

Київський національний університет  
імені Тараса Шевченка

С.М. Гойса, Л.В. Іщук

Практикум для студентів  
радіофізичного факультету  
з курсу “Загальна фізика” (Розділ 2)

“МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА”

ТЕСТОВІ ЗАПИТАННЯ ДО  
ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Київ - 2020

УДК 539.18(076.5)  
ББК 22.3я73

Рецензент  
канд. фіз.-мат. наук, доц. В.П. Сохацький

*Рекомендовано до друку вченою радою радіофізичного факультету  
(протокол № 8 від 15 квітня 2018 року)*

Практикум для студентів радіофізичного факультету з курсу “Загальна фізика” (Розділ 2). Тестові запитання до лабораторних робіт. “Молекулярна фізика”./ С.М. Гойса, Л.В. Іщук. – К. : Видавнича лабораторія радіофізичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка, 2020. – 21 с.

Введення модульно-рейтингової системи, вимагає від викладачів певної стандартизації підходу до оцінювання знань студентів. Запропоновані тестові запитання до лабораторних робіт з курсу “Молекулярна фізика” будуть корисні студентам для підготовки до виконання лабораторних робіт та отримання заліку.

Також вважаємо, що ці запитання будуть корисні викладачам, що працюють в молекулярному практикумі, при оцінюванні рівня виконання та захисту лабораторних робіт студентами.

Структура даного видання відповідає структурі видань “Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу загальної фізики (розділ 2, “Молекулярна фізика”), частини I-III”, ознайомитись з якими можна на сайті факультету за посиланням <https://rex.knu.ua/for-students/books-for-study/>.

УДК 539.18(076.5)  
ББК 22.3я73

© С.М. Гойса, Л.В. Іщук, 2020  
© Видавнича лабораторія радіофізичного факультету  
Київського національного університету  
імені Тараса Шевченка

## ПЕРЕДМОВА

Фізичний практикум в системі університетської освіти є суттєвим доповненням до лекційного курсу та семінарських занять, оскільки дозволяє студенту одержувати експериментальне підтвердження теоретичних положень та розрахунків. Він є невід'ємною частиною курсу "Загальна фізика". В практикумах студенти оволодівають навичками експериментальної роботи, знайомляться з приладами і методикою вимірювань фізичних величин, освоюють методи досліджень фізичних явищ та обробки експериментальних результатів.

Маючи значний досвід роботи в фізичних практикумах, автори підготували більше 320 тестових запитань до лабораторних робіт з курсу "Молекулярна фізика". В запитаннях відображені теоретичні та експериментальні особливості кожної роботи. Якість виконання студентом лабораторних робіт залежить від рівня його підготовки до роботи, ретельності виконання вимірів, осмислення отриманих результатів. Для правильної відповіді на запитання необхідно уважно вивчити методичні вказівки до лабораторної роботи, ознайомитись зі схемою експериментальної установки, активно використовувати лекційний матеріал по даній темі і рекомендовану літературу. Якщо студент зможе ґрунтовно відповісти на запитання, це значно підвищить якість виконання ним лабораторної роботи та отримання заліку.

Запитання до лабораторних робіт розділені на три частини у відповідності до поділу робіт у методичних вказівках до лабораторних робіт з курсу загальної фізики (розділ 2, "МОЛЕКУЛЯРНА ФІЗИКА"), частини I, II, III (<https://rex.knu.ua/for-students/books-for-study/>). У частині I розглянуті деякі властивості газів. Частина II присвячена вивченню рідин і твердих тіл. До частини III увійшли роботи, розроблені фірмою RHYWE (Німеччина), у яких досліджуються фізичні явища у газах, рідинах і твердих тілах.

Тестові запитання до лабораторних робіт будуть корисні і для викладачів, які проводять заняття у практикумі, оскільки дозволяють певною мірою стандартизувати оцінювання студентів за модульно-рейтинговою системою.

# ЧАСТИНА I

## Лабораторна робота № 1

### ВИЗНАЧЕННЯ ДЕЯКИХ ГАЗОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗОНДУВАННЯ

1. Дати визначення теплоємності  $C$ . В яких межах може змінюватись теплоємність газів? Як вводяться питома теплоємність і молярна теплоємність?
2. Із загального рівняння для теплоємності отримайте рівняння Майєра.
3. Поясніть на прикладі ідеального газу, чому теплоємність за сталого тиску  $C_p$  більша за теплоємність за сталого об'єму  $C_V$ .
4. Показати, що для газу Ван дер Ваальса різниця молярних теплоємностей  $C_p - C_V > R$ . Дати пояснення.
5. Що являє собою політропний процес? Навести приклади.
6. Вкажіть основні недоліки класичної теорії теплоємності газів.
7. Що таке ступені вільності молекули?
8. Як кількість ступенів вільності залежить від будови молекули?
9. Визначте кількість ступенів вільності молекули, запропонованої викладачем.
10. Сформулюйте теорему про рівномірний розподіл енергії за ступенями вільності.
11. Чи порушується рівномірний розподіл енергії за ступенями вільності у випадку коливального руху?
12. Чому у випадку лінійних молекул класична теорія враховує лише два ступеня вільності обертального руху?
13. Назвіть основні положення квантової теорії теплоємності газів.
14. Як змінюється теплоємність двоатомних молекул при збільшенні температури? Поясніть цю залежність, користуючись квантовою теорією теплоємності.
15. Як в роботі визначається відношення  $C_p/C_V$  (стала адіабати  $\gamma$ )?
16. Які характеристики газів можна визначити, вимірявши швидкість звуку в них?
17. Чому розповсюдження звукових хвиль можна вважати адіабатним процесом?
18. Які звукові хвилі (поперечні чи поздовжні) можуть розповсюджуватись в газах? Дати пояснення.
19. Чому дорівнює швидкість звуку у вакуумі?
20. Отримайте вираз для швидкості звуку в газах (для ідеального газу і газу Ван дер Ваальса).
21. Що таке молярна концентрація газу у розчині?
22. Як в роботі можна визначити процентний вміст компонент суміші двох газів?
23. Поясніть, як буде змінюватись швидкість звуку у суміші гелію (He) і метану ( $\text{CH}_4$ ) при збільшенні відсоткового вмісту метану?

24. Чи можна в лабораторній роботі визначити відсотковий склад газової суміші, що складається з трьох відомих газів?
25. Для чого і як в роботі проводяться калібрувальні виміри?
26. Як, визначивши сталу адіабати ідеального газу, можна визначити його теплоємність за сталого тиску  $C_p$ ?

## **Лабораторна робота № 2**

### **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПОВІТРЯ**

1. Користуючись загальним рівнянням для явищ переносу в газах, отримайте вираз для коефіцієнта теплопровідності.
2. Сформулюйте фізичний зміст коефіцієнта теплопровідності. Яка його розмірність у системі СІ?
3. Поясніть залежність коефіцієнта теплопровідності від тиску і температури.
4. Де і як можна на практиці використати залежність коефіцієнта теплопровідності від тиску?
5. Стверджують, що в сучасних склопакетах замість повітря використовують аргон. Поясніть, чому?
6. Що таке частота зіткнень молекул в газі? Поясніть, як і чому вона залежить від тиску і температури.
7. Що таке середня довжина вільного пробігу молекул в газі? Поясніть, як і чому вона залежить від тиску і температури.
8. Як змінюється вираз для довжини вільного пробігу в суміші газів у порівнянні з однокомпонентною системою?
9. Поясніть ймовірнісний зміст газокінетичного перерізу розсіювання молекул газу. Як і чому він залежить від температури?
10. Запишіть співвідношення, з якого в даній лабораторній роботі отримується коефіцієнт теплопровідності газів. Які обмеження накладаються при виведенні цієї формули?
11. У чому полягає метод визначення коефіцієнта теплопровідності газів, який пропонується у роботі?
12. Як в роботі визначається температура металеві дротини? Для чого це потрібно?
13. Чому зовнішня циліндрична трубка зроблена з тонкостінної міді?
14. Для чого в роботі використовується насос?
15. Поясніть призначення баластного об'єму в експериментальній установці.
16. Як впливає конвекція на отримані значення коефіцієнта теплопровідності?
17. Як за експериментальними даними визначити розміри молекули газу?
18. Чому дорівнює відношення коефіцієнтів теплопровідності і в'язкості газу з точки зору теорії явищ переносу в газах?
19. Як в даній роботі коефіцієнт теплопровідності залежить від тиску? Поясніть.
20. Назвіть основні джерела похибок у даній роботі.

### **Лабораторна робота № 3**

#### **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ ПОВІТРЯ КАПІЛЯРНИМ МЕТОДОМ**

1. Користуючись загальним рівнянням для явищ переносу в газах, отримайте вираз для коефіцієнта в'язкості.
2. Сформулюйте фізичний зміст коефіцієнта в'язкості. Яка його розмірність у системі СІ?
3. Як залежить коефіцієнт в'язкості від тиску і температури, і чому ?
4. Де і як можна на практиці використати залежність коефіцієнта в'язкості від тиску?
5. Як залежить газокінетичний переріз молекул від температури? Дати пояснення.
6. Чи може з точки зору молекулярно-кінетичної теорії ідеального газу, довжина вільного пробігу залежати від температури?
7. Дати визначення і записати вираз для частоти зіткнень молекули газу.
8. Режими течії газів по трубопроводах. У чому різниця між турбулентною, ламінарною і молекулярною течіями газів?
9. Який саме режим течії газів використовується у роботі? Яким чином досягається встановлення саме такого режиму?
10. Отримайте рівняння Пуазейля. Який його фізичний зміст?
11. Як залежить від розмірів капіляру об'єм газу, що проходить за одиницю часу через капіляр?
12. Що визначає різниця тисків на кінцях капіляру? Як її можна змінювати?
13. Як в роботі визначається об'єм газу, що проходить за одиницю часу через капіляр?
14. Запишіть вираз для числа Рейнольдса. Сформулюйте його фізичний зміст.
15. Як з Ваших експериментальних даних можна визначити число Рейнольдса? Яким чином його можна змінити в лабораторній роботі?
16. За власними експериментальними даними оцініть середню довжину вільного пробігу, ефективний газокінетичний переріз розсіювання та розмір молекул повітря.
17. Ваші міркування щодо впливу водяної пари у повітрі на вимірювані значення коефіцієнта в'язкості повітря.
18. Принцип дії мікроманометра. Як зміняться покази мікроманометра, якщо замість робочої рідини (спирту) використати іншу рідину (наприклад, воду)?
19. Поясніть якісно, як зміниться коефіцієнт в'язкості гелію (He), якщо його змішати з аргоном (Ar) за умови сталості тиску і температури.
20. Назвіть основні джерела випадкових і систематичних похибок в даній роботі.

## Лабораторна робота № 4

### ТЕХНІКА ОТРИМАННЯ І ВИМІРЮВАННЯ ВАКУУМУ

1. Поняття вакууму. Класифікація вакууму.
2. Що є критерієм розрідженості газів? Число Кнудсена і його фізичний зміст.
3. Класифікуйте ступінь розрідженості газу за співвідношенням між довжиною вільного пробігу і характерним розміром реципієнта.
4. Дайте визначення швидкості відкачки насосу, швидкості відкачки реципієнта, пропускної здатності трубопроводу?
5. Отримайте основне рівняння вакуумної техніки. Його фізичний зміст.
6. Яким чином можна збільшити швидкість відкачки реципієнта?
7. У чому полягає фізична причина відмінності режимів течії газів по трубопроводах?
8. Як зміниться пропускна здатність трубопроводу при збільшенні діаметра труби в  $\beta$  разів і зменшенні температури в  $\alpha$  разів у випадках молекулярного і в'язкісного (ламінарного) режимів течії газів?
9. Отримати вираз для залежності тиску від часу відкачування реципієнта за умов сталості швидкості натікання і швидкості відкачування насосу та сталості пропускної здатності трубопроводу.
10. Принцип дії механічних насосів: молекулярні насоси і насоси об'ємного типу.
11. Будова і принцип дії пластинчасто-роторного насосу.
12. Будова і принцип дії дифузійних насосів.
13. Наведіть причини, які обмежують граничний тиск, що створюється дифузійними насосами і насосами об'ємного типу.
14. Якісно поясніть, який газ краще відкачується дифузійним насосом: гелій чи повітря?
15. Принцип дії теплових манометрів. Будова термопарного манометра.
16. Які фізичні причини визначають робочий діапазон тисків, що вимірюються тепловими манометрами?
17. Принцип дії і будова іонізаційних манометрів.
18. Які фізичні причини визначають робочий діапазон тисків, що вимірюються іонізаційними манометрами?
19. Запропонуйте способи розширення діапазону тисків, що вимірюються тепловими та іонізаційними манометрами.
20. У чому полягає принцип дії іонних і сорбційних насосів.
21. Як пов'язана стала  $C$  вакуумної установки із швидкістю її відкачки?
22. Як експериментально можна визначити сталу  $C$  вакуумної установки і швидкість її відкачки?
23. Поясніть порядок включення вакуумного поста ВУП-5М.

## ЧАСТИНА II

### Лабораторна робота № 1

#### ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИН МЕТОДОМ КАПІЛЯРНИХ ХВИЛЬ

1. Дати визначення коефіцієнта поверхневого натягу. В яких одиницях він вимірюється?
2. Як коефіцієнт поверхневого натягу залежить від температури? Поясніть, чому саме так.
3. За яких умов коефіцієнт поверхневого натягу рідини стає рівним нулю?
4. Чому коефіцієнт поверхневого натягу рідини залежить від домішок? Як в лабораторному експерименті можна змінити коефіцієнт поверхневого натягу води?
5. Яку форму приймає рідина у стані невагомості? Поясніть.
6. Що таке тиск Лапласа і чим він визначається?
7. Що таке капілярно-гравітаційні хвилі?
8. Які основні припущення використовуються в теорії капілярно-гравітаційних хвиль?
9. Що являє собою “поверхневий шар” рідини? Якого порядку його товщина?
10. Яку роль відіграють сили поверхневого натягу у створенні капілярно-гравітаційних хвиль?
11. Чи можна збудити хвилі на поверхні рідини у стані невагомості?
12. Запишіть і поясніть фізичний зміст рівняння Бернуллі.
13. Як рухаються частинки на поверхні капілярно-гравітаційної хвилі?
14. Отримайте вираз для фазової швидкості  $v_{\phi}$  капілярно-гравітаційної хвилі. Від чого вона залежить?
15. Чи існує дисперсія капілярно-гравітаційних хвиль? Визначити групову швидкість капілярно-гравітаційної хвилі.
16. Як залежить довжина капілярної хвилі від частоти? Поясніть, як вона змінюється при зміні температури рідини?
17. Як в лабораторному експерименті визначається довжина капілярно-гравітаційної хвилі?
18. Для чого в роботі використовується стробоскопічний тахометр?
19. При якій частоті стробоскопічного тахометра картина поверхневих хвиль буде нерухомою, а вимірювані довжини хвиль коректними?
20. Як визначити довжину хвилі, якщо частота строботахометра у  $2^n$ ,  $n = 1, 2, 3, \dots$ , разів більша за частоту генератора?
21. Поясніть, як практично отримуються значення коефіцієнта поверхневого натягу в лабораторному експерименті.
22. На яких частотах збудження поверхневих хвиль (частотах генератора) треба працювати, щоб правильно визначити коефіцієнт поверхневого натягу? Чи можна проводити експеримент на частоті 1 МГц? Поясніть відповідь.



23. Отримайте вираз для граничної довжини хвилі  $\lambda_1$ . Поясніть, за яких умов однією із складових (гравітаційною або капілярною) швидкості поверхневої хвилі можна знехтувати у порівнянні з іншою.

### **Лабораторна робота №2**

#### **ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОЄМНОСТІ МЕТАЛІВ**

1. Дайте загальне означення теплоємності, означення молярної теплоємності, питомої теплоємності.
2. В яких одиницях системи СІ вимірюються теплоємність тіла, молярна теплоємність, питома теплоємність?
3. Як пов'язані між собою теплоємність довільного тіла, молярна теплоємність та питома теплоємність?
4. З яких міркувань найбільш широко застосовується саме молярна теплоємність?
5. Конструкція і принцип дії рідинного калориметра.
6. Як за допомогою калориметра визначити теплоємність речовини?
7. Запишіть рівняння теплового балансу для калориметра із врахуванням внутрішньої посудини та за її відсутності. Використовуючи експериментальні дані, проаналізуйте необхідність врахування кількості теплоти, що йде на нагрівання калориметра.
8. Поясніть, чому немає різниці, за якою шкалою визначається температура, але шкала має бути однаковою для обох каналів термометра?
9. Які положення покладені в основу класичної теорії теплоємності твердих тіл?
10. Сформулюйте успіхи і недоліки класичної теорії теплоємності твердих тіл.
11. Сформулюйте теорему про рівномірний розподіл енергії за ступенями вільності для коливального руху. Чим формулювання відрізняється від поступального і обертального рухів?
12. В межах класичної теорії теплоємності знайдіть молярну теплоємність простого твердого тіла за сталого об'єму.
13. Користуючись теоремою про рівномірний розподіл енергії за ступенями вільності отримайте закон Дюлонга і Пті. Сформулюйте закон Дюлонга і Пті. За яких умов він виконується?
14. Сформулюйте закон Джоуля і Коппа для складних твердих тіл. Доведіть, що він є наслідком закону Дюлонга і Пті.
15. За яких умов виконується закон Джоуля і Коппа для складних твердих тіл?
16. Намалюйте температурну залежність теплоємності твердих тіл. Наведіть, за якими законами змінюється теплоємність із температурою на характерних ділянках.
17. Чому в рамках класичної теорії не можна пояснити температурну залежність теплоємності?

18. У чому полягає квантовий підхід Планка-Ейнштейна до теорії теплоємності твердих тіл? Які досягнення і недоліки такого підходу?
19. Поясніть особливості квантового підходу Дебая-Борна.
20. Як можна експериментально визначити температуру Дебая?

### ***Лабораторна робота №3***

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ПЛАВЛЕННЯ-КРИСТАЛІЗАЦІЯ**

1. У яких агрегатних станах може знаходитись речовина?
2. Назвіть основні відмінності кристалічних і аморфних твердих тіл.
3. Дайте молекулярно-кінетичне тлумачення процесів плавлення і кристалізації твердих тіл.
4. Поясніть процес плавлення у рамках моделі ангармонічних коливань.
5. Кристалізація і плавлення – це фазові переходи I чи II роду?
6. Дайте означення питомої теплоти плавлення. В яких одиницях вона вимірюється?
7. Як змінюються питомі об'єми твердих кристалів при плавленні? Наведіть приклади.
8. Які характерні ознаки гомогенної та гетерогенної кристалізації?
9. Запишіть рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Сформулюйте його фізичний зміст. Для яких переходів воно справедливе?
10. Що мається на увазі при умові рівноваги фаз?
11. Скільки фаз може одночасно існувати у стані рівноваги? Правило фаз Гіббса.
12. За яких умов виконується правило фаз Гіббса?
13. Що таке “явище вторгнення”?
14. Чому кількість теплоти, що виділяється за одиницю часу при кристалізації речовини, дорівнює півсумі кількості теплоти, що в середньому віддається тверднучим твердим оловом, та кількості теплоти, що виділяється при охолодженні твердого тіла?
15. Дайте означення ентропії.
16. Чому при поверненні у вихідний стан циклічного процесу ентропія не змінюється?
17. Дайте означення оборотного і необоротного процесу. Наведіть приклади.
18. Користуючись нерівністю Клаузіуса доведіть, що ентропія вводиться лише для оборотних процесів.
19. Поясніть, як знайти зміну ентропії для необоротних процесів теплопередачі, розширення ідеального газу у вакуум, взаємної дифузії газів (за вибором викладача).
20. Як поводить себе ентропія при наближенні до абсолютного нуля?

## Лабораторна робота №4

### ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ КРИСТАЛІЧНОЇ ГРАТКИ НА МОДЕЛІ КУБІЧНОГО КРИСТАЛУ

1. Дайте означення атомної площини.
2. Що таке стала кристалічної (кубічної) ґратки?
3. Як міжплощинна відстань у кубічних кристалах пов'язана із сталою ґратки? Отримайте це співвідношення.
4. Які кристалографічні системи (сингонії) ви знаєте? Що є визначальним для віднесення кристалу до певної сингонії?
5. Як вводяться індекси Міллера?
6. Як за відомими індексами Міллера побудувати атомну площину?
7. Чому для об'ємноцентрованої кубічної ґратки сума індексів Міллера ( $h+k+l$ ) не може бути непарним числом?
8. Що таке кут розсіювання хвилі? Як він визначається в лабораторній роботі? Що таке кут Вульфа-Брегга?
9. Вивести умову дифракції Вульфа-Брегга. Її фізичний зміст.
10. Що таке різниця ходу між променями? Від чого вона залежить?
11. Що таке елементарна комірка кристала?
12. На яких площинах концентрація розсіюючих центрів (атомів) максимальна?
13. Як повинні співвідноситись між собою стала кристалічної ґратки і довжина електромагнітної хвилі, що падає на кристал, для спостереження дифракції Вульфа-Брегга?
14. Якою повинна бути довжина хвилі випромінювання, щоб визначити сталу ґратки реального кристала?
15. Відбиттю на якому сімействі атомних площин відповідає найбільший максимум на кривій  $I = f(\alpha)$ ? Поясніть.
16. Як за експериментальними даними визначити сталу ґратки кубічного кристалу?
17. У чому суть даного метода визначення параметрів елементарної комірки моделі кубічного кристалу?
18. Як можна визначити в даній роботі, до якої кристалографічної системи (сингонії) відноситься модель кристалу?
19. Як можна визначити центрованість елементарної комірки: проста вона, або гране- чи об'ємноцентрована?
20. Припустимо, вам відома структура кристалу. Як можна визначити довжину електромагнітної хвилі, що падає на кристал?
21. Назвіть основні елементи точкової групи симетрії кристала.
22. Поясніть різницю між кристалічною ґраткою і кристалічною структурою.
23. Що таке базис? Як базис впливає на симетрію кристала?
24. Поясніть відмінність елементів симетрії скінченних і нескінченних кристалів.

## Лабораторна робота №5

### ВИВЧЕННЯ БРОУНІВСЬКОГО РУХУ

1. Що таке броунівський рух? За рахунок чого відбувається рух броунівської частинки?
2. Назвіть основні положення теорії броунівського руху за Смолуховським і Ейнштейном.
3. Запишіть рівняння руху броунівської частинки.
4. Запишіть і поясніть вираз для розподілу броунівських частинок у силовому (гравітаційному) полі. Як змінюється розподіл частинок у полі при зміні температури?
5. Що таке рухливість частинки? Отримайте співвідношення Ейнштейна між коефіцієнтом дифузії і рухливістю броунівської частинки.
6. Поясніть, як змінюється характер руху броунівської частинки при зміні температури?
7. Як пов'язане середнє значення квадрата проекції зміщення  $\overline{x^2}$  броунівської частинки з часом її руху?
8. Чи можна побачити броунівську частинку і визначити її розмір в оптичному мікроскопі?
9. Як змінився б рух броунівської частинки (зазвичай її розміри  $\sim 1 \cdot 10^{-6}$  м), якщо її розміри збільшити у  $10^3$  разів?
10. Як в роботі визначається розмір броунівської частинки?
11. Чому в своїх дослідах Перрен сепарував броунівські частинки за розмірами?
12. Як за результатами спостереження руху броунівських частинок можна визначити число Авогадро?
13. Для чого в роботі використовується покривне скло?
14. Для чого обмежують поле зору мікроскопу? Як це робиться?
15. Чому в роботі використовується мікроскоп з короткофокусним об'єктивом?
16. Від чого залежить точність визначення числа Авогадро в даному експерименті?
17. Що таке обертальний броунівський рух? Як його можна змоделювати?
18. Отримайте формулу для залежності середнього значення квадрата кута повороту від часу.
19. Як із спостереження обертального броунівського руху визначити сталу Авогадро?
20. Чому дорівнює середня квадратична швидкість броунівської частинки маси  $m$  при температурі  $T$ ?

## Лабораторна робота №6

### ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІЙНОЇ ТОЧКИ РЕЧОВИНИ

1. Що таке фаза?
2. Що таке фазовий перехід?

3. У чому полягає різниця між фазовими переходами першого і другого роду?
4. Який фізичний процес називається сублімацією?
5. Дайте визначення питомої теплоти плавлення, питомої теплоти випаровування і питомої теплоти сублімації.
6. Поясніть, чим визначається різниця питомих теплот плавлення, випаровування і сублімації.
7. Сформулюйте умову рівноваги фаз. Чим вона характеризується?
8. Отримайте рівняння Клапейрона-Клаузіуса для двофазної системи, яка знаходиться у стані рівноваги.
9. Нарисуйте якісно в координатах  $p(T)$  діаграму стану деякої речовини. Чому відповідає кожна точка на діаграмі стану?
10. Сформулюйте фізичний зміст потрійної точки. Чим вона характеризується? Чи може мати речовина більш, ніж одну потрійну точку?
11. Що таке крива випаровування? Чому відповідає максимальна температура на кривій випаровування?
12. Якісно зобразіть і поясніть, як змінюються питомі об'єми парової фази і рідкої фази при збільшенні температури фази (фази знаходяться в рівновазі).
13. При якій температурі питомий об'єм рідини дорівнює питомому об'єму пари? Чому дорівнює коефіцієнт поверхневого натягу рідини при цій температурі?
14. Чим відрізняється газ від пари?
15. Як співвідносяться ентропії парової і рідкої фаз за умови рівноваги фаз?
16. Що таке насичена пара і що таке ненасичена пара? У чому різниця між ними?
17. Чи може пара бути у рівновазі із рідиною у відкритій посудині? Поясніть.
18. Скільки фаз може одночасно знаходитись у стані рівноваги? Сформулюйте правило фаз Гіббса.
19. Чи може чотири і більша кількість фаз хімічно однорідної речовини знаходитись в рівновазі між собою?
20. Чому точка залому на експериментальній кривій  $p(T)$ , яка отримується в даній роботі, визначає потрійну точку речовини?
21. Як за експериментальними даними цієї роботи розрахувати питомі теплоти сублімації і випаровування?
22. Чому криву випаровування називають кривою кипіння?
23. Чим визначаються похибки при визначенні потрійної точки в цій роботі?

## ЧАСТИНА III

### Лабораторна робота № 1

#### ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ БОЛЬЦМАНА ЗА РОЗПОДІЛОМ МОЛЕКУЛ У ПОЛІ СИЛИ ТЯЖІННЯ

1. Виведіть формулу Больцмана для розподілу молекул у полі потенціальних сил.
2. Який фізичний зміст сталої Больцмана?
3. Які обмеження накладаються при виведенні формули Больцмана?
4. До яких потенціальних полів можна застосовувати формулу Больцмана?
5. Отримайте вираз для розподілу частинок у полі відцентрової сили.
6. Що являє собою концентрація  $n_0$  у формулі Больцмана для поля потенціальних сил?
7. Що заважає молекулам повітря падати на Землю під дією сили земного тяжіння?
8. Як за допомогою центрифуги визначити молярну масу колоїдних частинок?
9. Чому в полі тяжіння із збільшенням висоти над поверхнею Землі кінетична енергія молекул зменшується, а температура газу не змінюється?
10. Із формули Больцмана отримайте барометричну формулу. При виконанні яких умов можна використовувати барометричну формулу?
11. Який вигляд має Формула Больцмана у метеорології?
12. Припустимо, що на поверхні Землі концентрації  $n_0$  молекул з масами  $m_1$  і  $m_2$  ( $m_2 > m_1$ ) однакові. Якісно зобразіть і поясніть, як зміняться залежності  $n_i(z)$  ( $i = 1, 2$ ;  $z$  – відстань від поверхні Землі) при зміні температури атмосфери?
13. Як за експериментальними даними, отриманими у цій роботі, перевірити справедливість формули розподілу Больцмана?
14. Якими модельними уявленнями Ви користувались при виконанні роботи?
15. Отримайте узагальнену формулу розподілу Максвелла-Больцмана молекул за швидкостями та у полі потенціальних сил.
16. Із узагальненої формули розподілу Максвелла-Больцмана отримайте розподіл Больцмана.
17. Із узагальненої формули розподілу Максвелла-Больцмана отримайте розподіл Максвелла за швидкостями молекул.
18. Як працює лічильник кульок, що імітують молекули газу?
19. Чому необхідно вимірювати кількість кульок за тривалий проміжок часу та повторювати їх не менше п'яти разів за сталих умов?
20. Поясніть методику визначення сталої Больцмана із використанням формули Больцмана для розподілу молекул у полі тяжіння?
21. У чому полягали досліди Перрена по визначенню числа Авогадро за допомогою розподілу Больцмана.

## Лабораторна робота № 2

### ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЛІНІЙНОГО РОЗШИРЕННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ МЕТОДОМ МЕНДЕЛЄВА

1. Що відбувається із речовинами у різних агрегатних станах при нагріванні?
2. Запишіть вираз для коефіцієнтів лінійного і об'ємного розширення твердих тіл. У чому полягає їх фізичний зміст?
3. Чи може ізобарний коефіцієнт теплового розширення набувати від'ємних значень? Наведіть приклади.
4. Поясніть процес теплового розширення твердих тіл з точки зору молекулярної фізики.
5. Отримайте вираз для залежності довжини твердого тіла від температури. Поясніть, які обмеження були накладені при виведенні.
6. Чому у формулі для залежності довжини твердого тіла від температури фігурує температура за шкалою Цельсія, а не Кельвіна?
7. Чи працює формула для залежності довжини твердого тіла від температури у температурному діапазоні  $-100^{\circ}\text{C} \dots +100^{\circ}\text{C}$ ?
8. Як пов'язані коефіцієнти лінійного і об'ємного розширення? Виведіть співвідношення між ними.
9. Наведіть приклади практичного використання теплового розширення твердих тіл та необхідності враховування його.
10. Фізичний зміст потенціалу Леннарда-Джонса. Як в потенціалі Леннарда-Джонса враховують сили притягання і відштовхування між атомами?
11. Отримайте вираз для коефіцієнта лінійного розширення твердих тіл у рамках моделі ангармонічних коливань.
12. Отримайте вираз для коефіцієнта лінійного розширення твердих тіл у рамках статистичної моделі.
13. Фізичний зміст умови нормування у статистичній моделі.
14. Чи можна пояснити лінійне розширення твердих тіл в моделі гармонічних коливань? Чому?
15. Що таке дилатометрія? Поясніть принцип дії дилатометра.
16. Поясніть, як за отриманою експериментально залежністю  $\Delta l(t)$  визначити коефіцієнт лінійного розширення тіла.
17. Як залежить зміна лінійного розміру тіла  $\Delta l$  від його початкової довжини  $l_0$ ? Поясніть.
18. Які характеристики сил взаємодії між атомами можна визначити за отриманим коефіцієнтом теплового розширення?
19. Як можна пояснити температурну залежність коефіцієнта теплового розширення?
20. Чи потрібно враховувати ефект лінійного розширення у платиновому еталоні температури?

### **Лабораторна робота № 3**

#### **ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ РІДИН ТА ЇЇ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕРЕЗІВ ВЕСТФАЛЯ**

1. Дайте визначення питомої ваги і густини речовини.
2. У чому полягає перевага використання густини речовини у порівнянні з її питомою вагою?
3. Отримайте зв'язок між питомою вагою та густиною речовини.
4. Що являє собою відносна густина?
5. Конструкція терезів Вестфалю.
6. Поясніть принцип дії терезів Вестфалю.
7. Поясніть хід температурної залежності густини.

### **Лабораторна робота № 4**

#### **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ОБ'ЄМНОГО РОЗШИРЕННЯ РІДИН**

1. Поясніть, чому збільшується об'єм більшості рідин при нагріванні.
2. Запишіть вираз для коефіцієнта об'ємного розширення речовини. У чому полягає його фізичний зміст?
3. Яка розмірність коефіцієнта об'ємного розширення речовини у системі СІ?
4. Чи є сенс вводити коефіцієнт лінійного розширення для рідин і газів? Чому?
5. Із загального виразу для коефіцієнта об'ємного розширення рідин отримайте залежність об'єму рідини від температури. За яких умов справедлива отримана формула?
6. Як пов'язані коефіцієнти лінійного і об'ємного розширення? Виведіть співвідношення між ними.
7. Чому у формулі для залежності об'єму рідини від температури фігурує температура за шкалою Цельсія, а не Кельвіна?
8. Чи працює формула для залежності об'єму рідини від температури у температурному діапазоні  $-100^{\circ}\text{C} \dots +100^{\circ}\text{C}$ ?
9. Чи можна визначити об'єм води при температурі  $0^{\circ}\text{C}$ , апроксимуючи залежність  $V(t)$  до цього значення температури?
10. У чому полягає аномальність коефіцієнту об'ємного розширення води при температурах від  $0^{\circ}\text{C}$  до  $+4^{\circ}\text{C}$ ? Поясніть причину цієї аномальності.
11. У рамках феноменологічної теорії розширення твердих тіл отримайте вираз для коефіцієнта об'ємного розширення.
12. Що являє собою параметр Грюнайзена? Яких значень він може набувати?
13. Яким чином стала Грюнайзена пов'язана із коефіцієнтом об'ємного розширення та модулем об'ємної стисливості?
14. Що являє собою пікнометр?
15. Як відбувається калібрування шкали пікнометра?



16. Чому при дослідженні об'ємного розширення рідин ми не враховуємо той факт, що нагрівається (а отже і розширюється) і колба пікнометра?

### **Лабораторна робота № 5**

#### **ЕФЕКТ ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА**

1. Якісно поясніть сутність ефекту Джоуля-Томсона.
2. У чому полягає різниця між інтегральним та диференціальним ефектами Джоуля-Томсона? Який з них і з якою метою використовується на практиці?
3. Для якого газу диференціальний ефект Джоуля-Томсона відсутній?
4. Що є кількісною характеристикою ефекту Джоуля-Томсона?
5. За сталості якої фізичної величини відбувається ефект Джоуля-Томсона? Доведіть це.
6. Чому процес Джоуля-Томсона не являється адіабатним?
7. Що таке політропний ефект? Чи є ізентальпійний ефект політропним?
8. Назвіть основні відмінності реального газу від ідеального.
9. Який газ називається газом Ван дер Ваальса?
10. Запишіть рівняння стану газу Ван дер Ваальса. Поясніть фізичний зміст сталих Ван дер Ваальса.
11. У чому полягає різниця між інтегральним та диференціальним ефектами Джоуля-Томсона? Який з них і для чого використовується у техніці?
12. Отримайте вираз для коефіцієнта  $\mu_J$  ефекта Джоуля-Томсона. Чим визначається знак коефіцієнта  $\mu_J$  диференціального ефекта Джоуля-Томсона?
13. Поясніть, як треба розуміти залежність внутрішньої енергії газів від температури?
14. Чи можна спостерігати ефект Джоуля-Томсона в ідеальних газах? Доведіть це.
15. Зобразіть сімейство ізотерм Ван дер Ваальса. Поясніть фізичний зміст критичних параметрів.
16. Чи є різниця між газом і ненасиченою парою?
17. Отримайте рівняння Ван дер Ваальса у зведених параметрах. Чи залежить зведене рівняння Ван дер Ваальса від роду газу?
18. Що таке температура інверсії в ефекті Джоуля-Томсона?
19. Отримайте вираз для температури інверсії  $T_i$ . Побудуйте криву інверсії у зведених параметрах  $\tau_i(\omega)$ ,  $\omega$  – зведений об'єм.
20. Чим визначається знак ефекту Джоуля-Томсона?
21. За яких умов відбувається зміна знаку ефекта Джоуля-Томсона?
22. Користуючись уявленнями молекулярно-кінетичної теорії поясніть, чому за однакової температури в ефекті Джоуля-Томсона деякі гази нагріваються, а деякі охолоджуються?
23. Поясніть, чому газ Ван дер Ваальса зі сталою  $a=0$  в ефекті Джоуля-Томсона завжди нагрівається, а зі сталою  $b=0$  – завжди охолоджується?

24. Чому для газу, який описується рівнянням стану Хірна ( $p = \frac{\nu RT}{V - \nu b} - B$ , де  $b, B$  – додатні сталі,  $\nu$  – число молів), знак коефіцієнта Джоуля-Томсона від’ємний, а для газу, який описується рівнянням стану Ріттера ( $p = \frac{\nu RT}{V} - \frac{\nu^2 a}{V^2}$ , де  $a$  – додатна стала), знак ефекту додатний? Поясніть.

### **Лабораторна робота № 6**

#### **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИНАМІЧНОЇ В’ЯЗКОСТІ РІДИН ЗА МЕТОДОМ СТОКСА**

1. Чим відрізняються внутрішні будови (структура) газів, рідин і твердих тіл? Що таке ближній порядок? Порівняйте взаємне розташування атомів чи молекул у газах, рідинах і твердих тілах.
2. Які сили взаємодії між молекулами рідини враховує потенціал взаємодії Леннарда-Джонса?
3. Поясніть утворення потенціальних ям у рідинах.
4. Що таке час осілого життя молекули? Як він залежить від висоти потенціального бар’єру і температури? Чому?
5. За яких умов рідина виявляє властивості, притаманні твердому тілу?
6. Чим відрізняються течії газів і рідин?
7. У чому фізична причина виникнення явища внутрішнього тертя у рідинах? Порівняйте із явищем внутрішнього тертя у газах.
8. Який фізичний зміст коефіцієнта динамічної в’язкості рідини? У яких одиницях він вимірюється?
9. Отримайте формулу Френкеля-Арреніуса для коефіцієнта в’язкості рідини.
10. Якісно поясніть як коефіцієнт в’язкості рідин залежить від температури.
11. Поясніть, як за формулою Френкеля-Арреніуса визначити висоту потенціального бар’єру.
12. У яких межах зміни температур працює формула Френкеля-Арреніуса?
13. При якій температурі в’язкість рідин наближається до в’язкості газів? Поясніть.
14. До якого значення прямує в’язкість рідин при наближенні їх температури до температури плавлення (твердіння)?
15. Наведіть приклади методів визначення коефіцієнта в’язкості рідин.
16. У чому полягає метод Стокса визначення в’язкості рідин?
17. За яких умов справедлива формула Стокса?
18. Запишіть рівняння Ньютона для течії в’язкої рідини. Отримайте з нього вираз для коефіцієнта в’язкості.
19. Якими повинні бути розміри циліндра пікнометра із досліджуваною речовиною по відношенню до розмірів кульки, щоб отримати коректні результати? Поясніть, чому?
20. Чому виміри швидкості падіння кульки необхідно проводити на певних відстанях від торців циліндру, в якому вона падає, і від його стінок?

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Булавін Л.А., Гаврюшенко Д.А., Сисоєв В.М. Молекулярна фізика. – К., Знання, 2006, – 567с.
2. Шиманський Ю.І., Шиманська О.Т. Молекулярна фізика. – К., Києво-Могилянська академія, 2007. – 462с.
3. Гойса С.М., Короновський В.Є., Харченко Н.П., Іщук Л.В. Молекулярна фізика. Задачі і запитання. – К., ВПЦ “Київський університет”, 2011. – 192с.
4. Клим М.М., Якібчук П.М. Молекулярна фізика. – Львів, ЛНУ ім. І.Франка, 2003. – 543с.
5. Цмоць В.М. Молекулярна фізика. – Дрогобич, Коло, 2005. – 358с.
6. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.2, “Термодинамика и молекулярная физика”. – М., ФИЗМАТЛИТ. – 2005. – 544с.
7. Матвеев А.Н. Молекулярная физика. – М., Высшая школа, 1981. – 331с.
8. Рейф Ф. Статистическая физика. – М., Наука, 1986. – 336с.
9. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М., ГИФМЛ, 1978. – 635с.
10. Кикоин А.К., Кикоин И.К. Молекулярная физика / Под ред. В.А. Григоровой. – М., ГИФМЛ, 1976. – 480с.
11. Курс физики. Практикум / Под ред Д.А.Городецкого. – К., “Вища школа”, 1992. – 399с.
12. Физический практикум / Под ред. В.И.Ивероной. – М., Наука, 1962. – 637с.
13. Фізичний практикум. Ч.1 / За ред. В.П.Дущенко. – К., “Вища школа”, 1981. – 248с.
14. Новицкий П.В., Зограф И.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л., Энергоатомиздат, 1985. – 248с.

## ЗМІСТ

<b>ПЕРЕДМОВА</b> .....	3
<b>ЧАСТИНА I</b> .....	4
<i>Лабораторна робота № 1</i> ВИЗНАЧЕННЯ ДЕЯКИХ ГАЗОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗА ДОПОМОГОЮ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗОНДУВАННЯ.....	4
<i>Лабораторна робота № 2</i> ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ПОВІТРЯ.....	5
<i>Лабораторна робота № 3</i> ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ВНУТРІШНЬОГО ТЕРТЯ ПОВІТРЯ КАПІЛЯРНИМ МЕТОДОМ.....	6
<i>Лабораторна робота № 4</i> ТЕХНІКА ОТРИМАННЯ І ВИМІРЮВАННЯ ВАКУУМУ.....	7
<b>ЧАСТИНА II</b> .....	7
<i>Лабораторна робота № 1</i> ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИН МЕТОДОМ КАПІЛЯРНИХ ХВИЛЬ.....	8
<i>Лабораторна робота № 2</i> ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОЄМНОСТІ МЕТАЛІВ.....	9
<i>Лабораторна робота № 3</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДУ ПЛАВЛЕННЯ-КРИСТАЛІЗАЦІЯ .....	10
<i>Лабораторна робота № 4</i> ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ КРИСТАЛІЧНОЇ ГРАТКИ НА МОДЕЛІ КУБІЧНОГО КРИСТАЛУ.....	11
<i>Лабораторна робота № 5</i> ВИВЧЕННЯ БРОУНІВСЬКОГО РУХУ.....	12
<i>Лабораторна робота № 6</i> ВИЗНАЧЕННЯ ПОТРІЙНОЇ ТОЧКИ РЕЧОВИНИ.....	12
<b>ЧАСТИНА III</b> .....	14
<i>Лабораторна робота № 1</i> ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ БОЛЬЦМАНА ЗА РОЗПОДІЛОМ МОЛЕКУЛ У ПОЛІ СИЛИ ТЯЖІННЯ.....	14
<i>Лабораторна робота № 2</i> ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЛІНІЙНОГО РОЗШИРЕННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ МЕТОДОМ МЕНДЕЛЄЄВА.....	15
<i>Лабораторна робота № 3</i> ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ РІДИН ТА ЇЇ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕРЕЗІВ ВЕСТФАЛЯ.....	16
<i>Лабораторна робота № 4</i> ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ОБ'ЄМНОГО РОЗШИРЕННЯ РІДИН..	16
<i>Лабораторна робота № 5</i> ЕФЕКТ ДЖОУЛЯ-ТОМСОНА.....	17
<i>Лабораторна робота № 6</i> ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ РІДИН ЗА МЕТОДОМ СТОКСА.....	18
<b>СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b> .....	19

## Навчальне видання

Практикум для студентів радіофізичного факультету  
з курсу “Загальна фізика” (Розділ 2, “Молекулярна фізика”)

### ТЕСТОВІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ “Молекулярна фізика”

Гойса Сергій Миколайович  
Іщук Лариса Вадимівна

Видавнича лабораторія радіофізичного факультету  
Київського національного університету імені Тараса Шевченка