

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

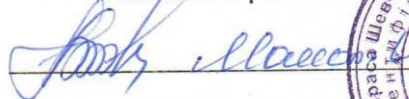
Фізичний факультет

(назва факультету)

Кафедра експериментальної фізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана/директора
з навчальної роботи



« 30 » серпня 2022 року



РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

(повна назва навчальної дисципліни)

«ПРАКТИКУМ З МОЛЕКУЛЯРНОЇ ФІЗИКИ»

для студентів

галузь знань 10. Природничі науки
(шифр і назва)
спеціальність 104. Фізика та астрономія
(шифр і назва спеціальності)
освітній рівень бакалавр
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)
освітня програма фізика
(назва освітньої програми)
вид дисципліни обов'язкова

Форма навчання	<u>денна</u>
Навчальний рік	<u>2022/2023</u>
Семестр	<u>2</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>3</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>залік</u>

Пролонговано: на 20 /20 н.р. (_____) «_» 20 _р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20 /20 н.р. (_____) «_» 20 _р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2022

Розробник(и): завідувача навчальної лабораторії кафедри експериментальної фізики
Бобир Н.І.; канд. фіз.-мат. наук, асистент кафедри експериментальної фізики
Башмакова Н.В.

(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри експериментальної фізики


(підпис)

(Дмитрук І.М.)
(прізвище та ініціали)

Протокол № ___ від «_» ___ 202_ р.

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету

Протокол № 11 від «_10_» 06_ 2022 року

Голова науково-методичної комісії _____



(_ Олег Оліх _)

1. Мета дисципліни полягає у поглибленні теоретичних знань з курсу «Молекулярна фізика та термодинаміка», одержаних на лекціях: сприянні докладнішому вивченню фізичних понять, явищ та законів; оволодінні студентами практичними навичками користування вимірювальними приладами, отриманні з досліду фізичної інформації, а також оволодінні культурою запису отриманої інформації, правильному представленню отриманих результатів у вигляді графіків, таблиць; математичною обробкою результатів експерименту та оцінки похибок вимірювання; формуванню навичок дослідницької діяльності, здатності абстрактного та критичного мислення. Тим самим *підкреслюється експериментальний характер фізики та науки загалом.*

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни (за наявності)¹:

1. *Знати* основні закони термодинаміки та молекулярної фізики, основи теорії похибок та обробки даних.

2. *Вміти* застосовувати попередні знання з представлення експериментальних даних, правил обчислення похибок вимірювань, обчислення похідних, інтегралів, вміти графічно будувати отримані експериментально залежності.

3. *Володіти елементарними навичками* роботи з вимірювальними приладами; пошуку та аналізу табличних даних, роботи з програмним забезпеченням для обробки даних, роботи в групі.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Навчальна дисципліна «**Практикум з молекулярної фізики**» є складовою частиною вивчення *базової нормативної* дисципліни - загального курсу «Молекулярна фізика та термодинаміка». Формою викладання дисципліни «**Практикум з молекулярної фізики**» є лабораторні роботи. Заняття проводяться паралельно з курсом «Молекулярна фізика», який включає в себе лекції та практичні заняття, у відповідності до його програми. Тематика лабораторних робіт дозволяє більш успішно опанувати такі основні розділи курсу Молекулярної фізики:

1. Явища переносу (лабораторні роботи №4,7,8,9,12,15,16).

2. Фазові переходи (№10,18).

3. Термодинаміка (№2,3,13).

4. Капілярні явища та властивості рідин (№ 5,11).

5. Теплові властивості твердого тіла (№1,19)

Оскільки лабораторні роботи представлені в недостатній кількості установок для фронтального виконання за темою, яка викладається в лекційному курсі (що унеможлиблює об'єднання робіт в модулі за змістом), то для забезпечення одночасного виконання робіт всіма студентами однієї групи лабораторні роботи призначаються викладачем в *довільному порядку* (без попереднього викладення матеріалу). Тому для ефективного виконання лабораторної роботи студент повинен самостійно ознайомитись з короткими теоретичними відомостями, які подані в описі лабораторної роботи, законспектувати їх. Теоретичні відомості в описах до лабораторних робіт викладено стисло, тому для глибшого вивчення деяких теоретичних питань потрібно опрацювати рекомендовану літературу.

Для роз'яснення незрозумілих питань перед початком лабораторного заняття викладач може провести коротку **консультацію**.

4. Завдання (навчальні цілі):

- розвиток навичок студентів самостійно працювати та застосовувати теоретичні знання для вирішення практичних задач;
- засвоєння методів і прийомів фізичних вимірювань та оволодіння практичними навичками користування лабораторним устаткуванням, вміння аналізувати отримані результати;
- вміння застосовувати математичний апарат для обробки отриманих результатів експерименту; оволодіння культурою запису та представлення отриманої інформації у вигляді графіків, таблиць;
- набуття та розвиток навичок комунікації, роботи в групі;
- розвиток абстрактного та критичного мислення для подальшого застосування в науковій роботі.

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Форми (та/або методи і технології) викладання і навчання	Методи оцінювання та пороговий критерій оцінювання (за необхідності)	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1	1.1. Основні принципи та закони молекулярної фізики, їх математичне формулювання та фізичний зміст	Захист лабораторної роботи	-	40%
	1.2. знати про взаємозв'язок окремих явищ і процесів	Захист лабораторної роботи		30%
	1.3. про складності проведення вимірювань, точності отримання результатів та джерела імовірних похибок	Письмове оформлення лабораторної роботи		
	1.4. загальні правила безпеки при проведенні експериментальних досліджень	Вступна лекція Інструктаж		
2	2.1 представляти та аналізувати одержані результати	Захист лабораторної роботи		25%
	2.2 працювати з нескладним експериментальним устаткуванням, оцінювати похибки вимірювання	Проведення експерименту		
	2.3. обробляти та пояснювати отримані результати	Захист лабораторної роботи		
	2.4. оцінювати порядки величин, що досліджуються, їх точність та ступінь достовірності, розраховувати похибки вимірювань та формулювати висновки	Оформлення лабораторної роботи,		

	2.5.самостійно працювати з навчальною, навчально-методичною та довідковою літературою з молекулярної фізики.	Захист лабораторної роботи		5%
3	3.1. вміти працювати у групі; 3.2. вміти вислуховувати співрозмовника та розуміти його точку зору.	Проведення експерименту Захист лабораторної роботи		
4.	4.1. нести особисту відповідальність за виконання правил безпеки, самостійну роботу з лабораторним устаткуванням 4.2 розвиток навичок студентів автономно працювати та застосовувати свої теоретичні знання для виконання експериментального завдання	Проведення експерименту Проведення експерименту		

6. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін які не входять до блоків спеціалізації)

Результати навчання дисципліни(код)	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	3.1	3.2	4.1	4.2
	Програмні результати навчання (назва)												
ПРН1.Знати, розуміти та вміти застосовувати на базовому рівні основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики.	+												+
ПРН2.Знати і розуміти фізичні основи фізичних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них.		+											
ПРН3.Знати і розуміти експериментальні основи фізики: аналізувати, описувати, тлумачити та пояснювати основні експериментальні підтвердження існуючих фізичних теорій.		+		+			+	+					
ПРН4.Вміти застосовувати базові математичні знання, які використовуються у фізиці: з аналітичної геометрії, лінійної алгебри, математичного аналізу, диференціальних та інтегральних рівнянь, теорії ймовірностей та математичної статистики, теорії груп, методів математичної фізики, теорії функцій комплексної змінної, математичного моделювання.							+	+					
ПРН8.Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.									+				+
ПРН9. Мати базові навички проведення теоретичних та/або експериментальних наукових досліджень з окремих спеціальних розділів фізики або астрономії, що виконуються індивідуально (автономно) та/або у складі наукової групи.				+								+	+
ПРН11.Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.	+				+		+	+	+				+
ПРН12. Вміти представляти одержані наукові результати, брати участь у дискусіях стосовно змісту і результатів власного наукового дослідження.					+						+		
ПРН14.Знати і розуміти основні вимоги техніки безпеки при проведенні експериментальних досліджень, зокрема правила роботи з певними видами						+						+	

обладнання та речовинами, правила захисту персоналу від дії різноманітних чинників, небезпечних для здоров'я людини.														
ПРН16. Мати навички роботи із сучасною обчислювальною технікою, вміти використовувати стандартні пакети прикладних програм і програмувати на рівні, достатньому для реалізації чисельних методів розв'язування фізичних задач, комп'ютерного моделювання явищ і процесів, виконання обчислювальних експериментів.							+	+						
ПРН19. Знати та розуміти необхідність збереження та примноження моральних, культурних та наукових цінностей і досягнень суспільства.										+				
ПРН24. Розуміти місце фізики у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій.										+				
ПРН28. Мати уявлення про трансдисциплінарний шлях розвитку науки та його значення для вибору майбутньої освітньої траєкторії.														+

7. Схема формування оцінки.

Схема формування оцінки здійснюється за рейтинговою системою.

Рейтинг кожної роботи складається з **10 балів**:

- підготовка до виконання лабораторної роботи (щоб отримати допуск до виконання треба вміти відповісти на контрольні запитання щодо виконання роботи, знати мету роботи та мати протокол з теоретичними відомостями) - **1 бал**
Без попередньої підготовки студент не допускається до виконання лабораторної роботи.
- виконання роботи та отримання експериментальних даних, кількість та якість вимірів – **2 бала**
- оформлення протоколу, обробка експериментальних даних: обчислення величин, похибок; пояснення розбіжностей і похибок у висновку – **3 бала**
- знання та розуміння матеріалу за темою роботи, що захищається – **4 балів**

При виставленні балів враховуються:

- якість виконання та оформлення лабораторних робіт;
- знання та розуміння матеріалу відповідної теми при захисті лабораторних робіт;
- якість самостійної роботи студента при виконанні відповідних завдань для самостійної роботи.

Обов'язковим для заліку є виконання та захист **10** лабораторних робіт. Таким чином студент максимально може отримати **100** балів

7.1 Форми оцінювання студентів:

1. Письмове оформлення лабораторної роботи.
2. Усна відповідь.

семестрове оцінювання:

Студент, який виконав три роботи та не захистив жодної з них до наступної роботи не допускається.

Лабораторні роботи (10 робіт): РН -100 балів/10 балів за *кожну*

підсумкове оцінювання (у формі екзамену/комплексного екзамену, диференційованого заліку)²: диференційований залік

умови допуску до підсумкового екзамену з курсу «Молекулярная фізика»:

Отримання заліку з дисципліни «Практикум з молекулярної фізики» з рейтингом не менше ніж 60 балів. При невиконанні лабораторних робіт в повному обсязі, або виконанні з кількістю балів, меншою 60, студент до іспиту з курсу «Молекулярна фізика» не допускається.

7.2 Організація оцінювання: (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтовного графіку оцінювання). Оцінювання проводиться впродовж одного семестру, після виконання та захисту лабораторної роботи. Для захисту лабораторної роботи студент має подати письмовий звіт про виконання відповідної лабораторної роботи, в якому крім даних попередньої підготовки мають бути первісні дані експерименту, кінцеві показники експерименту – формула та результат обчислення шуканої величини, похибки, відповідні графіки, висновки відносно методики вимірювань і знайдених закономірностей, а також відповіді на основні питання за темою роботи.

Основні контрольні запитання для захисту лабораторних робіт з молекулярної фізики

Робота №1. Визначення теплоємності металів методом охолодження

1. Теплоємність речовини. Молярна теплоємність. Питома теплоємність. Порівняння питомих теплоємностей металів, діелектриків, рідин і газів.
2. Закон Ньютона для явища тепловіддачі. Від чого залежить кількість теплоти, яку тіло втрачає при охолодженні.
3. Для чого досліджувані металеві зразки виготовляються однакових розмірів і однакової форми?
4. Залежність теплоємності твердих тіл від температури. Теорії Дюдонга-Пті, Ейнштейна та Дебая.
5. Яким чином у роботі визначається температурна залежність питомих теплоємностей заліза й алюмінію?
6. За значеннями температури Дебая для заліза й алюмінію та Рис. 1.1 розрахуйте питомі теплоємності цих металів при температурах 100, 200 та 300 °С. Порівняйте розраховані значення з отриманими експериментально.
7. Якою функцією описується залежність від часу температури зразка: а) під час нагрівання в пічці, б) під час охолодження у навколишньому повітрі?
8. Якою функцією описується залежність від часу температури зразка, якщо він буде холоднішим за навколишнє повітря?
9. Чому напівпорожній чайник охолоджується швидше, ніж повний?
10. Для чого батареї центрального опалення виготовляють ребристими?
11. Пояснити принцип охолодження комп'ютерного процесора кулером.

Робота №2. Вимірювання теплоємності рідини

1. Теплота. Кількість теплоти. Механічний еквівалент теплоти. Калорія.
2. Що таке температура? Назвіть відомі вам методи вимірювання температури.
3. Теплоємність речовини. Види теплоємностей. Яких значень може набувати теплоємність у різних процесах?
4. Навіщо воду в калориметрі потрібно на початку досліду підігрівати на кілька градусів?
5. Чим зумовлена поправка Θ ? Яким чином вона визначається в роботі?

6. Що таке водяний еквівалент калориметра? Як його можна визначити експериментально? Для якого калориметра, латунного чи ебонітового, цей еквівалент буде більшим? Чому?
7. Будова і розміри молекули води. Дипольний момент молекули води. Водневі зв'язки. Структура води. Чому вода має таку велику питому теплоємність?
8. Тіло людини на 70 % (за масою) складається з води. Знайдіть у довіднику і порівняйте теплоємність води з теплоємностями інших рідин. Який ви можете зробити висновок? Яку роль, на вашу думку, відіграє вода у тепловому балансі людського тіла?

Робота №3. Визначення відношення теплоємностей газів C_p/C_v методом Клермана-Дезорма.

1. Вивести формулу для визначення відношення теплоємностей C_p/C_v в даній роботі.
2. Вивести формулу Майєра (для ідеального та ван-дер-ваальсівського газів) для співвідношення між теплоємностями C_p і C_v .
3. Який процес називається адіабатним, політропним? Вивести рівняння адіабатного та політропного процесів.
4. Чому процес випускання повітря з балона можна вважати адіабатним? Яким повинен бути час відкривання крана для випускання повітря, щоб процес випускання повітря був адіабатним?
5. Стан термодинамічної системи. Параметри (функції) стану. Процес у системі. Рівноважні і нерівноважні процеси. Процеси оборотні й необоротні. Колові процеси (цикли).
6. Поняття про ступені вільності механічної системи. Кількість поступальних, обертальних та коливальних ступенів вільності системи N частинок.
7. Теорема про рівнорозподіл енергії по ступенях вільності.
8. Кількість ступенів вільності для N -атомних лінійних та нелінійних молекул. Активні та заморожені ступені вільності.
9. Кількість ступенів вільності одноатомних та двоатомних молекул. Розрахувати теоретично сталу адіабату для газу, що складається з одноатомних та двоатомних молекул.
10. Виходячи зі значення сталої адіабати для повітря, визначене в роботі, зробити висновок про кількість атомів у молекулах газів, з яких переважно складається повітря.

Робота №4. Визначення відношення теплоємностей газів C_p/C_v резонансним методом.

1. Сформулюйте перший закон термодинаміки. Запишіть цей закон для ізобарного, ізохорного, ізотермічного й адіабатного процесів.
2. Виведіть формулу Майєра для співвідношення між теплоємностями C_p і C_v .
3. Що таке адіабатний процес? Чому процес поширення звукової хвилі в газі можна вважати адіабатним?
4. Виведіть рівняння Пуассона для адіабати.
5. Запишіть рівняння адіабатного процесу в змінних (P, V) , (T, V) і (P, T) .
6. Що таке пружна хвиля? Виведіть формулу для швидкості поширення поздовжньої хвилі у пружному середовищі.
7. Що таке звукова хвиля? Охарактеризуйте процес поширення пружної хвилі в газі. Виведіть формулу швидкості звуку в газі.
8. У чому полягає резонансний метод визначення швидкості звуку в газі?
9. Чому при розповсюдженні звуку в закритому каналі можуть утворюватися стоячі хвилі? За яких умов вони утворюватимуться? Виведіть формулу для частот стоячих хвиль у закритому каналі.
10. Як залежить швидкість звуку в повітрі від його температури?

Робота №5. Спостереження броунівського руху і визначення числа Авогадро

1. Маса і розміри молекул. Що характеризує число Авогадро?
2. Оцінити розміри молекули води, знаючи густину води і її молярну масу.
3. Середня швидкість теплового руху молекул ідеального газу, її залежність від температури і маси молекул.
4. Середня кінетична енергія теплового руху частинки, її залежність від температури.
5. Що таке броунівський рух? Якими повинні бути розміри броунівської частинки, щоб за її рухом можна було спостерігати в мікроскоп?
6. Закон Ейнштейна-Смолуховського для поступального броунівського руху.
7. Обертальний броунівський рух та його закономірності. Умови його спостереження.
8. Вивести формулу для визначення числа Авогадро в даній роботі.
9. Середнє за часом та середнє за ансамблем. Ергодична гіпотеза.

Робота №6. Визначення коефіцієнта поверхневого натягу рідини.

1. У чому полягає відмінність рідини від газу і твердого тіла?
2. Чим зумовлене явище поверхневого натягу в рідинах? Сили поверхневого натягу. Фізичний зміст коефіцієнта поверхневого натягу.
3. Тиск під викривленою поверхнею рідини. Формула Юнга-Лапласа для поверхневого тиску.
4. Вивести формулу Лапласа для краплі рідини зі сферичною поверхнею.
5. Змочування і незмочування рідиною твердого тіла. Крайовий кут.
6. Вивести формулу для висоти підняття рівня рідини в капілярі при його зануренні в рідину.
7. Пояснити, як утворюються мильні бульбашки. Чому дорівнює тиск повітря всередині бульбашки?
8. Наведіть приклади явищ, у яких проявляється поверхневий натяг рідин. Наведіть приклади капілярних явищ.
9. Поясніть суть експериментального Методу визначення коефіцієнта поверхневого натягу за допомогою капілярного методу. Виведіть формулу для розрахунку коефіцієнта поверхневого натягу капілярним методом.
10. Виведіть формулу, що зв'язує радіус кривини меніска рідини, радіус капіляра та крайовий кут.

Робота №7. Визначення коефіцієнта внутрішнього тертя рідини методом Стокса

1. Пояснити фізичну природу виникнення сил внутрішнього тертя.
2. Закон Ньютона для сили взаємодії між шарами рідини, що рухаються один відносно одного.
3. Які сили діють на кульку, що рухається в рідині? Яка з цих сил залежить від швидкості руху кульки?
4. Що таке критерій Рейнольдса і чому необхідним є його виконання у методі Стокса?
5. У чому полягає метод Стокса для вимірювання коефіцієнта в'язкості рідини?
6. Вивести формулу для визначення коефіцієнта в'язкості.
7. Вивести формулу для визначення шляху, який повинна пройти кулька до того моменту, коли вона почне рухатися рівномірно. Як цей шлях залежить від радіуса кульки?
8. Чому в роботі використовуються кульки з великою густиною (10,88 г/см³)?
9. Чому розміри внутрішньої циліндричної посудини (її радіус) впливають на виміри коефіцієнта в'язкості? При якому співвідношенні між радіусом кульки r і циліндра R похибка визначення η не буде перевищувати 1%?
10. Навіщо в роботі потрібна зовнішня циліндрична посудина, заповнена водою?

11. Базуючись на фізичній природі виникнення сил внутрішнього тертя, як одного з явищ переносу, пояснити як залежать від температури коефіцієнти в'язкості більшості рідин.

Робота №8. Визначення коефіцієнта внутрішнього тертя рідини капілярним віскозиметром

1. Дослід Ньютона. Формула Ньютона для сили внутрішнього тертя.
2. Явище внутрішнього тертя (в'язкість) рідини. Фізичний механізм виникнення сил в'язкості.
3. Рівнянь руху в'язкої рідини Нав'є-Стокса.
4. Вивести формулу Пуазейля.
5. Принцип дії капілярного віскозиметра. Чому вимірюваний коефіцієнт в'язкості прямо пропорційний часу витікання розчину?
6. Чому у віскозиметр потрібно кожного разу наливати однакову кількість рідини? Наскільки зросте похибка вимірювання η , якщо кількість рідини буде різною для різних дослідів?
7. Чим, на вашу думку, повинен визначатися діаметр капіляра віскозиметра?
8. Чи можна за допомогою капілярного віскозиметра виміряти абсолютне значення коефіцієнта в'язкості η (а не лише його відношення до коефіцієнта в'язкості води)?

Робота №9. Визначення коефіцієнта в'язкості газу

1. Явища переносу: у чому вони полягають та чим вони зумовлені?
2. Ламінарна і турбулентна течія. Відмінність між ними. Навести приклади.
3. Що характеризує число Рейнольдса? Які числа Рейнольдса відповідають ламінарній і турбулентній течії?
4. Залежність швидкості руху газу (рідина) від відстані до осі циліндричної трубки за умов ламінарної течії і повного змочування газом (рідиною) стінок трубки.
5. Вивести формулу Пуазейля.
6. Яким чином у роботі визначається коефіцієнт в'язкості газу?
7. Оцінити кількість рідини, яка повинна витікати з газометра за одиницю часу, щоб потік газу в капілярі був ламінарним.
8. Яким чином можна переконатися у тому, що газ у капілярі є нестисливим?

Робота №10. Визначення коефіцієнта теплопровідності повітря

1. Три види теплопередачі: теплопровідність, конвекція, теплове випромінювання. Приклади.
2. Закон Фур'є для теплопровідності. Фізичний зміст коефіцієнта теплопровідності.
3. Чому коефіцієнт теплопровідності газу не залежить від тиску? За яких тисків така залежність буде спостерігатися?
4. Поняття про середню довжину вільного пробігу молекул газу. Від чого вона залежить? Які макроскопічні характеристики газу вона визначає?
5. Для чого відкачують повітря між стінками колби термоса?
6. Вивести формулу для визначення коефіцієнта теплопровідності газу.
7. Яким чином у роботі вимірюється температура дротини?
8. Обґрунтуйте, чому у роботі теплопередача відбувається головним чином за рахунок теплопровідності.
9. Пояснити, яким чином теплий одяг зігріває людину.

Робота №11. Визначення коефіцієнта теплопровідності твердих тіл

1. Закон Фур'є для теплопровідності. Фізичний зміст коефіцієнта теплопровідності. Як співвідносяться між собою коефіцієнти теплопровідності для повітря, ебоніту, міді?

- Пояснити суттєві відмінності величин коефіцієнтів теплопровідності для цих речовин.
2. Чи можна на експериментальній установці, що використовується в роботі, визначити коефіцієнт теплопровідності металевої пластини, наприклад мідної чи алюмінієвої? Те саме запитання для пластини, виготовленої з деякого поруватого матеріалу. Відповідь обґрунтувати.
 3. Зв'язок коефіцієнта теплопровідності твердого тіла з теплоємністю, його залежність від температури.
 4. Залежність теплоємності твердих тіл від температури. Теорія Дебая.
 5. Які методи вимірювання фізичних величин називаються абсолютними, а які – відносними? Які методи забезпечують вищу точність? Відповідь пояснити на прикладі методів вимірювання коефіцієнта теплопровідності твердих тіл.
 6. Чим зумовлені похибки визначення коефіцієнта теплопровідності твердих тіл за допомогою приладу Христіансена? Що ви можете запропонувати для того, щоб підвищити точність вимірювання коефіцієнта теплопровідності?
 7. Оцінити різницю температур між верхньою і нижньою поверхнями одного з латунних дисків, що використовуються в роботі.
 8. Розрахувати тепловий потік, який проходить через пластини.

Робота №12. Визначення коефіцієнта дифузії водяної пари у повітрі

1. У чому полягає явище дифузії? Що переноситься при дифузії? Яким є фізичний механізм дифузії?
2. Назвіть види дифузії та поясніть відмінності між ними (самодифузія, взаємодифузія, ефузія). Який вид дифузії вивчається в даній роботі?
3. Напишіть закон Фіка у векторному вигляді і поясніть фізичний зміст коефіцієнта дифузії.
4. Напишіть формулу для коефіцієнта дифузії ідеального газу. Як він залежить від тиску та температури?
5. Що таке конвекція? Як конвекційний потік впливає на дифузійний потік? Збільшує чи зменшує його?
6. Що таке парціальний тиск? Як можна визначити тиск суміші газів?
7. Що таке абсолютна та відносна вологість повітря? Як можна виміряти ці величини?
8. У чому полягає метод визначення коефіцієнта дифузії водяної пари у повітрі за швидкістю випаровування рідини з капіляра?
9. Виведіть розрахункову формулу для визначення коефіцієнта дифузії за умови відсутності конвекційного потоку.
10. Основні джерела похибок даного методу вимірювань.

Робота № 13. Визначення вологості повітря.

1. Що таке абсолютна і відносна вологість повітря. В яких одиницях вимірюються ці величини?
2. Експериментальне визначення абсолютної та відносної вологості. Принцип дії психрометра. Чому температура вологого термометра залежить від вологості повітря?
3. Насичена пара. Залежність тиску (густини) насиченої пари від температури. Що відбуватиметься з насиченою парою при її ізотермічному стисненні?
4. Як вологість повітря у замкненому об'ємі залежить від температури?
5. Що таке точка роси? Як її можна визначити експериментально? Від чого вона залежить?
6. Пояснити, як відбувається процес кипіння рідини. Як температура кипіння залежить від зовнішнього тиску?

Робота №14. Визначення температурного коефіцієнта об'ємного розширення рідини.

1. Як об'єм рідини залежить від температури? Фізичний зміст температурного коефіцієнта об'ємного розширення.
2. Якою є фізичний механізм теплового розширення рідин?
3. Чи для всіх речовин зі збільшенням температури об'єм буде збільшуватись? Навести приклади.
4. Яким чином коефіцієнт об'ємного розширення визначається у роботі?
5. Які основні джерела похибок при використанні методу Дюлонга і Пті?
6. Як забезпечується незмінність температур рідин в обох частинах установки?
7. Чи повинні U-подібні трубки містити однакову кількість досліджуваної рідини? Обґрунтувати відповідь.
8. Чому дорівнює коефіцієнт об'ємного розширення повітря? Пояснити, чому він значно більший за коефіцієнт об'ємного розширення рідини.

Робота №15. Теплове розширення твердого тіла.

1. Відмінність твердих тіл від рідин і газів. Кристалічні й аморфні тверді тіла.
2. Типи кристалів. Види кристалічних ґраток.
3. Закон Гука. Модуль пружності (Юнга), його фізичний зміст.
4. Залежність потенціальної енергії взаємодії двох атомів у кристалі від відстані між ними. Потенціальна енергія гармонічного та ангармонічного осциляторів.
5. Чим зумовлене теплове розширення твердих тіл? Чи можливе стискання твердого тіла при нагріванні?
6. Залежність відносного видовження ланцюжка атомів від температури.
7. Дати означення коефіцієнта лінійного теплового розширення. Яким чином у роботі визначається коефіцієнт лінійного розширення міді?
8. Вивести формулу для розрахунку лінійного коефіцієнта теплового розширення, яка використовується в даній роботі.
9. Пружні теплові коливання в кристалах. Частоти таких коливань. Фонони в кристалах.

Робота №16. Визначення зміни ентропії при нагріванні та плавленні олова.

1. Фази речовини. Фазова діаграма. Потрійна та критична точки.
2. Фазова рівновага. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса.
3. Що таке фазовий перехід першого роду?
4. Що таке питома теплоємність тіла та питома теплота плавлення?
5. Що таке ентропія? У чому полягає статистична інтерпретація ентропії, яку дав Больцман?
6. Які процеси називаються рівноважними, а які нерівноважними?

Робота №17. Одержання і вимірювання високого вакууму (Демонстраційна робота)

1. Що таке вакуум? Де його застосовують? Який критерій оцінки вакууму?
2. Фізичні явища в розріджених газах. Теплопередача, дифузія та тертя при досить малих тисках.
3. Кінематичні характеристики молекулярного руху. Поперечний розріз. Середня довжина вільного пробігу.
4. Який зв'язок між характером світіння та тиском? Як оцінюють ступінь вакууму за допомогою газового розряду? Коронний, тліючий розряд.
5. Будова і принцип дії дифузійного та форвакуумного насосів.
6. Будова та принцип дії вакуумних манометрів.

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
-----------------------------	---------------

Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59
Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59

8. Структура навчальної дисципліни. Тематичний план лабораторних занять.

В « Практикумі з Молекулярної фізики» в наявності 17 робіт (20 установок):

- Лабораторна робота №1. **Визначення теплоємності металів методом нагрівання та охолодження** (2 установки).
- Лабораторна робота №2. **Визначення теплоємності рідин** (1 установка).
- Лабораторна робота №3. **Визначення C_p/C_v методом Клермана-Дезорма** (2 установки).
- Лабораторна робота №4. **Визначення C_p/C_v резонансним методом** (1 установка).
- Лабораторна робота №5. **Спостереження броунівського руху та визначення числа Авогадро** (1 установка).
- Лабораторна робота №6. **Визначення коефіцієнту поверхневого натягу рідин** (1 установка).
- Лабораторна робота №7. **Визначення коефіцієнта внутрішнього тертя рідини методом Стокса** (1 установка).
- Лабораторна робота №8. **Визначення коефіцієнта внутрішнього тертя рідини капілярним віскозиметром** (1 установка).
- Лабораторна робота №9. **Визначення коефіцієнта в'язкості газу** (2 установки).
- Лабораторна робота №10. **Визначення коефіцієнта теплопровідності повітря** (1 установка).
- Лабораторна робота №11. **Визначення коефіцієнта теплопровідності твердих тіл** (1 установка).
- Лабораторна робота №12. **Визначення коефіцієнта дифузії водяної пари у повітрі** (1 установка).
- Лабораторна робота №13. **Визначення вологості повітря** (1 установка).
- Лабораторна робота №14. **Визначення коефіцієнта об'ємного розширення рідин** (1 установка).
- Лабораторна робота №15. **Теплове розширення твердого тіла** (1 установка).
- Лабораторна робота №16. **Визначення зміни ентропії при нагріванні та плавленні олова.** (1 установка).
- Лабораторна робота №17. **Одержання і вимірювання високого вакууму** (1 демонстраційна установка).

№ заняття	Порядковий номер лабораторної роботи	Кількість годин

		Лабораторні роботи	Самостійна робота
1.	Вступне заняття. Проведення інструктажу з техніки безпеки (про це робиться відповідний запис у лабораторному журналі). Правила внутрішнього розпорядку, встановленого в лабораторії «Практикум з молекулярної фізики». Ознайомлення з розміщенням лабораторних робіт та робочих місць. Вимоги до виконання розкладу; виконання, оформлення та захисту лабораторних робіт.	4	
2.	Лабораторна робота №1.	3	3
3.	Лабораторна робота №2	3	3
4.	Лабораторна робота №3.	3	3
5.	Захист робіт, що виконані.	3	4
6.	Лабораторна робота №4.	3	3
7.	Лабораторна робота №5.	3	3
8.	Лабораторна робота №6.	3	3
9.	Захист робіт, що виконані.	3	4
10.	Лабораторна робота №7.	3	3
11.	Лабораторна робота №8.	3	3
12.	Лабораторна робота №9.	3	3
13.	Лабораторна робота №10.	3	3
14.	Захист робіт, що виконані.	4	4
	ВСЬОГО	44	45

Загальний обсяг 90 год.³, в тому числі (вибрати необхідне):

Лабораторні заняття - 44 год.

Консультації - 1 год.

Самостійна робота - 45 год.

9. Рекомендовані джерела⁴:

Основна

1. О. А. Єщенко, В. М. Кравченко, Н. В. Башмакова, В. Ю. Кудря, М. М. Лазаренко, А.В. Тугай, Т. Ю. Ніколаєнко, Н.І. Бобир “Молекулярна фізика. Лабораторний практикум, Київ, Електронний друк, 2020, 156 с.

2. Булавін Л.А., Гаврюшенко Д.А., Сисоєв В.М., Молекулярна фізика, Київ, “Знання”, 2006 рік, 540 с.

3. Ю.І. Шиманський, О.Т. Шиманська, “Молекулярна фізика”, Видавничий дім “Києво-Могилянська академія”, Київ, 2007, 462 с.

4. Погорелов В.С. «Молекулярна фізика», Електронний конспект лекцій на сайті кафедри експериментальної фізики.

<http://exp.phys.univ.kiev.ua/ua/Study/Lib/index.html>

5. Савельев Д.В., Курс общей физики (том II: Термодинамика и молекулярная физика). М.; Наука, 1990.

6. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Т.II. Термодинамика и молекулярная физика.- М.: Наука,1990.

Додаткова

1.Робоча програма з дисципліни «Практикум з молекулярної фізики»

http://exp.phys.univ.kiev.ua/ua/Curricula/OPP_Phys_1/Zagal_disz/OK24_PraktMolPhys_Phys.pdf