57	Повітря	29
Кисень (O_2)	32	Радон (Rn)	222
		Хлор (Cl_2)	71

Таблиця 3. Діаметри молекул і атомів, нм

Азот (N_2)	0,31
Аргон (Ar)	0,29
Водень (H_2)	0,23
Водяна пара (H_2O)	0,26
Гелій (He)	0,19
Кисень (O_2)	0,29
Оксид вуглецю (CO)	0,32
Вуглекислий газ (CO_2)	0,33
Хлор (Cl_2)	0,37

Таблиця 4. Густина речовини

Речовина	ρ , кг/м ³	Речовина	ρ , кг/м ³
Гази при нормальних умовах ($T_0 = 273,16$ К; $p_0 = 1,01 \cdot 10^5$ Па)			
Азот	1,250	Кисень	1,429
Водень	0,089	Метан	0,717
Вуглекислий газ	1,977	Неон	0,900
Гелій	0,178	Повітря	1,293
Рідини			
Бензол ($t=20^0C$)	879	Спирт етиловий ($t=0^0C$)	789
Вода ($t=4^0C$)	1000	Спирт метиловий ($t=0^0C$)	792
Вода ($t=100^0C$)	958	Толуол ($t=18^0C$)	870
Гас ($t=0^0C$)	800	Ртуть ($t=0^0C$)	13596
Гліцерин ($t=0^0C$)	1260		
Скипидар ($t=16^0C$)	858		
Тверді тіла при 293 К ($\rho \cdot 10^{-3}$, кг/м ³)			
Алюміній	2,69	Олово лите	7,23
Залізо	7,86	Сталь лита	7,7-8,0
Латунь	8,3-8,7	Свинець	11,22-11,44
Лід (0^0C)	0,91	Срібло	10,42-10,57
Мідь	8,88-8,96	Цинк	6,86-7,24
Нікель	8,4-9,2	Чавун	6,6-7,3

Таблиця 5. Деякі фізичні величини газів

Температурний коефіцієнт тиску β , K^{-1} ; питома теплоємність c_p при $0^{\circ}C$, Дж/(кг·К); коефіцієнт теплопровідності λ при $0^{\circ}C$, Вт/(м·К); коефіцієнт внутрішнього тертя η при $0^{\circ}C$, Па·с

Газ	$\beta \cdot 10^4$	c_p	$\frac{c_p}{c_v}$	$\lambda \cdot 10^3$	$\eta \cdot 10^4$
Азот (N_2)	3674	$1,0 \cdot 10^3$	1,40	23,9	1,67
Водень (H_2)	3662	$1,43 \cdot 10^4$	1,40	169	0,84
Вуглекислий газ (CO_2)	3726	848	1,30	14,7	1,40
Гелій (He)	3660	5240	1,66	143	1,89
Кисень (O_2)	3674	913	1,40	24,5	1,92
Повітря	3674	1011	1,40	24,1	1,75

Таблиця 6. Деякі фізичні характеристики рідин

Коефіцієнт поверхневого натягу на межі „рідина – повітря” σ при $20^{\circ}C$, Н/м; коефіцієнт внутрішнього тертя η при $20^{\circ}C$, мкПа·с; коефіцієнт об’ємного розширення β при $20^{\circ}C$, K^{-1} ; точка кипіння t_k , $^{\circ}C$; питома теплота пароутворення при точках кипіння r , Дж/кг

Рідина	σ	η	$\beta \cdot 10^2$	t_k	r
Бензол	30	673	0,124	80,2	$394 \cdot 10^3$
Вода	72,6	1005	0,207	100,0	$2,26 \cdot 10^6$
Гліцерин	66	$1,48 \cdot 10^6$	0,050	290	–
Олія рицинова	36,4	$970 \cdot 10^3$	–	–	–
Ртуть	50	1,59	0,018	356,7	$2,85 \cdot 10^5$
Спирт етиловий	22,0	1200	0,110	78,3	$8,57 \cdot 10^6$

Таблиця 7. Деякі теплофізичні коефіцієнти твердих тіл

Температурний коефіцієнт лінійного розширення в інтервалі 0-100⁰C α , К⁻¹; питома теплоємність c при 18⁰C, Дж/(кг·К); коефіцієнт теплопровідності λ при 18⁰C, Вт/(м·К); температура плавлення $t_{пл}$, °C; питома теплота плавлення r , Дж/кг

Матеріал	$\alpha \cdot 10^4$	$c \cdot 10^{-2}$	λ	$t_{пл}$	$r \cdot 10^{-5}$
Алюміній	0,238	9,2	200,6	1169	3,8
Залізо	0,121	4,6	58,5	2076	2,7
Лід	0,51	20,9	2,5	0	3,35
Мідь	0,167	3,8	384	1629	1,8
Парафін	1,07-4,07	32	0,21	38-56	1,5
Свинець	0,293	1,2	34,7	873	0,25
Срібло	0,197	2,5	422,2	1506	0,88
Ебоніт	0,84	–	0,17	–	–
Фторопласт-4	0,8-1,1	10,5	0,24	327	–

Таблиця 8. Теплопровідність речовин (λ)

Речовина	λ , Вт/(м·К)	Речовина	λ , Вт/(м·К)
Алюміній	205	Мідь	390
Аргон	0,16	Пробка	0,035
Азбест	0,14	Свинець	34,8
Вісмут	10	Смола	0,52
Вода	0,58	Скло	0,74
Повітря	0,026	Ебоніт	0,16
Дерево (поперек волокон)	0,17 62,0		
Залізо (сталь)	0,84		
Цегляна кладка			

Таблиця 9. Сталі Ван-дер-Ваальса

Речовина	$a, \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}^3}{\text{моль}^2}$	$b \cdot 10^5, \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$
Азот	0,136	4,0
Аргон	0,132	3,0
Вода	0,554	3,0
Кисень	0,137	3,0
Вуглекислий газ	0,364	4,3

Таблиця 10. Критичні значення температури і тиску

Речовина	$T_c, \text{К}$	$p_c, \text{МПа}$
Азот	126	3,4
Аргон	151	4,87
Бензол	562	4,8
Водень	33	1,3
Водяна пара	647	22,0
Гелій	5,2	0,23
Кисень	154	5,07
Вуглекислий газ	304	7,4

Таблиця 11. Швидкість звуку (м/с)

Вода	1450
Повітря (сухе)	332
Алюміній	5100
Залізо	5300
Цегла	3650

Зміст

Переднє слово.....	5
1. Перший навчальний модуль.....	8
1.1. Перший змістовий модуль	
“Основи молекулярно-кінетичної теорії”.....	9
1.1.1. Перелік програмних питань.....	9
1.1.2. Орієнтаційні запитання.....	10
1.1.3.Орієнтовний пакет завдань модульного екзамену.....	12
1.1.4. Пакети рівневих завдань до контрольної роботи.....	
“Основи молекулярно-кінетичної теорії газів”.....	16
1.1.4.1. Пакет I.....	16
1.1.4.2. Пакет II.....	18
1.1.5. Тестові завдання “Елементи МКТ речовини”.....	21
1.1.6.Фізичний диктант “Газові закони. Рівняння стану”.....	24
1.1.7. Пакети самостійних аудиторних робіт.....	25
1.1.7.1. Пакет I “Елементи МКТ речовини”	25
1.1.7.2. Пакет II “Закони ідеального газу”	24
1.1.7.3. Пакет III “Основне рівняння МКТ”	27
1.1.7.4. Пакет IV “Статистичні розподіли”	28
1.1.7.5. Пакет V “Явища переносу в газах”	33
1.2. Другий змістовий модуль ”Основи термодинаміки”	35
1.2.1. Перелік програмних питань	35
1.2.2. Орієнтаційні запитання	36
1.2.3. Орієнтовний пакет завдань модульного екзамену	38
1.2.4. Пакети завдань до контрольної роботи	
“Основи термодинаміки”	42
1.2.5. Тестові завдання по темі	
“Перший закон термодинаміки і його	
застосування до аналізу ізопроцесів”	45
1.2.6. Пакети завдань до самостійних аудиторних робіт:.....	47
1.2.6.1. Пакет I	
“Перший закон термодинаміки. Теплоємність газу”	47
1.2.6.2. Пакет II “Закони термодинаміки. Ентропія”	48
1.2.6.3. Пакет III “Основи термодинаміки”	56
1.3. Третій змістовий модуль	
“Властивості реальних газів, рідин і твердих тіл”	61

1.3.1. Перелік програмних питань	61
1.3.2. Орієнтаційні запитання	62
1.3.3. Орієнтовний пакет завдань модульного екзамену	63
1.3.4. Пакет завдань для самостійної роботи по темах “Реальні гази. Рідини і тверді тіла.”	67
2. Другий навчальний модуль	69
2.1. Тематика наукових рефератів з молекулярної фізики і термодинаміки	70
2.2. Перелік завдань для підсумкового тестування з лабораторного практикуму по молекулярній фізиці	75
3. Додатки	79
3.1. Пакети завдань для додаткового контролю ЗУН студентів з молекулярної фізики:.....	80
3.1.1. Пакети завдань для повторної підсумкової контрольної роботи	80
3.1.2. Пакети завдань для додаткових зрізів ЗУН	83
3.2. Пакети контрольних завдань для комплексної перевірки ЗУН студентів з молекулярної фізики і термодинаміки	87
3.3. Деякі фізичні константи та величини.....	96
Зміст	101

Навчальне видання

Богдан Петрович Дем'янюк

**РЕЙТИНГОВИЙ КОНТРОЛЬ
З МОЛЕКУЛЯРНОЇ ФІЗИКИ**

Комп'ютерний набір: **Н.Козлюк, О.Кирильчук**

Комп'ютерна верстка: **Л.Слободенюк**

Комп'ютерний макет: **О.Третяк**

Дем'янюк Б.П. Рейтинговий контроль з молекулярної фізики: Навчальний посібник. – Рівне: РДГУ, 2007. – 100 с.

У посібнику до кожного змістового модуля з молекулярної фізики та основ термодинаміки подано комплекти завдань для рейтингового контролю самостійної роботи студентів спеціальності “фізики”. Комплекти містять якісні, розрахункові та графічні задачі, задачі–малюнки, фізичні диктанти, завдання для тестового контролю, пакети контрольних робіт, орієнтовні білети модульних екзаменів.

Для студентів і викладачів фізичних спеціальностей вищих закладів освіти III – IV рівнів акредитації.

ББК 22. 36я73

