

ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД «ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені К. Д. УШИНСЬКОГО»

Кафедра інноваційних технологій та методики навчання  
природничих дисциплін

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ  
ТА ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ  
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ  
«ЗАГАЛЬНА ФІЗИКА (МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА ТА  
ТЕРМОДИНАМІКА)»**

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
спеціальності 014 Середня освіта (Фізика та астрономія)

**ОДЕСА 2023**

**УДК: 378.147:536**

Рекомендовано до друку вченою радою  
Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний  
університет імені К. Д. Ушинського»  
протокол від «29» червня 2023 року № 13

### **РЕЦЕНЗЕНТИ:**

**Ваксман Ю. Ф.** – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри експериментальної фізики Одеського національного університету імені І. І. Мечникова

**Койчева Т. І.** – доктор педагогічних наук, професор, професор кафедри Південноукраїнського національного педагогічного університету імені К. Д. Ушинського

### **Укладач:**

**Совкова Т. С.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інноваційних технологій та методики навчання природничих дисциплін

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Загальна фізика (молекулярна фізика та термодинаміка)» / укладач Т. С. Совкова – Одеса, Університет Ушинського, 2023. 46 с.

*Методичні рекомендації до практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Загальна фізика (молекулярна фізика та термодинаміка)» містять передмову, теми лекційних, практичних та лабораторних занять, перелік індивідуальних науково-дослідних завдань, плани проведення практичних занять та завдання для самостійної роботи, перелік задач та теоретичні відомості до їх розв'язання. Рекомендовано для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 014 Середня освіта (Фізика та астрономія) з метою закріплення, поглиблення й узагальнення знань, одержаних під час навчання.*

## ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ЗМІСТ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ	9
1.1. Теми лекційних занять	9
1.2. Теми практичних занять	12
1.3. Теми лабораторних робіт	13
1.4. Індивідуальні навчально-дослідні завдання	14
2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВЕЛИЧИНИ	15
2.1. Змістовий модуль 1. Основи молекулярно-кінетичної теорії	15
2.2. Змістовий модуль 2. Основи термодинаміки	18
2.3. Змістовий модуль 3. Фази та фазові перетворення	21
3. ЗАДАЧІ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ	26
4. ПЛАНИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ	36
5. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	45

## ВСТУП

**Мета навчання** дисципліни «Загальна фізика (молекулярна фізика та термодинаміка)» – набуття здобувачами вищої освіти цілісного уявлення про процеси і явища, що відбуваються в природі, про фундаментальні фізичні закони, основні поняття, закони і моделі молекулярної фізики, основи термодинаміки, методи теоретичного і експериментального дослідження, практичних навичок застосування набутих знань на практиці, зокрема при розв’язуванні задач різного рівня складності, роботі з фізичними приладами.

Викладання навчальної дисципліни «Загальна фізика (молекулярна фізика та термодинаміка)» спрямоване на узгодження проведення лекційних, практичних та лабораторних занять при підвищенні ролі самостійної та індивідуальної складових роботи студентів.

Робота на практичних заняттях має бути спрямована на вивчення та застосування базових моделей у конкретних умовах перебігу фізичних явищ, формування мотивації щодо використання набутих знань у професійній діяльності.

**Передумови для вивчення дисципліни:** для вивчення навчальної дисципліни «Загальна фізика (молекулярна фізика та термодинаміка)» здобувачі мають опанувати знання зі шкільного курсу фізики та з навчальної дисципліни першого (бакалаврського) рівня вищої освіти «Загальна фізика (механіка)».

### **Очікувані результати вивчення дисципліни:**

#### **знати:**

- предметний зміст дисципліни;
- роль і місце молекулярної фізики та термодинаміки у сучасній науковій картині світу;
- основні поняття, моделі, закони і закономірності, яким підкорюються теплові явища;
- методи теоретичного і експериментального дослідження теплових явищ;

**уміти:**

- чітко формулювати та знаходити шляхи до розв'язання задач різного ступеня складності з молекулярної фізики і термодинаміки, доцільним чином інтегруючи знання з різних галузей відповідних математично-природничих наук;
- знаходити, обробляти та аналізувати інформацію з різних джерел, застосовувати сучасні інформаційні технології при виконанні практичних завдань;
- проводити експериментальні дослідження з дотриманням норм охорони життя і здоров'я під час роботи в фізичній лабораторії, відповідально й безпечно використовувати фізичне обладнання, проводити обробку експериментальних даних методами математичної статистики;
- організовувати самостійну роботу з використанням сучасних технологій і засобів навчання.

**Засоби оцінювання та методи демонстрування результатів навчання**

Для навчальної дисципліни «Загальна фізика (молекулярна фізика і термодинаміка)» навчальним планом передбачено проведення підсумкового контролю у формі усного екзамену, на який відводиться 20 балів. Здобувач вищої освіти може скласти екзамен, якщо кількість отриманих впродовж вивчення дисципліни балів не менше як 40. Накопичені здобувачем бали під час вивчення навчальної дисципліни не анулюються, а підсумовуються. Оцінка за екзамен не може бути меншою за кількість накопичених ним балів.

Засобами проміжного контролю є наступні методи оцінювання: індивідуальне опитування, колективна співбесіда, перевірка виконання практичних завдань та звітів з лабораторних робіт, письмові роботи, презентація результатів самостійної роботи.

Демонстрування результатів навчання: дискусія, усні доповіді, робота в команді, тренінг, круглий стіл, перевернуте навчання, презентація результатів самостійної роботи.

### Критерії оцінювання за різними видами роботи

Види роботи	Бали	Критерії
Лабораторне заняття	0 балів	Відсутність звіту з виконання лабораторної роботи. Здобувач має поверхові уявлення про об'єкт вивчення. Результати вимірювань отримує лише за допомогою викладача.
	1 бал	Наявність усіх необхідних елементів протоколу виконання лабораторної роботи. Здобувач самостійно виконує роботу в повному обсязі. Звіт з роботи містить певні неточності, помилки.
	2 бали	Наявність усіх необхідних елементів протоколу виконання лабораторної роботи. Здобувач володіє глибокими, міцними знаннями і здатний усебічно використовувати їх при виконанні лабораторних робіт. Усі завдання виконано правильно, відповіді і висновки обґрунтовані, логічно побудовані.
Практичне заняття	0 балів	Здобувач відтворює незначну частину навчального матеріалу, має поверхові уявлення про предмет вивчення, неаргументовано висловлює думку. Використовує необхідні інформаційно-методичні матеріали, виконує практичне завдання за умови сторонньої допомоги.
	1 бал	Знання здобувача є достатньо повними, він самостійно застосовує відповідний навчальний матеріал, виконуючи практичні завдання; аналізує, робить висновки. Відповідь повна, логічна, обґрунтована, але припускається неточностей. Здобувач самостійно використовує необхідні інформаційно-методичні матеріали виконуючи практичні завдання. Виконане завдання у цілому відповідає вимогам, хоча має незначні огріхи.
	2 бали	Здобувач володіє міцними знаннями, оперує ними при виконанні практичних завдань. Самостійно використовує необхідні інформаційно-методичні матеріали виконуючи практичне завдання. Не припускається помилок при його виконанні. Здобувач виступає експертом практичного завдання, що виконали однокурсники.
Самостійна робота	0 балів	Здобувач розпізнає деякі об'єкти вивчення та визначає їх на побутовому рівні, може описувати деякі об'єкти вивчення; має фрагментарні уявлення з предмета вивчення; виконує елементарні прийоми практичних завдань.
	0,5 бали	Здобувач знає окремі факти, що стосуються навчального матеріалу; виявляє здатність елементарно висловлювати думку; переважно за допомогою викладача може виконувати частину практичних завдань; знає послідовність виконання завдання; практичні завдання містять багато суттєвих відхилень від установлених вимог, при їх виконанні потребує систематичної допомоги викладача.
	1 бал	Здобувач самостійно відтворює фактичний і теоретичний матеріал та наводить приклади; володіє навчальним матеріалом і використовує набуті знання, уміння у стандартних ситуаціях; самостійно виконує практичні завдання відповідно до методичних рекомендацій; іноді

		потребує допомоги з боку викладача або одногрупників, практичні завдання мають окремі помилки; користується необхідними навчально-методичними матеріалами.
	2 бали	Здобувач володіє глибокими знаннями, демонструє відповідні компетентності, використовує їх у нестандартних ситуаціях, самостійно працює з інформацією у відповідності до поставлених завдань; систематизує та узагальнює навчальний матеріал.
Письмова робота	0-1 балів	Здобувач не менше ніж на 50% контрольних завдань надав правильну відповідь – початковий рівень знань
	5-7 балів	Здобувач на 51% – 70% контрольних завдань надав правильну відповідь – середній рівень знань
	8-11 балів	Здобувач на 71% – 90% контрольних завдань надав правильну відповідь – достатній рівень знань
	12-14 балів	Здобувач на 91% – 100% контрольних завдань надав правильну відповідь – високий рівень знань
Індивідуальне навчально-дослідне завдання (есе)	0 балів	Завдання не виконано; есе має компілятивний характер; висловлювання не відповідає (за змістом і формою) вимогам, які висуваються до жанру академічного есе.
	1–3 бали	Здобувач демонструє неглибоку обізнаність з темою, її інтерпретація поверхова, судження подеколи компелятивні. У роботі простежується комунікативний задум автора, представлений традиційний або обмежений набір ідей, відсутня діалогова (дискусійна) основа. Композиційна структура есе загалом витримана, проте наявні суттєві недоліки в аргументації основних положень, встановленні причинно-наслідкових зв'язків (не більше 2 логічних помилок), фрагменти іноді не пов'язані між собою, опущений аналіз суттєвих характеристик явища, не аналізуються альтернативні погляди на проблему. Спостерігається невдале поєднання теорії з фактичним матеріалом, використання риторики (тверджень) замість аргументації (доказів). Здобувач демонструє бідний словниковий запас, одноманітність граматичного ладу мови; спостерігається порушення мовностилістичних норм наукового стилю, зокрема наявне недоречне використання засобів виразності, неточне вживання термінології тощо; порушуються орфографічні й пунктуаційні норми.
	4 – 6 балів	Здобувач демонструє розуміння проблеми, чітко її формулює, проте заявлена тема розкрита не повно, наявні фрагменти, які не відповідають темі. Авторська модальність і оцінність виявляється невиразно. Здобувач загалом володіє навичками створення академічного тексту, аргументованого доведення тез, загальна форма викладу відповідає жанру академічного есе, проте стиль викладу, використана лексика і термінологія не завжди відповідає академічним стандартам. Робота характеризується змістовою цілісністю і послідовністю викладу, проте логічно упорядковані думки не пов'язані між собою мовними засобами; вказані наявні альтернативні погляди на проблему без їх адекватної оцінки; спостерігаються порушення у використанні прийомів порівняння й узагальнення. Використано змішаний стиль викладу з

		превалюванням неформального. Здобувач переважно дотримується лексичних, граматичних норм наукового стилю, проте наявні окремі орфографічні і синтаксичні помилки.
	7 – 9 балів	Здобувач демонструє розуміння проблеми, розкриває її, присутня авторська модальність, оцінність, проте інтерпретація теми недостатньо глибока і самостійна. Здобувач загалом володіє навичками створення академічного тексту, аргументованого доведення, проте тези й приклади не завжди переконливі, здобувач переважно використовує традиційні форми доведення. Загальна форма викладу відповідає жанру академічного есе, проте стиль викладу, використана лексика і термінологія не завжди відповідає академічним стандартам; виклад зрозумілий і чіткий; наявні незначні порушення логіки чи послідовності викладу; пояснюються альтернативні погляди на проблему та їх оцінка; використовуються прийоми порівняння, зіставлення й узагальнення. Текст загалом оформлено правильно, але трапляються поодинокі порушення орфографічних чи пунктуаційних норм.
	10 балів	Здобувач демонструє глибоке розуміння проблеми, чітко формулює і розкриває її, обґрунтовано використовує відомості з наукових джерел. Інтерпретація теми глибока й самостійна, переважає авторська модальність й оцінність. Загальна форма викладу відповідає жанру академічного есе; виклад зрозумілий і чіткий; стиль викладу відповідає академічним стандартам. Багатий словниковий запас, лексичні (зокрема термінологічні) та стилістичні засоби використовуються повністю адекватно й виразно. Наведені доведення логічні і обґрунтовані; сформульовані тези переконливі, супроводжуються грамотною аргументацією власної позиції; подаються альтернативні погляди на проблему та їх особиста оцінка автором; доречно й грамотно використовуються прийоми порівняння, зіставлення й узагальнення; судження свідчать про самостійність мислення і широту кругозору автора. Текст повністю відповідає вимогам точності й правильності мовлення; допущені окремі (1-2) мовленнєві або стилістичні огріхи.



## **модуль 1. Основи молекулярно-кінетичної теорії**

### **Тема 1. Розвиток уявлень про будову речовини. Основні положення МКТ**

Тепловий рух і теплові явища. Макросистеми. Молекулярна фізика й термодинаміка як два підходи до вивчення теплових явищ. Розвиток уявлень про будову речовини. Основні положення МКТ та їх дослідне підтвердження. Молекули в МКТ. Маса й розміри молекул. Відносна атомна та відносна молекулярна маса. Кількість речовини. Молярна маса. Число Авогадро. Концентрація молекул. Концентрація компонент суміші. Ступінь дисоціації. Сили молекулярної взаємодії.

### **Тема 2. МКТ ідеального газу**

Термодинамічні системи і параметри їх стану. Мікро- і макроскопічні параметри. Термодинамічні процеси: рівноважні та нерівноважні; оборотні та необоротні; кругові (циклічні). Термодинамічна рівновага. Модель та параметри ідеального газу.

Температура та її вимірювання. Стала Больцмана. Основне рівняння МКТ ідеального газу. Рівняння стану ідеального газу. Основні газові закони. Ізопроцеси. Закони Бойля-Маріотта, Шарля, Гей-Люсака. Закон Авогадро. Газові суміші. Парціальний тиск. Закон Дальтона для суміші газів.

### **Тема 3. Статистичні розподіли в МКТ ідеального газу**

Розподіл енергії за степенями свободи молекул. Поняття про статистичний розподіл. Ступені свободи молекул. Теорема про рівномірний розподіл кінетичної енергії за степенями свободи молекул.

Ідеальний газ у полі сили тяжіння. Барометрична формула і розподіл молекул в полі сили тяжіння. Розподіл молекул земної атмосфери. Дослід Перрена з визначення числа Авогадро та його значення. Розподіл Больцмана.

Функція розподілу молекул за швидкостями та її імовірнісний зміст. Закон розподілу молекул за швидкостями. Найбільш імовірна швидкість. Вплив температури на функцію розподілу. Експериментальна перевірка закону розподілу Максвелла. Дослід Штерна.

## **Змістовий модуль 2. Основи термодинаміки**

### **Тема 4. Внутрішня енергія системи. Перший закон термодинаміки.**

#### **Теплоємність**

Нульовий закон термодинаміки. Внутрішня енергія як функція стану термодинамічної системи. Способи змінення внутрішньої енергії. Кількість теплоти. Теплоємність. Питома та молярна теплоємність. Внутрішня енергія та теплоємність ідеальних газів. Перший закон термодинаміки як закон збереження енергії в теплових процесах. Поняття про вічний двигун першого роду.

### **Тема 5. Робота при ізопроцесах**

Мікро і макро робота. Графічні способи знаходження роботи в термодинаміці. Робота ідеального газу при ізобарному та ізотермічному процесах. Адіабатний процес. Рівняння Пуассона. Показник адіабати. Політропний процес. Рівняння політропи. Показник політропи. Робота при адіабатному процесі.

### **Тема 6. Другий закон термодинаміки. Ентропія**

Оборотні та необоротні процеси. Циклічні процеси. Теплові машини. Коефіцієнт корисної дії (ККД) циклу. Роль холодильника. Цикл Карно. ККД циклу Карно. Теореми Карно. Поняття про вічний двигун другого роду. Другий закон термодинаміки. Зведена кількість теплоти. Нерівність Клаузіуса. Ентропія як функція стану термодинамічної системи. Ентропія в замкнених системах. Закон зростання ентропії. Термодинамічна імовірність і ентропія. Імовірнісний характер другого закону термодинаміки. Теорема Нернста.

### **Тема 7. Молекулярна взаємодія**

Зіткнення молекул. Середня довжина та середній час вільного пробігу молекул. Кількість зіткнень молекул за одиницю часу. Ефективний діаметр і ефективний переріз.

### **Тема 8. Явища переносу**

Стационарні явища переносу. Дифузія. Рівняння Фіка. Дифузійний потік. Градієнт концентрацій і градієнт густини. Самодифузія. Взаємна дифузія. Термодифузія. Коефіцієнт дифузії ідеальних газів. Теплопровідність. Рівняння Фур'є. Тепловий потік. Градієнт температур. Коефіцієнт теплопровідності ідеальних газів. В'язкість. Рівняння Ньютона. Потік імпульсу. Градієнт швидкості. Динамічна в'язкість. Формула Пуазейля. Рух твердих тіл у в'язкому середовищі. Закон Стокса. Нестационарні явища переносу. Закон зменшення різниці концентрацій при нестационарній дифузії. Закон зменшення різниці температур при нестационарній теплопровідності.

### **Змістовий модуль 3. Фази та фазові перетворення**

#### **Тема 9. Реальні гази**

Поняття про реальні гази. Врахування дії сил протягування та відштовхування між молекулами реальних газів. Власний об'єм молекул. Рівняння Ван-дер-Ваальса. Сталі Ван-дер-Ваальса. Ізотерми реального газу. Порівняння ізотерми Ван-дер-Ваальса та експериментальних ізотерм Ендрюса. Насичена пара. Критичний стан речовини та критичні параметри. Властивості речовини в критичному стані. Внутрішня енергія реального газу. Дроселювання. Ефект Джоуля-Томсона.

#### **Тема 10. Рідини**

Будова та властивості рідини. Поняття про ближній та дальній порядок. В'язкість рідини. Поверхневий натяг. Коефіцієнт поверхневого натягу. Вільна енергія поверхневого шару. Тиск Лапласа. Явища на границі рідини та твердого тіла та двох рідин. Крайовий кут. Явища змочування та незмочування. Капілярні явища. Рідкі розчини. Осмотичний тиск. Закон Вант-Гоффа.

#### **Тема 11. Тверді тіла**

Аморфні та кристалічні тверді тіла. Структура ідеальних кристалів. Кристалічна решітка. Період ідентичності. Типи кристалічних решіток. Сингонії. Решітки Браве. Типи зв'язку в твердих тілах. Моно і полікристали.

Тверді розчини. Особливості будови сплавів. Механічні суміші, хімічні з'єднання, тверді розчини. Дефекти в кристалах: точкові, лінійні (дислокації), поверхневі та об'ємні дефекти. Механічні властивості кристалів. Тепловий рух у твердих тілах. Теплове розширення. Теплоємність твердих тіл. Закон Дюлонга і Пті. Температура Дебая.

### **Тема 12. Фазові перетворення**

Поняття фази. Фазові перетворення 1-го та 2-го роду. Пароутворення та його види: сублімація, випаровування, кипіння. Прихована теплота випаровування. Питома та молярна теплота випаровування. Рівняння Клапейрона – Клаузіуса. Умови кипіння. Центри пароутворення. Точка кипіння та її залежність від тиску та концентрації розчинених у рідині газів. Конденсація. Рівновага рідини і пари. Явище вологості. Абсолютна та відносна вологість.

Особливості плавлення аморфних і кристалічних тіл. Сублімація твердих тіл. Точка сублімації. Кристалізація. Центри кристалізації. Діаграми рівноваги фаз. Потрійна точка. Метастабільні стани. Тверді розчини. Особливості будови сплавів. Механічні суміші, хімічні з'єднання, тверді розчини. Діаграми стану.

## **1.2. ТЕМИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ**

<b>№ теми</b>	<b>Назва теми Форма заняття</b>
1	Семінар «Молекулярна фізика й термодинаміка як два підходи до вивчення теплових явищ»
1	Дискусія «Основні положення МКТ та їх експериментальне доведення
1	Розв'язання задач «Основні поняття та величини в МКТ. Молекулярна будова речовини»
2	Розв'язання задач «Основне рівняння МКТ ідеального газу. Рівняння стану ідеального газу. Основні газові закони»
2	Розв'язання задач «Газові суміші. Парціальний тиск. Закон Дальтона для суміші газів»
3	Семінар «Поняття про статистичний розподіл. Ідеальний газ у потенціальному полі»

4	Семінар «Нульовий закон термодинаміки. Внутрішня енергія як функція стану термодинамічної системи»
4	Розв'язання задач «Внутрішня енергія та теплоємність ідеальних газів. Перший закон термодинаміки»
5	Розв'язання задач «Адіабатний процес. Закони Пуассона. Робота при ізобарному, ізотермічному та адіабатному процесах»
6	Семінар «Другий закон термодинаміки. Теплові машини. Теорема Карно. Поняття про вічний двигун другого роду»
6	Тренінг «Графічні способи розв'язання задач у термодинаміці»
6	Розв'язання задач «Ентропія в замкнених системах»
7, 8	Розв'язання задач «Зіткнення молекул». «Дифузія, в'язкість та теплопровідність в ідеальних газах»
8	Круглий стіл «Явища переносу»
9	Розв'язання задач «Рівняння стану та внутрішня енергія реального газу»
10	Розв'язання задач «Поверхневий натяг рідини»
11	Розв'язання задач «Вологість», «Теплові властивості рідин та твердих тіл»
12	Круглий стіл «Фази та фазові перетворення»
1-12	Письмова (тестова) робота

### 1.3. ТЕМИ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

№ теми	Назва лабораторної роботи
3	Визначення сталої Больцмана
5	Визначення відношення теплоємностей $\frac{C_p}{C_v}$ повітря методом Дезорма-Клемана
8	Визначення коефіцієнту дифузії водяної пари у повітря
10	Визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини методом відриву краплини
10	Визначення в'язкості рідини по витіканню з капіляра
11	Визначення коефіцієнта теплопровідності твердих тіл
11	Визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення металевого стержня
12	Визначення вологості повітря
12	Визначення питомої теплоти плавлення льоду

#### 1.4. ІНДИВІДУАЛЬНІ НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНІ ЗАВДАННЯ

Тематика індивідуальних завдань пов'язана з розкриттям взаємозв'язку молекулярної фізики та термодинаміки з іншими природничими науками. Завдання – підготувати есе та виступити на практичному занятті відповідної тематики

№ з/п	Приблизна тематика есе
1	Фізико-хімічний закон Амедео Авогадро
2	Закон кратних відношень Джона Дальтона як доказ існування молекул
3	Проблеми теплової смерті Всесвіту
4	Роботи вчених на стику молекулярної фізики та хімії
5	Броунівський рух у природознавстві /хімія/ біологія/ медицина/ екологія
6	Флуктуації і броунівський рух
7	Поверхневий натяг у природі
8	Розвиток поняття температури (від Геракліта до сучасності)
9	Атмосферний тиск і здоров'я людини
10	Джерела теплової енергії
11	Ентропія в живій природі
12	Роль холодильника в теплових машинах

**ЗДОБУВАЧ ПРИ ВИКОНАННІ ІНДЗ ПОВИНЕН ДОТРИМУВАТИСЯ ПРИНЦИПІВ АКАДЕМІЧНОЇ ДОБРОЧЕСНОСТІ, НЕ ДОПУСКАТИ АКАДЕМІЧНИЙ ПЛАГІАТ.**

## 2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВЕЛИЧИНИ

### 2.1. Змістовий модуль 1. Основи молекулярно-кінетичної теорії

**Відносна атомна маса:**

$$A_r = \frac{m_0}{m_a},$$

де  $m_0$  – маса атома даного хімічного елементу;

$m_a = 1,6605655 \cdot 10^{-27}$  кг – атомна одиниця маси, дорівнює  $\frac{1}{12}$  масі ізотопу  $C^{12}$ .

**Відносна молярна маса:**

$$M_r = \frac{m_0}{m_a},$$

де  $m_0$  – маса молекули даної речовини.

**Кількість речовини:**

$$\nu = \frac{N}{N_A},$$

де  $N$  – число молекул (частинок) в речовині,

$N_A = 6,022045 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup> – стала Авогадро.

**Молярна маса:**

$$M = \frac{m}{\nu},$$

де  $m$  – маса речовини.

**Концентрація молекул (за об'ємом  $V$ ):**

$$n = \frac{N}{V},$$

де  $N$  – кількість молекул у об'ємі  $V$ .

**Концентрація речовини в суміші (за масою  $m$ ):**

$$c_x = \frac{m_x}{m},$$

де  $m_x$  – маса даної компоненти,  $m$  – маса всієї суміші.

Молярна маса у  $\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$  дорівнює:

$$M = M_r \cdot 10^{-3},$$

$M_r$  – відносна молекулярна маса, розраховується по відносним атомним масам

$A_r$  елементів, атоми яких входять в склад молекули даної речовини та

кількості атомів відповідного сорту  $n_i$  в складі молекули:

$$M_r = \sum A_{ri} \cdot n_i$$

Маса однієї молекули будь-якої речовини дорівнює відношенню молярної маси  $M$  цієї речовини до числа Авогадро  $N_A$ :

$$m_0 = \frac{M}{N_A}.$$

Концентрація молекул речовини (за об'ємом) дорівнює:

$$n = \frac{\rho}{m_0}.$$

**Рівнянням стану ідеального газу є рівняння Менделєєва-Клапейрона:**

$$PV = \frac{m}{M}RT,$$

де  $P$  – тиск газу,  $V$  – його об'єм,  $T$  – термодинамічна температура,  $m$  – маса газу,  $M$  – молярна маса газу,  $R=8,31441 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$  – газова (молярна) стала.

### Основні газові закони

**Закон Бойля-Маріотта**, ізотермічний процес:

$$T = \text{const}, \nu = \text{const} \rightarrow PV = \text{const}; \quad P_1V_1 = P_2V_2$$

**Закон Гей-Люссака**, ізобарний процес:

$$P = \text{const}, \nu = \text{const} \rightarrow \frac{V}{T} = \text{const}; \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}.$$

**Закон Шарля**, Ізохорний процес.

$$V = \text{const}, \nu = \text{const} \rightarrow \frac{P}{T} = \text{const}, \quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}.$$

**Закон Авогадро.** В однакових об'ємах ідеальних газів при однакових температурах і тиску міститься однакове число молекул. Звідси випливає, що за нормальних умов ( $P=101325$  Па,  $T=273$  К) різні газу, узяті в кількості 1 моля, займають однаковий об'єм.  $V_M = 0,0224 \frac{\text{м}^3}{\text{моль}}$ .

**Закон Дальтона.** Тиск суміші газів дорівнює сумі їх *парціальних тисків*, тобто тому тиску, який мав би кожний з газів окремо, якби він при даній температурі один заповнював увесь об'єм.

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_i + \dots + P_N,$$

де  $P$  – тиск суміші газів;  $P_1, P_2, P_3, \dots$  – парціальні тиски газів суміші.



$$P_1 = \frac{m_1 RT_1}{M_1 V_1}, \quad P_2 = \frac{m_2 RT_2}{M_2 V_2}, \quad P_3 = \frac{m_3 RT_3}{M_3 V_3}, \quad \dots$$

**Основне рівняння МКТ ідеальних газів** має вигляд:

$$P = \frac{2}{3} \bar{E}_k = \frac{1}{3} n m_0 \overline{v^2},$$

де  $n$  – число молекул в одиниці об'єму,  $m_0$  – маса молекули,  $\sqrt{\overline{v^2}}$  – середня квадратична швидкість молекул.

**Середня кінетична енергія** поступального руху однієї молекули:

$$\bar{E}_k = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2}$$

Тиск зв'язаний з абсолютною температурою формулою:

$$P = nkT,$$

де  $k = \frac{R}{N_A} = 1,380662 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$  – стала Больцмана.

**Середня кінетична енергія** поступального руху молекул ідеального газу:

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT$$

**Середня квадратична швидкість** молекул:

$$\sqrt{\overline{v^2}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

**Середня арифметична швидкість** молекул:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}}$$

**Найбільш імовірна швидкість** молекул:

$$v_g = \sqrt{\frac{2RT}{M}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$$

## Статистичні розподіли в МКТ

### Розподіл молекул за швидкостями

Закон розподілу молекул за швидкостями (розподіл Максвелла) дозволяє знайти число молекул  $\Delta N$ , відносні швидкості яких лежать в інтервалі від  $v$  до  $v+\Delta v$ :

$$\frac{\Delta N}{N} = \int_v^{v+\Delta v} \frac{4}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{m_0}{2kT}\right)^{3/2} v^2 e^{-\frac{m_0 v^2}{2kT}} dv$$

де  $N$  – загальна кількість молекул.

Або для відносної швидкості:

$$\frac{\Delta N}{N} = \int_U^{U+\Delta U} \frac{4}{\sqrt{\pi}} U^2 e^{-U^2} dU,$$

де  $u = \frac{v}{v_B}$  – відносна швидкість,  $v$  – дана швидкість і  $v_B = \sqrt{\frac{2RT}{M}}$  – найбільш імовірна швидкість молекул,  $\Delta u$  – інтервал відносних швидкостей, малий в порівнянні з швидкістю  $u$ .

### Барометрична формула

Барометрична формула дає закон зменшення тиску газу з висотою в полі сили тяжіння:

$$P = P_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}},$$

де  $P$  – тиск газу на висоті  $h$ ,  $P_0$  – тиск на висоті  $h=0$ ,  $g=9,80665 \frac{M}{c^2}$  – прискорення вільного падіння. Ця формула наближена, оскільки температуру  $T$  і прискоренні вільного падіння  $g$  не можна вважати однаковою для великих різниць висот.

## 2.2. Змістовий модуль 2. Основи термодинаміки

**Внутрішня енергія ідеального газу:**

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT,$$

де  $i$  – кількість ступенів свободи молекул газу.

**Теплоємність системи:**

$$C = \frac{Q}{\Delta T};$$

**питома теплоємність:**

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T};$$

**молярна теплоємність:**

$$C_{\mu} = \frac{Q}{\nu \cdot \Delta T}.$$

Зв'язок між молярною та питомою теплоємностями:

$$C_{\mu} = c \cdot M.$$

Молярна теплоємність ідеального газу при сталому об'ємі:

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

при сталому тиску:

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

**Перший закон термодинаміки** може бути записане у вигляді:

$$dQ = dU + dA,$$

де  $dQ$  – кількість теплоти, отримана газом,  $dU$  – зміна внутрішньої енергії газу,  $dA = PdV$  – елементарна робота, яку виконує газ при зміні його об'єму.

Зміна внутрішньої енергії газу:

$$dU = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R dT,$$

де  $dT$  – зміна температури.

Кількість теплоти, передана тілу (або отримана тілом), визначається залежно від теплового процесу, який протікає:

- при нагріванні (охолодженні)  $Q = cm\Delta T$ ;
- при плавленні (кристалізації)  $Q = \lambda m$ ;  $\lambda$  – питома теплота плавлення;
- при пароутворенні (конденсації)  $Q = rm$ ;  $r$  – питома теплота пароутворення.

Робота, яка виконується при **ізотермічній** зміні об'єму газу:

$$A_{1,2} = RT \frac{m}{M} \ln \frac{V_2}{V_1};$$

при **ізобарному процесі**:

$$A_{1,2} = P\Delta V = P(V_2 - V_1).$$

Тиск газу і його об'єм зв'язані при **адіабатичному** процесі **рівнянням Пуассона**:

$$PV^\gamma = const, \quad \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^\gamma,$$

де показник адіабати  $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ .

Рівняння Пуассона може бути записано у вигляді:

$$TV^{\gamma-1} = const, \quad \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

**Коефіцієнт корисної дії (ККД)** теплової машини:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

де  $Q_1$  – кількість теплоти, отримана робочим тілом від нагрівника,  
 $Q_2$  – кількість теплоти, віддана холодильнику.

Для ідеального циклу Карно:

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

де  $T_1$  і  $T_2$  – температури нагрівача й холодильника відповідно.

**Різниця ентропії**  $S_B - S_A$  двох станів  $B$  і  $A$  визначається формулою:

$$S_B - S_A = \int_A^B \frac{dQ}{T}.$$

**Середня довжина вільного пробігу** молекул газу:

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{v}}{\bar{z}} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi d_{ef}^2 n},$$

де  $\bar{v}$  – середня арифметична швидкість,  $\bar{z}$  – середнє число зіткнень кожної молекули з іншими в одиницю часу,  $d_{ef}$  – ефективний діаметр молекули,  $n$  – число молекул в одиниці об'єму (концентрація молекул).

**Загальне число зіткнень** всіх молекул в одиниці об'єму за одиницю часу:

$$Z = \frac{\bar{z}n}{2}.$$

### Дифузія. Рівняння Фіка

Маса, яка перенесена за час  $\Delta t = t_2 - t_1$  при дифузії, через площу  $\Delta S$ , перпендикулярну до напрямку переносу при рівномірному потоці:

$$m = -D \frac{\Delta \rho}{\Delta x} \Delta S \Delta t,$$

де  $\frac{\Delta \rho}{\Delta x}$  – градієнт густини в напрямі, перпендикулярному до площі  $\Delta S$ ;

$D$  – коефіцієнт дифузії, який для ідеальних газів дорівнює  $D = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda}$ ;

$\bar{v}$  – середня арифметична швидкість;

$\bar{\lambda}$  – середня довжина вільного пробігу молекул.

### В'язкість. Рівняння Ньютона

При рівномірному потоці імпульс, який переноситься газом за час  $\Delta t$ , визначає силу внутрішнього тертя  $F_{тер}$  в газі:

$$F_{тер} = -\eta \frac{\Delta v}{\Delta x} \Delta S$$

де  $\frac{\Delta v}{\Delta x}$  – градієнт швидкості протікання газу у напрямі, перпендикулярному до площі  $\Delta S$ ;

$\eta$  – динамічна в'язкість, яка для ідеальних газів дорівнює

$$\eta = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} \rho;$$

де  $\rho$  – густина речовини (газу).

### Теплопровідність. Рівняння Фур'є

При рівномірному потоці кількість теплоти, яка переноситься за час  $\Delta t$  унаслідок теплопровідності, визначається формулою

$$Q = -\kappa \frac{\Delta T}{\Delta x} \Delta S \Delta t,$$

де  $\frac{\Delta T}{\Delta x}$  – градієнт температури в напрямі, перпендикулярному до  $\Delta S$ ;

$\kappa$  – коефіцієнт теплопровідності, який для ідеальних газів дорівнює

$$\kappa = \frac{1}{3} \bar{v} \bar{\lambda} \bar{\rho} c_V;$$

де  $c_V$  – питома теплоємність при сталому об'ємі.

### 2.3. Змістовий модуль 3. Фази та фазові перетворення

#### Реальні гази

**Рівняння стану реальних газів** (рівняння Ван-дер-Ваальса) для одного моля газу:

$$\left(P + \frac{a}{V_\mu^2}\right)(V_\mu - b) = RT,$$

де  $V_\mu$  – молярний об'єм газу,  $a$  і  $b$  – постійні, різні для різних газів,  $P$  – тиск,  $T$  – термодинамічна температура,  $R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$  – газова стала.

**Рівняння Ван-дер-Ваальса** для довільної маси  $m$  газу має вигляд:

$$\left(P + \frac{m^2 a}{M^2 V^2}\right)\left(V - \frac{m}{M} b\right) = \frac{m}{M} RT,$$

де  $V$  – об'єм всього газу,  $M$  – молярна маса газу.

$\frac{m^2 a}{M^2 V^2} = P_i$  – тиск, який обумовлений силами протягування між молекулами,

$\frac{m}{M} b = V_i$  – об'єм, пов'язаний з власним об'ємом молекул (наявністю сил відштовхування).

Постійні  $a$  і  $b$  даного газу пов'язані з його критичною температурою  $T_k$ , критичним тиском  $P_k$  і критичним молярним об'ємом  $V_{\mu k}$  співвідношеннями

$$V_{\mu k} = 3b, \quad P_k = \frac{a}{27b^2}, \quad T_k = \frac{8a}{27bR}.$$

Ці рівняння можна розв'язати відносно постійних  $a$  і  $b$ :

$$a = \frac{27T_k^2 R^2}{64P_k}, \quad b = \frac{T_k R}{8P_k}.$$

Якщо ввести зведені величини:

$$\tau = \frac{T}{T_k}, \quad \pi = \frac{P}{P_k}, \quad \omega = \frac{V}{V_k},$$

то рівняння Ван-дер-Ваальса для одного моля газу матиме вигляд:

$$\left(\pi + \frac{2}{\omega^2}\right)(3\omega - 1) = 8\tau.$$

## Рідини

**Відносна зміна об'єму** рідини при нагріванні:

$$\frac{\Delta V}{V} = \beta \Delta T,$$

де  $\beta [K^{-1}]$  – температурний коефіцієнт об'ємного розширення.

**Відносна зміна об'єму** рідини при зміні тиску:

$$\frac{\Delta V}{V} = -k \Delta P,$$

де  $k [K^{-1}]$  – стисливість.

**Коефіцієнт поверхневого натягу** чисельно дорівнює силі, яка прикладена до одиниці довжини межі поверхневої плівки рідини:

$$\sigma = \frac{F}{l}.$$

При зміні площі плівки на  $\Delta S$  виконується робота:

$$\Delta A = \sigma \Delta S.$$

Додатковий тиск, який викликаний кривизною поверхні рідини, визначається **формулою Лапласа**:

$$P_L = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

де  $R_1$  і  $R_2$  – радіуси кривизни двох взаємно перпендикулярних перетинів поверхні рідини. Радіус  $R$  вважається позитивним, якщо центр кривизни знаходиться усередині рідини (опуклий меніск), і негативним, якщо центр кривизни знаходиться зовні рідини (увігнутий меніск).

При сферичній формі поверхні:

$$P_L = \frac{2\sigma}{R}$$

Висота підняття рідини в капілярній трубці:

$$h = \frac{2\sigma \cos \theta}{r\rho g},$$

де  $r$  – радіус трубки,  $\rho$  – густина рідини,  $\theta$  – крайовий кут. При повному змочуванні  $\theta = 0$ , при повному незмочуванні  $\theta = \pi/2$ .

**Осмотичний тиск**  $P$  розчину пов'язаний з термодинамічною температурою  $T$  формулою **Вант-Гоффа**:

$$P = CRT,$$

де  $R$  – газова стала,  $C \left[ \frac{\text{моль}}{\text{м}^3} \right] = \frac{m}{MV}$  – молярна концентрація розчину (кількість розчиненої речовини в одиниці об'єму розчину).

Для слабких розчинів недисоційованих молекул речовини:

$$C = \frac{m}{MV} = \frac{N}{N_A},$$

де  $N_A$  – стала Авогадро,  $N$  – число молекул розчиненої речовини в одиниці об'єму розчину. За наявності дисоціації число частинок в одиниці об'єму буде більшим, що приведе до збільшення осмотичного тиску.

Тиск насиченого пару над розчином менше ніж над чистим розчинником. При достатньо малій концентрації розчину відносно зменшення тиску насиченої пари над розчином визначається законом Рауля:

$$\frac{P_0 - P}{P_0} = \frac{v'}{v + v'},$$

де  $P_0$  – тиск насиченої пари над чистим розчинником,  $P$  – тиск насиченої пари над розчином,  $v'$  – кількість розчиненої речовини,  $v$  – кількість рідини.

**Абсолютною вологістю** називається парціальний тиск ( $P$ ) або парціальна густина ( $\rho$ ) водяної пари, що знаходиться в повітрі.

**Відотною вологістю** ( $\varphi$ ) називається відношення абсолютної вологості до парціального тиску  $P_H$ , (парціальної густини  $\rho_H$ ) водяної пари, що насичає простір при даній температурі:

$$\varphi = \frac{P}{P_H} \cdot 100\% \quad \text{або} \quad \varphi = \frac{\rho}{\rho_H} \cdot 100\%$$

**Питомою теплотою пароутворення** ( $r$ ) називається кількість теплоти, що необхідна для перетворення одиниці маси рідини в пару при постійній температурі.



### Молярна теплота пароутворення:

$$r_{\mu} = Mr,$$

де  $M$  – молярна маса.

Залежність тиску насиченої пари  $P_H$  від температури задається рівнянням **Клаузіуса-Клапейрона**:

$$\frac{dP_n}{dT} = \frac{r_{\mu}}{T(V_{\mu n} - V_{\mu p})},$$

де  $V_{\mu n}$  та  $V_{\mu p}$  – молярні об'єми пари і рідини.

Тиск насиченої пари  $P'_n$  над увігнутою поверхнею рідини менше, а над опуклою – більше, ніж тиск  $P_H$ , над плоскою поверхнею. Додатковий тиск:

$$\Delta P_n = P'_n - P_n = \pm \frac{2\sigma\rho_n}{\rho R},$$

де  $\rho$  – густина рідини,  $\rho_n$  – густина насиченого пару рідини,  $R$  – радіус кривизни поверхні рідини.

Зміна температури плавлення  $dT$  при зміні тиску на  $dP$  задається рівнянням **Клаузіуса-Клапейрона**:

$$dT = T \frac{V_{\mu p} - V_{\mu m}}{q_{\mu}} dP,$$

де  $q_{\mu}$  – мольна теплота плавлення,  $V_{\mu p}$  – молярний об'єм рідини,  $V_{\mu m}$  – молярний об'єм твердого тіла,  $T$  — термодинамічна температура плавлення.

При не дуже низьких температурах для твердих тіл має місце закон **Дюлонга і Пті**, згідно якому молярна теплоємність всіх хімічно простих твердих тіл дорівнює приблизно  $3R = 25 \frac{\text{Дж}}{\text{моль}\cdot\text{К}}$

При підвищенні температури довжина твердих тіл зростає в першому наближенні лінійно з температурою:

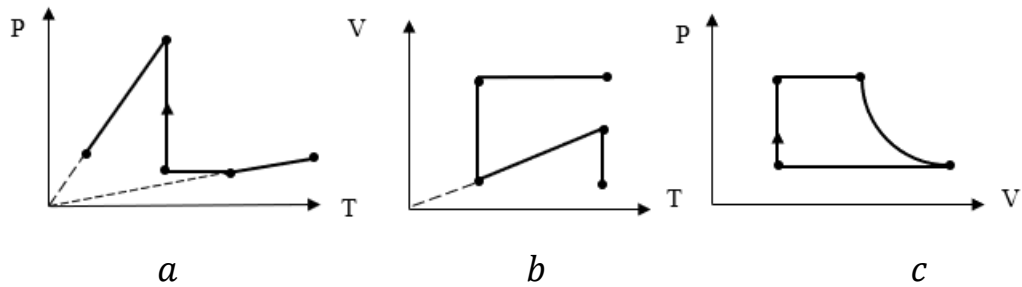
$$l = l_0(1 + \alpha t),$$

де  $l$  – довжина тіла при температурі  $t$ ,  $l_0$  – його довжина при температурі  $t_0=0^{\circ}\text{C}$ ,  $\alpha$  — температурний коефіцієнт лінійного розширення. Для твердих ізотропних тіл  $\alpha = b/3$ , де  $b$  – температурний коефіцієнт об'ємного розширення.

### 3. ЗАДАЧІ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

#### Змістовий модуль 1. Основи молекулярно-кінетичної теорії

- 1.1. У балоні об'ємом 1 л знаходиться  $10^{23}$  молекул азоту. Яка густина азоту в балоні?
- 1.2. Який об'єм займають при  $20^{\circ}\text{C}$ : а) 100 молей ртуті; б)  $3 \cdot 10^{23}$  атомів срібла?
- 1.3. Маса чого більше і в скільки разів:  $N_1 = 2 \cdot 10^{25}$  молекул водню або  $\nu_2 = 4$  моль вуглекислого газу?
- 1.4. Яка молярна маса газу, якщо маса  $1,2 \cdot 10^{24}$  молекул цього газу складає 120 грамів?
- 1.5. Визначити масу  $5 \cdot 10^{26}$  молекул невідомого газу, якщо при концентрації молекул (за об'ємом)  $n = 2 \cdot 10^{26} \text{ м}^{-3}$  його густина дорівнює  $\rho = 0,6 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .
- 1.6. У посудині ємністю 4 л знаходиться 1 г водню. Яка кількість молекул міститься в  $1 \text{ см}^3$  цієї посудини?
- 1.7. З поверхні води в посудині вилітає в середньому  $8 \cdot 10^{18}$  молекул за 1 с. Скільки води (маса) було в стакані, якщо вона повністю випарувалася за 12 діб?
- 1.8. Знайти кількість речовини в суміші, яка складається з 9,6 г кисню; 0,2 молів вуглекислого газу та  $4,2 \cdot 10^{23}$  атомів гелію. Яка маса цієї суміші?
- 1.9. Визначити молярну масу суміші, яка складається з  $10^{20}$  молекул азоту й  $10^{21}$  атомів гелію.
- 1.10. Визначити молярну масу сплаву, склад якого:  $65\% \text{Cu} + 20\% \text{Ni} + 15\% \text{Zn}$  (за масою). Яка маса сплаву, якщо в нього входить 1 моль міді?
- 1.11. Газ охолоджується при сталому тиску, потім його тиск зростає при сталому об'ємі й далі газ розширюється при сталій температурі до початкового тиску. Дані процеси зобразити на діаграмах  $PV$ ,  $VT$  і  $PT$ .
- 1.12. Ідеальний газ переходить з початкового у кінцевий стан за допомогою чотирьох процесів. Спосіб переведення наданий на діаграмі ( $m = \text{const}$ ). Дані процеси для випадків  $a$ ,  $b$ ,  $c$  зобразити на діаграмах  $PV$ ,  $VT$  ( $a$ );  $PV$ ,  $PT$  ( $b$ );  $PT$ ,  $PT$ ,  $VT$  ( $c$ ).



- 1.13. 12 г газу займають об'єм  $4 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  при температурі  $7^\circ \text{C}$ . Після нагрівання газу при сталому тиску його густина стала дорівнювати  $8 \cdot 10^{-4} \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . До якої температури нагріли газ?
- 1.14. 10 г повітря в скляному балоні створюють тиск  $10^5 \text{ Па}$ , а 25 г невідомого газу в тому самому балоні –  $1,5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ . Визначити молярну масу невідомого газу.
- 1.15. У балоні знаходилося 10 кг газу при тиску  $10^7 \text{ Па}$ . Яку масу газу взяли з балону, якщо кінцевий тиск став  $2,5 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ?
- 1.16. У балоні знаходиться газ при температурі  $15^\circ \text{C}$ . Як зміниться тиск газу, якщо 60% молекул вийдуть з балону, а температура при цьому збільшиться на  $10^\circ \text{C}$ ?
- 1.17. У початковому стані тиск кисню масою 320 г був 83 кПа. При збільшенні температури на  $100^\circ \text{C}$  об'єм кисню збільшився на 50 л а тиск – до 99,2 кПа. Знайти початковий об'єм та температуру газу.
- 1.18. Посередині горизонтально розташованого циліндру, закритого з обох кінців, знаходиться поршень. Тиск газу з обох боків від поршню 0,1 МПа. Поршень переміщують так, що об'єм однієї частини стає удвічі більше, ніж іншої. Яка різниця тисків встановлюється з двох боків від поршня.
- 1.19. У вертикально розташованому циліндрі під поршнем масою 100 кг, площа перерізу якого  $100 \text{ см}^2$ , знаходиться 28г азоту при температурі 273 К. На яку висоту підніметься поршень, якщо циліндр нагріти до температури 373 К?

- 1.20. Змішали 3 л вуглекислого газу, який знаходився під тиском 72 см рт. ст. та 4 л азоту, тиск якого 68 см рт. ст. Потім об'єм суміші довели до 10 л, зберігаючи температуру незмінною. Визначити кінцевий тиск суміші газів.
- 1.21. При якій температурі середні квадратичні швидкості молекул азоту й кисню відрізняються на  $30 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ? У скільки разів при цьому відрізняються кінетичні енергії молекул цих газів?
- 1.22. Густина деякого газу  $0,082 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  при тиску 100 КПа та температурі  $17^\circ\text{C}$ . Знайти середню квадратичну швидкість і молярну масу газу.
- 1.23. Визначити середню кінетичну енергію та середню квадратичну швидкість частинок туману діаметром 10 мкм у повітрі при температурі  $5^\circ\text{C}$ .
- 1.24. Закрита посудина об'ємом  $V = 2$  л наповнена повітрям за нормальних умов. У посудину вводиться діетиловий ефір ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OC}_2\text{H}_5$ ). Після того як весь ефір випарувався, тиск у посудині став рівним  $p = 0,14$  МПа. Яка маса ефіру була введена в посудину?
- 1.25. На скільки збільшилася енергія поступального руху газу при нагріванні його від  $0^\circ\text{C}$  до  $373$  К?
- 1.26. Знайти температуру, при якій середня квадратична швидкість молекул азоту перевищує середню арифметичну швидкість на  $50 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .
- 1.27. Визначити зменшення атмосферного тиску при підйомі над поверхнею Землі на висоту  $\Delta h = 100$  м. Вважати, що температура повітря  $17^\circ\text{C}$  не змінюється з висотою. Тиск на поверхні землі  $P = 100$  кПа.
- 1.28. Маса кожної з порошинок, завислих у повітрі,  $10^{-18}$  г. Відношення концентрації порошинок на висоті  $h = 0,1$  м та  $h_0 = 0$  м дорівнює 0,787. Вважаючи температуру однаковою на всій висоті та рівною  $27^\circ\text{C}$  розрахувати з цих даних сталу Больцмана.
- 1.29. Тиск повітря на рівні моря 750 мм рт. ст., а на вершині гори 590 мм рт. ст. Яка висота гори? Температуру повітря вважати по всій висоті рівною  $5^\circ\text{C}$ .

- 1.30. На висоті 3 км в  $1 \text{ см}^3$  повітря міститься приблизно  $10^2$  пилинки, у поверхні землі – приблизно  $10^5$ . Визначте середню масу пилінки і оцініть її розмір, вважаючи, що густина пилінки  $1,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . Температура повітря  $27^\circ\text{C}$ .
- 1.31. Потенційна енергія молекули кисню на деякій висоті  $9,5 \cdot 10^{-21}$  Дж. Вважаючи атмосферу ізотермічною ( $t = 0^\circ\text{C}$ ) знайти густину повітря на даній висоті. Тиск на рівні моря  $P_0 = 10^5$  Па. Яка на цій висоті концентрація молекул кисню?
- 1.32. Яка зміна висоти  $\Delta h$  відповідає зміні тиску на  $\Delta P = 100$  Па поблизу поверхні Землі, де температура  $T_1 = 280$  К, а тиск  $P_1 = 100$  кПа?

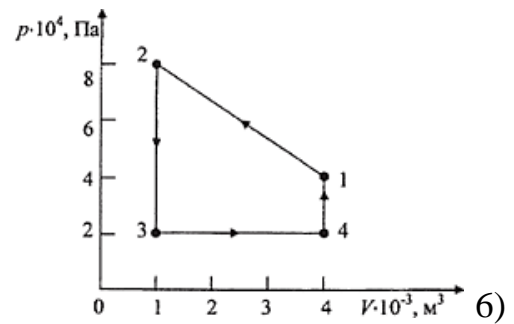
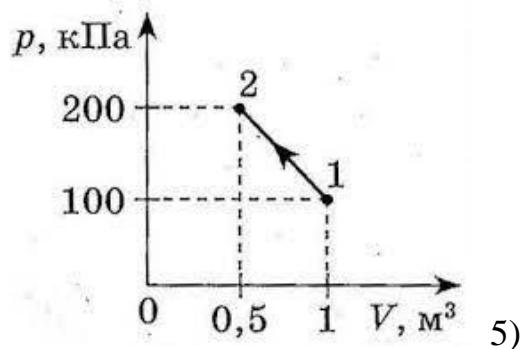
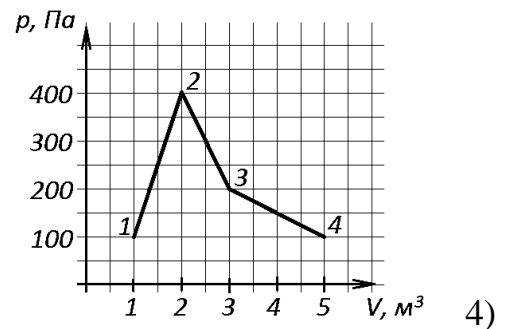
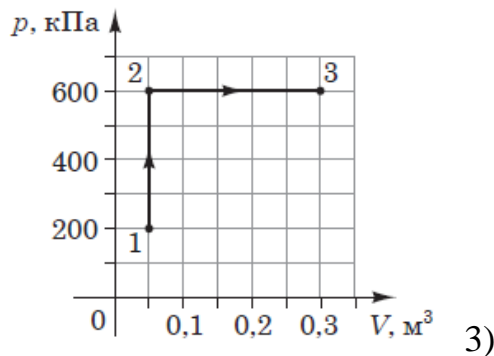
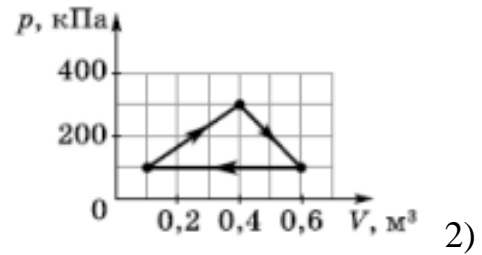
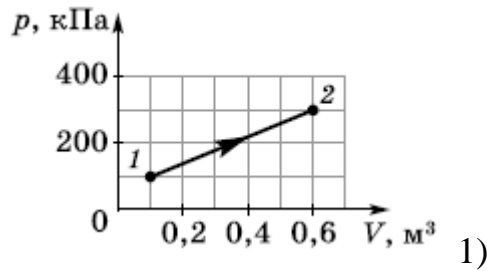
### Змістовий модуль 2. Основи термодинаміки

- 2.1. У скільки разів внутрішня енергія 5 молей деякого двохатомного газу більша, ніж внутрішня енергія 2 молей одноатомного газу при однаковій температурі? Порівняти долю внутрішньої енергії, яка приходить за даних умов на поступальний рух молекул двох газів?
- 2.2. Визначити середню кінетичну енергію поступального та обертального руху молекул азоту при температурі  $1000^\circ\text{C}$ , а також повну енергію хаотичного руху всіх молекул у 3 молях азоту при такій самій температурі.
- 2.3. Визначити внутрішню енергію суміші газів, яка складається з  $2 \cdot 10^{24}$  молекул кисню та  $5 \cdot 10^{24}$  молекул водню за нормальних умов.
- 2.4. Визначити число ступенів свободи молекул деякого ідеального газу, якщо внутрішня енергія  $6,2 \cdot 10^{24}$  молекул цього газу при температурі  $27^\circ\text{C}$  дорівнює  $62,3$  кДж.
- 2.5. Визначити питому теплоємність при сталому тиску газової суміші, яка складається з 30 г азоту й  $5 \cdot 10^{26}$  молекул водню.

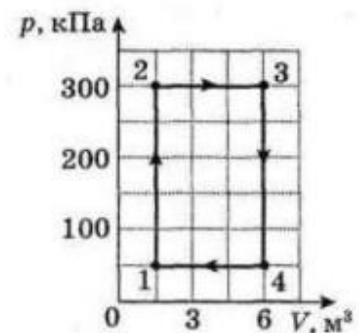
- 2.6. Яку масу азоту можна нагріти від  $0^{\circ}\text{C}$  до  $400^{\circ}\text{C}$  кількістю теплоти 350 Дж, якщо нагрівання здійснювати: а) при сталому об'ємі; б) при сталому тиску?
- 2.7. Газу передано при ізохорному процесі 60 МДж теплоти. Чому дорівнює зміна його внутрішньої енергії?
- 2.8. Газ нагрівається ізобарного. Визначите, яку роботу виконує газ, зміну його внутрішньої енергії й кількість ступенів свободи молекул газу, якщо на нагрівання 800 молей газу на 500 К була витрачена кількість теплоти 9,4 МДж.
- 2.9. Деяку кількість ідеального газу нагрівають при сталому тиску  $P = 10$  кПа від 300 К до 400 К. Яку роботу виконує газ, якщо його початковий об'єм 30 л?
- 2.10. При адіабатичному розширенні кисню його об'єм збільшився в 10 разів. внутрішня енергія зменшилася на 8,4 кДж. Визначити масу кисню, якщо початкова температура кисню складала 320 К.
- 2.11. При адіабатичному розширенні газу його тиск знижується від  $P_1=200$  кПа до  $P_2=100$  кПа. При подальшому нагріванні при постійному об'ємі до первинної температури, тиск стає рівним  $P=122$  кПа. Знайти відношення  $\frac{c_p}{c_v}$  для цього газу.
- 2.12. Яку роботу здійснив би ідеальний газ, одержавши у циклі Карно від нагрівача кількість теплоти 38 кДж за умов, що абсолютна температура нагрівача утричі більша, ніж температура холодильника?
- 2.13. Теплова машина діє за циклом Карно. Її ККД складає 60%. У скільки разів кількість теплоти, яку робоче тіло одержує при ізотермічному розширенні, більше кількості теплоти, яку робоче тіло віддає при ізотермічному стисканні?
- 2.14. Двохатомний газ здійснює цикл Карно. При цьому об'єм газу після ізотермічного розширення дорівнює 12 л, а після адіабатичного розширення – 15 л. Знайти ККД циклу

2.15. Парова машина потужністю 14,7 кВт споживає за 1 годину роботи 8,1 кг вуглецю, питома теплота згорання якого  $33 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ . Температура котла  $200^\circ\text{C}$ , а холодильника  $58^\circ\text{C}$ . Знайти ККД машини.

2.16. Визначте роботу, що виконує газ під час процесів, графік яких подано на рисунках.



2.17. На рисунку показано циклічний процес з ідеальним одноатомним газом. Визначте (у відсотках) ККД циклу.



2.18. Знайти зміну ентропії алюмінієвої кульки діаметром 2 см, при нагріванні від  $10^\circ\text{C}$  до температури плавлення.

- 2.19. В результаті ізохорного нагрівання повітря масою  $m = 1\text{ г}$  його тиск збільшився утричі. Визначити зміну ентропії газу.
- 2.20. Визначити зміну ентропії при нагріванні  $10\text{ г}$  азоту від  $0^\circ\text{C}$  до  $50^\circ\text{C}$ , якщо об'єм не змінювався.
- 2.21. Ентропія  $1\text{ г}$  азоту при температурі  $25^\circ\text{C}$  і тиску  $0,1\text{ МПа}$  дорівнює  $6,84 \frac{\text{Дж}}{\text{г}\cdot\text{К}}$ .  
Якою буде ентропія при підвищенні температури на  $100^\circ\text{C}$ , а тиску в  $2$  рази.
- 2.22.  $10\text{ г}$  водню знаходяться у балоні об'ємом  $20\text{ л}$ . Знайти середню довжину вільного пробігу молекул водню.
- 2.23. Знайти середнє число зіткнень за  $1\text{ с}$  молекул кисню при температурі  $0^\circ\text{C}$ .  
Середня довжина вільного пробігу молекул кисню за цих умов дорівнює  $7 \cdot 10^{-2}\text{ см}$ .
- 2.24. Знайти загальну кількість зіткнень між усіма молекулами азоту в  $1\text{ мм}^3$  за  $1\text{ хвилину}$  за нормальних умов.
- 2.25. Середня довжина вільного пробігу молекул водню дорівнює  $1\text{ см}$ .  
Визначити густину водню.
- 2.26. Знайти густину повітря в посудині, число молекул у одиниці об'єму й середню довжину вільного пробігу молекул повітря в балоні при тиску  $1,33 \cdot 10^{-4}\text{ Па}$  і температурі  $27^\circ\text{C}$ . Ефективний діаметр молекул  $0,3\text{ нм}$ .
- 2.27. Розрахувати тиск, при якому середня довжина вільного пробігу молекул вуглекислого газу при температурі  $300\text{ К}$  дорівнює  $1\text{ м}$ .
- 2.28. Визначити середню довжину вільного пробігу молекул кисню в балоні, якщо при температурі  $127^\circ\text{C}$  коефіцієнт дифузії кисню складає  $1,4 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$ .
- 2.29. Визначити коефіцієнт теплопровідності вуглекислого газу при коефіцієнті в'язкості  $1,4 \cdot 10^{-5}\text{ Па}\cdot\text{с}$ .
- 2.30. Знати середню довжину вільного пробігу молекул азоту та його коефіцієнт дифузії і в'язкість при тиску  $p = 10^5\text{ Па}$  і температурі  $7^\circ\text{C}$ . Як зміняться знайдені величини в результаті двократного збільшення об'єму



газу: 1) при постійному тиску; 2) при постійній температурі? Ефективний діаметр молекул азоту  $d = 3,7 \cdot 10^{-8}$  см.

- 2.31. Визначити дифузійний потік через деяку площадку, якщо градієнт густини у напрямку, перпендикулярному до площадки дорівнює  $1,26 \frac{\text{кг}}{\text{м}^4}$ , при температурі повітря  $17^\circ\text{C}$ , якщо середня довжина вільного пробігу молекул повітря 10 мкм?
- 2.32. При якому тиску відношення динамічної в'язкості деякого газу до коефіцієнту його дифузії дорівнює  $0,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .
- 2.33. Знайти відношення коефіцієнтів дифузії, в'язкості та теплопровідності для водню та кисню, якщо вони знаходяться при однакових температурах та тисках.
- 2.34. Між двома пластинами, що знаходяться на відстані 1 мм одна від одної, знаходиться повітря. Між пластинами підтримується різниця температур 1 К. Площа кожної пластини  $0,01 \text{ м}^2$ . Яка кількість теплоти передається за рахунок теплопровідності від однієї пластини до іншої за час 10 хв? Вважати, що повітря знаходиться при нормальних умовах.

### Змістовий модуль 3. Фази та фазові перетворення

- 3.1. В посудині об'ємом 10 л знаходиться азот масою 0,25 кг при температурі  $-23^\circ\text{C}$ . Враховуючи сили взаємодії між молекулами визначити: 1) внутрішній тиск газу; 2) власний об'єм молекул.
- 3.2. В посудині об'ємом 0,4 л знаходиться один моль вуглекислого газу при температурі 300 К. Визначити тиск газу, використовуючи: рівняння стану ідеального газу; 2) рівняння Ван-дер-Ваальса.
- 3.3. 20 г вуглекислого газу при температурі  $27^\circ\text{C}$  займають об'єм 10 л. Визначити тиск газу, враховуючи: а) тільки поправку на сили відштовхування; б) тільки поправку на сили протягування.
- 3.4. 1 кмоль гелію займає об'єм  $0,237 \text{ м}^3$  при температурі  $-200^\circ\text{C}$ . Знайти тиск газу, користуючись рівнянням Ван-дер-Ваальса в зведених величинах.

- 3.5. На скільки тиск повітря усередині мильного пузиря радіусом 4 см перевищує атмосферний, якщо для мильного розчину коефіцієнт поверхневого натягу дорівнює  $0,04 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .
- 3.6. Капіляр, внутрішній радіус якого 1мм, опущений у рідину. Знайти коефіцієнт поверхневого натягу, якщо маса рідини, яка піднялася в капілярі, дорівнює 0,18 мг.
- 3.7. Визначити тиск повітря в повітряній бульбашці діаметром 0,01 мм, яка знаходиться на глибині 20 см під поверхнею води. Зовнішній тиск  $10^5$ .
- 3.8. Яка кількість енергії поглинається під час розбивання великої краплі води масою 2 г на дрібні краплі радіусом  $10^{-5}$  см?
- 3.9. На скільки нагріється крапля ртуті, яка була одержана від злиття двох крапель радіусом 1 мм кожна?
- 3.10. Температура повітря  $20^\circ\text{C}$ , точка роси  $8^\circ\text{C}$ . Знайти абсолютну й відносну вологість повітря.
- 3.11. Температура повітря  $23^\circ\text{C}$ , відносна вологість 45%. Знайти абсолютну вологість повітря і точку роси.
- 3.12. У закритій посудині об'ємом 5 л знаходиться водяна пара масою 50 мг. При якій температурі пара буде насиченою?
- 3.13. Відносна вологість у кімнаті при температурі  $16^\circ\text{C}$  дорівнює 65%. Як змінюється відносна вологість при зменшенні температури повітря на  $4^\circ\text{C}$ , якщо парціальна густина водяної пари не змінюється?
- 3.14. Вологий термометр психрометра показує  $10^\circ\text{C}$ , а сухий  $14^\circ\text{C}$ . Знайти відносну вологість і тиск насиченої водяної пари.
- 3.15. Сталевий брусок об'ємом  $1200 \text{ см}^3$  при температурі  $0^\circ\text{C}$  занурений у посудину, що містить воду масою 20 кг при  $90^\circ\text{C}$ . Знайдіть температуру бруска у воді та його об'єм при цій температурі.
- 3.16. Об'єм гасу при нагріванні збільшився на  $20 \text{ см}^3$ . Яка кількість теплоти була при цьому витрачена?

- 3.17. Нафта на складі зберігається в баку, що має форму циліндра заввишки 8 м. При температурі  $-5^{\circ}\text{C}$  рівень нафти не доходить до верхнього краю бака на 20 см. Чи буде вилитися нафта при підвищенні температури до  $30^{\circ}\text{C}$ ?
- 3.18. Визначте об'єм кульки ртутного термометра, якщо відомо, що при температурі  $0^{\circ}\text{C}$  ртуть заповнює тільки кульку, а об'єм каналу між  $0^{\circ}\text{C}$  та  $100^{\circ}\text{C}$  дорівнює  $3\text{ мм}^3$ .
- 3.19. Густина ртуті зменшилася при нагріванні до 98% її густини при  $0^{\circ}\text{C}$ . До якої температури нагріли ртуть? Коефіцієнт об'ємного теплового розширення ртуті  $\beta = 0,181 \cdot 10^{-3}\text{K}^{-1}$ .
- 3.20. При температурі  $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$  довжини алюмінієвого та мідного стрижнів однакові. Якою є довжина алюмінієвого стрижня при  $t_2 = -20^{\circ}\text{C}$ , якщо довжина мідного стрижня при цій температурі  $l = 60\text{ см}$ ? Коефіцієнти лінійного теплового розширення: алюмінію -  $\alpha_{Al} = 23,8 \cdot 10^{-6}\text{K}^{-1}$ ; міді  $\alpha_{Cu} = 16,5 \cdot 10^{-6}\text{K}^{-1}$ .

#### 4. ПЛАНИ ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

*Номери задач у завданнях до практичних занять відповідають пункту 3 цих методичних рекомендацій.*

##### **Змістовий модуль 1. Основи молекулярно-кінетичної теорії**

##### **Тема 1. Розвиток уявлень про будову речовини. Основні положення МКТ**

**Практичне заняття 1. Семінар** «Молекулярна фізика й термодинаміка як два підходи до вивчення теплових явищ».

##### ***Завдання:***

1. Перевірити залишкові (шкільні) знання студентів щодо основних понять і величин молекулярної фізики та термодинаміки (усне опитування).
2. Прослідити розвиток уявлень про природу теплових явищ у контексті термодинамічного та молекулярно-кінетичного підходів до їх вивчення.
3. Вибір теми есе та складання орієнтовного плану його написання.

##### ***Завдання для самостійної роботи***

1. Пошук інформації (зокрема симуляцій, презентацій, анімацій), що наочно демонструє молекулярну будову речовини та методи експериментального дослідження.

**Практичне заняття 2. Дискусія** «Основні положення МКТ та їх експериментальне доведення».

##### ***Завдання:***

1. Розгляд та обговорення інформації, зібраної студентами, щодо ілюстрації молекулярної будови речовини.
2. Обговорення експериментальних фактів та теоретичних викладок з обґрунтування основних положень МКТ і пояснень будови і властивостей тіл на основі закономірностей руху і взаємодії атомів та молекул.

##### ***Завдання для самостійної роботи***

Теоретична підготовка до практичного заняття з розв'язання задач, спрямованих на засвоєння основних понять молекулярної фізики.

**Практичне заняття 3.** *Розв'язання задач* на основні поняття та величини в МКТ (молекулярна будова речовини).

**Завдання:**

1. Виступ студентів, що працюють над розробкою есе з відповідних тем (за наявності).

2. Розв'язування задач (1.1, 1.2, 1.5, 1.8, 1.10).

**Завдання для самостійної роботи**

Розв'язати задачі 1.3, 1.4, 1.6, 1.7, 1.9.

**Тема 2. МКТ ідеального газу**

**Практичні заняття 4, 5.** *Розв'язання задач* на основне рівняння МКТ ідеального газу, рівняння стану ідеального газу «Основні газові закони», «Газові суміші. Парціальний тиск. Закон Дальтона для суміші газів»

**Завдання:**

1. Виступ студентів, що працюють над розробкою есе з відповідних тем (за наявності).

2. Розв'язування задач (1.13, 1.15, 1.16, 1.18, 1.19, 1.23).

3. Підготовка до виконання лабораторної роботи «Визначення сталої Больцмана», метод якої базується на застосуванні закону Дальтона для суміші газів при розв'язуванні задачі 1.24.

**Завдання для самостійної роботи**

Розв'язати задачі 1.11, 1.12, 1.14, 1.17, 1.20, 1.21, 1.22, 1.26, 1.26.

**Тема 3. Статистичні розподіли в МКТ ідеального газу**

**Практичне заняття 6.** *Семинар* «Поняття про статистичні розподіли. Ідеальний газ у потенціальному полі»

**Завдання:**

1. Виступ студентів, що працюють над розробкою есе з відповідних тем (за наявності).

2. Аналіз барометричної формули щодо чинників, які визначають умови термодинамічної рівноваги (статистичний розподіл молекул за висотою) газу

у полі потенціальних сил (поля тяжіння Землі) та наближеного характеру формули. Розв'язування задач 1.27, 1.28 з їх повним аналізом.

3. Аналіз рівняння Максвелла з розподілу молекул за швидкостями. Порівняння характеристичних швидкостей молекул.

### ***Завдання для самостійної роботи***

1. Ознайомитися з симуляціями:

- Статистичний розподіл. URL [https://phet.colorado.edu/sims/html/plinko-probability/latest/plinko-probability\\_uk.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/plinko-probability/latest/plinko-probability_uk.html)

- Розподіл молекул за швидкостями. URL: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_rozdeleni\\_rychlosti&l=en](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_rozdeleni_rychlosti&l=en)

2. Розв'язати задачі 1.29, 1.30, 1.31, 1.32.

## **Змістовий модуль 2. Основи термодинаміки**

### **Тема 4. Внутрішня енергія системи. Перший закон термодинаміки.**

#### **Теплоємність**

**Практичне заняття 7. Семінар** «Нульовий закон термодинаміки. Внутрішня енергія як функція стану термодинамічної системи».

#### **Завдання:**

1. Виступ студентів, що працюють над розробкою есе з відповідних тем (за наявності).

2. Обговорення історії розвитку понять «температура» та «теплота», способів змінювання внутрішньої енергії термодинамічної системи, еквівалентності теплоти і роботи, формування розуміння внутрішній енергії як функції стану ідеального газу.

3. Тренінг з визначення числа ступенів свободи молекул ідеальних газів та їх енергії.

### ***Завдання для самостійної роботи***

Самостійно опанувати матеріал щодо та способів і засобів вимірювання температури (температурні шкали).

## **Теми 5, 6. Робота при ізопроцесах. Другий закон термодинаміки. Ентропія**

**Практичні заняття 8-9.** *Розв'язання задач* на перший закон термодинаміки, розрахунок внутрішньої енергії та теплоємності ідеального газу, його параметрів при адіабатному процесі (закони Пуассона), роботи при ізобарному, ізотермічному та адіабатному процесах.

### **Завдання:**

1. Виступ студентів, що працюють над розробкою есе з відповідних тем (за наявності).

2. Відпрацювання на практиці теоретичних питань з зазначених тем. Розв'язування задач (2.2, 2.3, 2.5, 2.6, 2.8, 2.15, 2.16, 2.19).

3. Підготовка до виконання лабораторної роботи «Визначення відношення теплоємностей  $\frac{C_p}{C_v}$  повітря методом Дезорма-Клемана (при розв'язування задачі 2.11)

### ***Завдання для самостійної роботи***

Ознайомитися з симуляцією «Форми енергії і її зміни». URL:

[https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes\\_uk.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/energy-forms-and-changes/latest/energy-forms-and-changes_uk.html)

Розв'язати задачі 2.1, 2.4, 2.7, 2.9, 2.10, 2.12, 2.13, 2.14, 2.17, 2.18.

**Практичне заняття 10.** *Семінар* «Другий закон термодинаміки. Теплові машини. Поняття про вічний двигун другого роду.

### **Завдання:**

1. Застосування технології перевернутого навчання. Виступи студентів з доповідями за завданнями, одержаними на лекції, що передують вивченню другого закону термодинаміки, та групове обговорення теми.

### ***Завдання для самостійної роботи***

Запропонувати тему навчально-дослідницького проекту з теми «Теплові двигуни» та план його розробки.

**Практичне заняття 11.** *Тренінг* «Графічні способи розв'язання задач у молекулярній фізиці та термодинаміці»

**Завдання:**

1. Робота в парах. Відпрацювання вміння читати інформацію, представлену в графічній формі, та застосування її до розв'язання задач 2.16 (1–8), 2.17. Самостійне складання графічних задач на розрахунок роботи і ККД у циклічних теплових процесах.

***Завдання для самостійної роботи***

1. Ознайомитися з симуляцією «Побудова графіка циклу Карно». URL: [https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf\\_carnot&l=ua](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=mf_carnot&l=ua)

2. Розв'язати задачі 2.12 – 2.15 з теми «Циклічні процеси. Цикл Карно».

**Практичне заняття 12.** *Аналіз теми «Ентропія в замкнутах і незамкнутах системах».*

**Завдання:**

1. Виступ студентів, що працюють над розробкою есе з відповідних тем (за наявності).

2. Розв'язування задач (2.20, 2.21) з теми «Ентропія в замкнутах системах»

3. Обговорення теорії теплової смерті Всесвіту. Ентропія в незамкнутах системах.

***Завдання для самостійної роботи***

1. Розв'язати задачі 2.18, 2.19.

2. Пошук інформації щодо поширення поняття «ентропія» на інші науки.

**Тема 7, 8. Молекулярна взаємодія. Явища переносу**

**Практичне заняття 13.** *Розв'язання задач з тем «Молекулярна взаємодія. Зіткнення молекул» «Дифузія, в'язкість та теплопровідність в ідеальних газах».*

**Завдання:**

1. Розгляд теми «Явища переносу» з використанням методу асоціацій та встановлення зв'язків теми з темами інших природничих дисциплін (хімія, біологія, екологія, географія, астрономія, медицина).



2. Розв'язування задач (2.22, 2.24, 2.26, 2.28, 2.29, 2.32).

***Завдання для самостійної роботи***

1. Розв'язати задачі 2.23, 2.25, 2.30, 2.31, 2.33, 2.24.

2. Підготувати виступи до обговорення теми «Явища переносу» за «круглим столом».

**Практичне заняття 14.** Круглий стіл «Явища переносу».

**Завдання:**

1. Обговорення в групі схеми побудови ментальної карти «Явища переносу». Розподіл завдань з її складання між студентами.

2. Визначення змістових ліній теми у навчанні на різних рівнях освіти та розподіл завдань між групами студентів.

***Завдання для самостійної роботи***

Робота над створенням ментальної карти в малих групах у режимі он лайн.

**Тема 9. Реальні гази**

**Практичне заняття 15.** *Розв'язання задач* на рівняння стану реального газу.

**Завдання:**

1. Представлення результатів роботи над ментальною картою.

2. Порівняння ізотерм ідеального газу, теоретичних ізотерм Ван-лер-Ваальса та експериментальних ізотерм реального газу Ендрюса.

3. Розв'язування задач (3.1 – 3.4).

***Завдання для самостійної роботи***

1. Ознайомитись з дослідом зі спостереження переходу речовини через критичний стан за посиланням:

[https://www.youtube.com/watch?v=ZJqKk6gfhcE&ab\\_channel=%D0%92%D1%96%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%8F%D0%94%D1%80%D0%BE%D0%BD%D1%8C](https://www.youtube.com/watch?v=ZJqKk6gfhcE&ab_channel=%D0%92%D1%96%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D1%96%D1%8F%D0%94%D1%80%D0%BE%D0%BD%D1%8C)

## Теми 10, 11. Рідини. Тверді тіла

**Практичне заняття 16.** *Розв'язання задач.* «Поверхневий натяг рідини».

### ***Завдання:***

1. Обговорення лабораторної роботи «Визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини методом відриву краплини» та аналіз її результатів».
2. Розв'язування задач (3.1, 3.4, 3.5, 3.7, 3.9).

### ***Завдання для самостійної роботи***

1. Розв'язати задачі 3.2, 3.3, 3.6, 3.8
2. Ознайомитися з експериментальними методами визначення абсолютної та відносної вологості повітря.

**Практичні заняття 17.** *Розв'язання задач* з тем «Вологість», «Теплові властивості рідин та твердих тіл».

1. Обговорення методів експериментального дослідження вологості повітря та теплових властивостей з використанням теорії/результатів виконання лабораторних робіт «Визначення вологості повітря» «Визначення коефіцієнта теплопровідності твердих тіл», «Визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення металевого стержня».
2. Розв'язування задач (3.10, 3.11, 3.13, 3.14, 3.15, 3.17, 3.19)

### ***Завдання для самостійної роботи***

Дібрати якісні задачі до теми «Фази та фазові перетворення»

Розв'язати задачі 3.12, 3.16, 3.18, 3.20.

**Практичне заняття 18.** *Круглий стіл* «Фази та фазові перетворення»

1. Виступ студентів, що працюють над розробкою есе з відповідних тем (за наявності).
2. Обговорення теми за сценарієм «круглого столу» на основі задач, дібраних студентами та визначення найбільш правильних відповідей та найбільш цікавих запитань.

### ***Завдання для самостійної роботи***

1. Підготуватися до письмової (тестової) роботи за темами 1–12.

## Практичне заняття 19. Письмова (тестова) робота

### Приклади завдань

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

А	Б	В	Г
середньою квадратичною швидкістю молекул і температурою газу	абсолютною температурою, об'ємом і тиском газу	макро і мікро параметрами газу	внутрішньою енергією і термодинамічними параметрами газу

2. Розподіл молекул за швидкостями підкоряється:

А	Б	В	Г
рівнянню Клапейрона-Клаузіуса	основному рівнянню МКТ	статистичному законові Максвелла	статистичному законові Больцмана.

3. Яку швидкість молекул визначає формула  $\bar{v} = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}}$

А	Б	В	Г
середню квадратичну	середню арифметичну	середню геометричну	найбільш імовірну

4. За деяких умов середня довжина вільного руху молекул газу  $\bar{\lambda}=100$  нм, середня арифметична швидкість його молекул 1,95 км/с. При той же температурі тиск газу зменшився в 1,27 разу. Середнє значення числа зіткнень за 1 секунду при цьому дорівнює (в с<sup>-1</sup>):

А	Б	В	Г
$6 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^6$	$9,6 \cdot 10^9$

5. Чому дорівнює середнє число зіткнень за 1 с. молекул деякого газу, якщо середня довжина вільного руху дорівнює 5 мкм, а середня квадратична швидкість його молекул 500 м/с?

А	Б	В	Г
$9,2 \times 10^7 \text{ с}^{-1}$	$5 \times 10^5 \text{ с}^{-1}$	$2,1 \times 10^9 \text{ с}^{-1}$	$4,7 \times 10^2 \text{ с}^{-1}$

6. Яка з наведених формул відповідає рівнянню Фіка?

А	Б	В	Г
$Q = -\kappa \frac{dT}{dx}$	$p = -\eta \frac{dv}{dx}$	$N = -D \frac{dn}{dx}$	$F = -\eta \frac{dv}{dx} S$

7. При якому процесі молярна теплоємність газу максимальна, а при якому мінімальна?

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>
Максимальна при ізобарному, мінімальна при ізохорному	Максимальна при ізохорному, мінімальна при ізобарному	Максимальна при адіабатному, мінімальна при ізотермічному	Максимальна при ізотермічному, мінімальна при адіабатному

8. Двохатомному газу передано 2,093 кДж теплоти. Газ розширюється при  $p = \text{const}$ . Робота розширення газу дорівнює (в Дж):

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>
1500	30	600	100

9. Яку температуру реального газу називають критичною?

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>
При якій газ вже не можна вважати ідеальним	При якій зникає різниця між рідиною та її парою	При якій газ перетворюється на рідину	При якій газ переходить у твердий стан (десублімація)

10. Що не є наслідком наявності поверхневого натягу в рідині?

<b>А</b>	<b>Б</b>	<b>В</b>	<b>Г</b>
Явище змочування та незмочування	Капілярні явища	Практична нестисливість рідини	Прагнення прийняти форму, при якій площа поверхні мінімальна

11. Написати назву всіх величин, що входять у формулу  $p = p_0 e^{-\frac{Mgh}{RT}}$

---



---



---

12. Визначити кількість молекул в одиниці об'єму суміші, яка складається з 2 молей вуглекислого газу та 5 молей азоту. Об'єм суміші 50 л. Яка молярна маса суміші?

Відповідь: \_\_\_\_\_

## 5. РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

### Основна література

1. Бовтрук А. Г. [та ін.] Механіка. Молекулярна фізика й термодинаміка: навч. посіб. Київ : НАУ, 2017. 416 с.
2. Галушак М. О. Курс фізики : підручник, у трьох книгах. Кн. 1. Механіка, молекулярна фізика і термодинаміка. Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, 2017, 428 с.
3. Герасимов О. І, Андріанов І. С. Фізика в задачах: підручник. Одеса, Вид-во “ТЭС”, 2017. 564с.

URL: [http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/722/1/GerasymovOI\\_Andrianov\\_a\\_IS\\_Fizika\\_v\\_zadachah\\_Pidruchnyk\\_2017.pdf](http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/722/1/GerasymovOI_Andrianov_a_IS_Fizika_v_zadachah_Pidruchnyk_2017.pdf)

4. Горват А. А., Жихарев В. М., Хархаліс Л. Ю. Фізичний практикум. Частина 1, 2. Механіка, молекулярна фізика і термодинаміка : навч. посіб. Ужгород , 2020, 142 с.
5. Русаков В. Ф. Молекулярна фізика і термодинаміка: навчальний посібник / В. Ф. Русаков, Н. М. Русакова. – Вінниця : ДонНУ імені Василя Стуса, 2019. – Частина II. – 112 с.
6. Цветкова О. В., Єфременко В. Г. Курс фізики у визначеннях, прикладах і задачах : навч. посіб. для студентів ВНЗ. Маріуполь : ДВНЗ "ПДТУ", 2018. 146 с.
7. Шкурдода Ю. О., Пасько О. О., Коваленко О. А. Фізика. Механіка, молекулярна фізика та термодинаміка : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2021. 221 с.

URL: [https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/83976/1/Shkurdoda\\_physics.pdf;jsessionid=8C1A84BB02791609D943D1F6E25D58F9](https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/83976/1/Shkurdoda_physics.pdf;jsessionid=8C1A84BB02791609D943D1F6E25D58F9)

### Допоміжна

1. Бойко В. В. та ін. Фізика. Модулі 1, 2, 3 : 1. Механіка, 2. Молекулярна фізика та термодинаміка, 3. Електрика. С. 84-121.

[https://www.studmed.ru/view/boyko-vv-ta-in-fzika-modul-1-2-3-1-mehanka-2-molekulyarna-fzika-ta-termodinamka-3-elektrika\\_9c672459a37.html](https://www.studmed.ru/view/boyko-vv-ta-in-fzika-modul-1-2-3-1-mehanka-2-molekulyarna-fzika-ta-termodinamka-3-elektrika_9c672459a37.html)

2. Головіна Н. А. Молекулярна фізика й термодинаміка в запитаннях та задачах : навч. посіб. Луцьк: Вежа-Друк, 2017. 190 с.
3. Краснобокий Ю. М., Підгорний О. В., Ткаченко І. А. Основи фізики з елементами біофізики : навч. посіб. Бровари : АНФ ГРУП, 2020. 356 с.  
<https://dspace.udpu.edu.ua/bitstream/123456789/12990/1/%D0%91%D1%96%D0%BE%D1%84%D1%96%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0%20%28Lite%29.pdf>
4. Рохманов М. Я. Фізика з основами біофізики : навч. посіб. Харків : Нац. аграр. ун-т., 2020. 291 с.  
[https://vsau.org/assets/images/content/dokPDF/silabysi/kaf-botaniky/SYLABUS\\_Fizyka.pdf](https://vsau.org/assets/images/content/dokPDF/silabysi/kaf-botaniky/SYLABUS_Fizyka.pdf)
5. Щербак Ю. Г. [та ін.] Лабораторний практикум з основ термодинаміки та теплотехніки : методичні вказівки. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2020. 72 с.

### **Інформаційні ресурси**

1. Міністерство освіти і науки України: офіційний сайт. URL : <http://www.mon.gov.ua>
2. Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського : офіційний сайт.  
URL : <http://www.nbuv.gov.ua/>
3. Одеська національна наукова бібліотека : офіційний сайт.  
URL : <http://odnb.odessa.ua/>.
4. Бібліотека Університету Ушинського : офіційний сайт.  
URL : <https://library.pdpu.edu.ua/>