

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет

(назва факультету)

Кафедра загальної фізики



«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Заступник декана
з навчальної роботи
Момот О.В.

« 03 » травня 2025 року

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ¹

Молекулярна фізика та термодинаміка

(повна назва навчальної дисципліни)

для студентів

галузь знань Е Природничі науки, математика та статистика
(шифр і назва)

спеціальність Е5 Фізика та астрономія
(шифр і назва спеціальності)

освітній рівень бакалавр
(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)

освітня програма Оптика
(назва освітньої програми)

вид дисципліни обов'язкова

Форма навчання денна

Навчальний рік 2025/2026

Семестр 2

Кількість кредитів ECTS 6

Мова викладання, навчання
та оцінювання українська

Форма заключного контролю іспит

Викладачі: професор Боровий Микола Олександрович

(Науково-педагогічні працівники, які забезпечують викладання даної дисципліни у відповідному навчальному році)

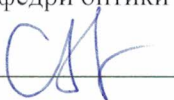
Пролонговано: на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» ____ 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

на 20__/20__ н.р. _____ (_____) «__» ____ 20__ р.
(підпис, ПІБ, дата)

КИЇВ – 2025

Розробники²: Боровий Микола Олександрович, доктор фіз.-мат. наук, професор,
професор кафедри загальної фізики
(вказати авторів: ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада, кафедра)

ЗАТВЕРДЖЕНО
Зав. кафедри оптики

 (Кондратенко С.В.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

Протокол № 8 від «19» травня 2025 р.

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету

Протокол №10 від «23» травня 2025 року

Голова науково-методичної комісії  (Оліх О.Я.)
(підпис) (прізвище та ініціали)

² Розробляється лектором. Робоча програма навчальної дисципліни розглядається на засіданні кафедри (циклової комісії – для коледжів), науково-методичної комісії факультету/інституту (раді навчального закладу - коледжу), підписується завідувачем кафедри (головою циклової комісії), головою науково-методичної комісії факультету/інституту (головою ради) і затверджується заступником декана/директора інституту з навчальної роботи (заступником директора коледжу).

ВСТУП

1. Мета дисципліни – підтримання та засвоєння базових знань з основ термодинаміки та молекулярно-кінетичної теорії речовини, а також навичок до застосування цих знань в галузі експериментальних та теоретичних досліджень теплофізичних властивостей речовини в різних агрегатних станах.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

1. Знати основні поняття шкільного курсу «Фізика», університетського курсу «Механіка», «Математичний аналіз» (перший семестр), «Аналітична геометрія та лінійна алгебра» (перший семестр).
2. Вміти логічно і послідовно формулювати основні положення і закони молекулярної фізики та термодинаміки; працювати з основними законами збереження механічних величин; вільно оперувати поняттями математичного аналізу і застосовувати їх до фізичних проблем.
3. Володіти елементарними навичками отримання і аналізу інформації, елементарними навичками пошуку та опрацювання спеціалізованої літератури, побудови розв'язку алгебраїчних і диференціальних рівнянь, побудови та аналізу графічних залежностей.

3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

У курсі молекулярної фізики розглядаються макроскопічні явища, у тому числі теплові, виходячи з особливостей атомно-молекулярної будови речовини, та основні закони молекулярної фізики в межах курсу загальної фізики для фізичних факультетів класичних університетів. Викладаються два основні методи дослідження макроскопічних явищ: термодинамічний і статистичний. Властивості тіл в різних агрегатних станах пояснюються, властивостями частинок, з яких вони складаються, силами, які діють між частинками. Демонструється зв'язок молекулярної фізики з хімією та біологією. Фундаментальний характер закономірностей, що представлені в даному курсі, визначає його базисне місце серед інших курсів фізики, зокрема, курсів термодинаміки і статистичної фізики, атомної фізики і частково електрики та магнетизму.

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).
3. Капілярні явища та властивості рідин (№ 5,11).
4. Теплові властивості твердого тіла (№1,19)

Результати навчання полягають в умінні застосовувати основні закони молекулярної фізики як для розв'язку задач, так і в отриманні навичок практичного використання таких законів при виконанні експериментальних лабораторних робіт з молекулярної фізики. Методи викладання: лекції, практичні заняття, консультації, іспит. Методи оцінювання: опитування в процесі лекції, колоквиум, контрольні роботи після основних розділів курсу, перевірка домашніх завдань, екзамен. Підсумкова оцінка складається з семестрових модульних оцінок (60%) та оцінки підсумкового контролю знань (40%).

4. Завдання (навчальні цілі) – оволодіння методами і принципами необхідними в майбутній практичній діяльності фахівця, відповідними вміннями і навичками.

Згідно вимог проекту Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти, дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних *компетентностей*:

інтегральної

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та оптики у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів сучасної оптики, що характеризується складністю та невизначеністю умов, здатність організовувати і проводити оптичні вимірювання, розробляти і використовувати на практиці оптичні системи і оптоелектронні комплекси.

загальних

ЗК1. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу.

ЗК2. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.

ЗК3. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.

ЗК4. Здатність бути критичним і самокритичним.

ЗК12. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.

ЗК13. Здатність спілкуватися іноземною мовою.

фахових

ФК1. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії.

ФК2. Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів.

ФК3. Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів.

ФК5. Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем.

ФК7. Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту.

ФК9. Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації

ФК10. Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей.

ФК13. Орієнтація на найвищі наукові стандарти – обізнаність щодо фундаментальних відкриттів та теорій, які суттєво вплинули на розвиток фізики, астрономії та інших природничих наук.

ФК15. Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної оптики.

та програмних результатів навчання:

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 та/або астрономії.

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 та астрономії: 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 відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

ПРН11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.

ПРН17. Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду.

ПРН18. Володіти державною та іноземною мовами на рівні, достатньому для усного і письмового професійного спілкування та презентації результатів власних досліджень.

ПРН23. Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії.

ПРН25. Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітніх траєкторій та професійного розвитку

Результати навчання за дисципліною: (описуються з детальною достовірністю для розробки заходів оцінювання)

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація ^{3*} ; 4. автономність та відповідальність ^{4*}) (* заповнюється за необхідністю, наприклад для практик, лабораторних курсів тощо.)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1.1	Знати математичне формулювання та фізичний зміст основних принципів та законів молекулярної фізики. Знати основні фізичні експерименти, на яких базуються закони молекулярної фізики. Знати одиниці вимірювання основних фізичних величин, що характеризують явища молекулярної фізики, у Системі інтернаціональній (СИ).	Лекції, самостійна робота, практичні заняття, лабораторні роботи	Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквіум, екзамен.	15
1.2	Знати два методи описування і дослідження процесів, які відбуваються в макроскопічних тілах: статистичний і термодинамічний.	Лекції, самостійна робота, практичні заняття, лабораторні роботи	Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквіум, екзамен.	10
1.3	Розуміти зв'язок молекулярної фізики та термодинаміки з іншими науками хімічного та біологічного напрямку.	Лекції, самостійна робота, практичні заняття, лабораторні роботи	Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквіум, екзамен.	10
2.1	Вміти логічно і послідовно формулювати основні положення і закони молекулярної фізики та термодинаміки. Розрахувати теплофізичні властивості речовини три наявності інформації про термічне та калоричне рівняння стану.	Лекції, самостійна робота, практичні заняття	Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквіум, екзамен.	15

2.2	Вміти пов'язувати макроскопічні характеристики речовини з особливостями її молекулярної структури. Застосовувати методи молекулярної фізики та термодинаміки у інших галузях науки.	<i>Лекції, самостійна робота, практичні заняття, лабораторні роботи</i>	<i>Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквиум, екзамен.</i>	20
2.3	Вміти самостійно працювати з відповідною літературою по молекулярній фізиці та основах термодинаміки. Самостійно приймати рішення стосовно свого професійного розвитку.	<i>Самостійна робота, практичні заняття</i>	<i>Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквиум, екзамен.</i>	10
2.4	Вміти розв'язувати основні типи задач з молекулярної фізики; створювати фізичні моделі макроскопічних явищ на основі атомно-молекулярної будови речовини.	<i>Самостійна робота, практичні заняття</i>	<i>Контрольні роботи, перевірка домашніх завдань, опитування під час практичних занять, колоквиум, екзамен</i>	20

5. Співвідношення результатів навчання дисципліни із програмними результатами навчання (необов'язково для вибіркових дисциплін)

Результати навчання дисципліни	1.1	1.2	1.3	2.1	2.2	2.3	2.4
Програмні результати навчання							
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 та/або астрономії.	+	+	+				
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 та астрономії: 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 відшуковувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.						+	

ПРН11. Вміти упорядковувати, тлумачити та узагальнювати одержані наукові та практичні результати, робити висновки.			+			+	
ПРН17. Знати і розуміти роль і місце фізики, астрономії та інших природничих наук у загальній системі знань про природу та суспільство, у розвитку техніки й технологій та у формуванні сучасного наукового світогляду.	+		+	+			
ПРН18. Володіти державною та іноземною мовами на рівні, достатньому для усного і письмового професійного спілкування та презентації результатів власних досліджень.				+		+	
ПРН23. Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії.	+		+	+	+		
ПРН25. Мати навички самостійного прийняття рішень стосовно своїх освітніх траєкторій та професійного розвитку.			+			+	

6. Схема формування оцінки.

6.1 Форми оцінювання студентів:

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою. Вона складається з 3 модулів. Результати навчальної діяльності студентів оцінюється за 100-бальною шкалою.

Форми поточного контролю: оцінювання виконання домашніх та самостійних завдань, контрольних робіт, захист лабораторних робіт. При виставленні балів за модульний контроль враховуються:

- уміння та навички розв'язування фізичних задач за кожною темою;
- ступінь активності студента під час розв'язку задач; якість виконання домашніх завдань;
- якість самостійної роботи студента при виконанні відповідних завдань для самостійної роботи та розробці проблемних тем.
-

Обов'язковим є виконання та захист **8** лабораторних робіт.

Оцінювання знань провадиться за такою схемою:

6.2 Організація оцінювання:

Поточний –

Перший змістовний модуль

– Виконання домашніх завдань до практичних занять, робота на них, контрольна робота на практичних заняття, захист лабораторних робіт – 20 балів;

Другий змістовний модуль

– Участь у колоквіумах, захист лабораторних робіт – 20 балів;

Третій змістовний модуль

– Виконання домашніх завдань до практичних занять, робота на них, захист лабораторних робіт. Підсумкова контрольна робота – 20 балів.

Підсумковий контроль (іспит) 40 балів.

У випадку відсутності студента з поважних причин відпрацювання та перездачі МКР здійснюються у відповідності до «Положення про порядок оцінювання знань студентів при кредитно-модульній системі організації навчального процесу» від 1 жовтня 2010 року.

Підсумкове оцінювання у формі екзамену⁵: (обов'язкове проведення екзаменаційного оцінювання в письмовій формі)

	ЗМ1	ЗМ2	ЗМ3	екзамен	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	12	12	12	24	60
Максимум	20	20	20	40	100

у випадку комплексного екзамену слід вказати питому вагу складових

Студент не допускається до екзамену, якщо під час семестру набрав менше 36 балів.⁶

(слід чітко прописати умови, які висуваються викладачами даної дисципліни).

Оцінка за іспит не може бути меншою **24 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

При цьому, кількість балів:

- **1-34** відповідає оцінці «незадовільно» з обов'язковим повторним вивченням дисципліни;
- **35-59** відповідає оцінці «незадовільно» з можливістю повторного складання;
- **60-64** відповідає оцінці «задовільно» («достатньо»);
- **65-74** відповідає оцінці «задовільно»;
- **75 - 84** відповідає оцінці «добре»;
- **85 - 89** відповідає оцінці «добре» («дуже добре»);
- **90 - 100** відповідає оцінці «відмінно».

6.3 Шкала відповідності оцінок

За 100 – бальною шкалою	За національною шкалою	
90 – 100	5	відмінно
85 – 89	4	добре
75 – 84		
65 – 74	3	задовільно
60 – 64		
35 – 59	2	незадовільно
1 – 34		

⁵ Семестрову кількість балів формують бали, отримані студентом у процесі теоретичного засвоєння матеріалу з усіх розділів дисципліни, семінарських занять, виконання практичних, лабораторних, індивідуальних, підсумкових контрольних робіт, творчих робіт впродовж семестру, передбачених робочою навчальною програмою (**100 балів** - для залікових дисциплін, у випадку, якщо дисципліна завершується екзаменом, то розподіл здійснюється за таким алгоритмом: **60 балів (60%) – семестровий контроль і 40 балів (40%) – екзамен**).

⁶ У випадку, коли дисципліна завершується екзаменом не менше – **20 балів**, а рекомендований мінімум **не менше 36 балів**, оскільки якщо студент на екзамені набрав менше **24 балів** (а це 60% від 40 балів, відведених на екзамен), то вони **не додаються** до семестрової оцінки незалежно від кількості балів, отриманих під час семестру, а в екзаменаційній відомості у графі «результуюча оцінка» переноситься лише кількість балів, отриманих під час семестру.

7. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН ЛЕКЦІЙ І ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

№ лекції	Назва лекції	Кількість годин			
		лекції	практичні	самост. робота	лаб
Змістовий модуль 1					
1.	Лекція 1. Основні положення термодинаміки. Перший закон термодинаміки. Вводяться визначення термодинамічної системи та термодинамічних величин. Дано визначення основних термодинамічних функцій стану – внутрішньої енергії. Колові процеси. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань.	2	2	2,5	
2.	Лекція 2. Другий закон термодинаміки. Цикл Карно. Дано визначення ентропії. Загальне рівняння адіабати. Прямий та зворотний цикл Карно. Коефіцієнт корисної дії Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	4		2,5	
3.	Лекція 3. Термодинамічні потенціали. Означення вільної енергії, ентальпії, термодинамічного потенціалу Гіббса та обговорення їх фізичного змісту. Співвідношення Максвелла та їх застосування. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2.Згідно із загальним переліком завдань	2	2	5	
4.	Лекція 4. Застосування законів термодинаміки. Абсолютна температура. Застосування законів термодинаміки до опису колових процесів. Введення абсолютної температури. Термодинамічні цикли. Теплові машини – 2 год. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	4	2	5	

5.	Лекція 5. Умови термодинамічної рівноваги. Третій закон термодинаміки. Застосування законів термодинаміки до дослідження рівноважних станів системи. Обговорення умов термодинамічної рівноваги. Теорема Нернста. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	2	5	
6.	Лекція 6. Основи молекулярно-кінетичної теорії. Розподіли Максвелла та Больцмана. Основні властивості молекул. Число зіткнень молекул зі стінкою. Основне рівняння молекулярно-кінетичної теорії. Молекулярно-кінетичне трактування абсолютної температури. Виведення розподілів Максвелла та Больцмана. Застосування статистичних розподілів у молекулярній фізиці Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	4	2	5	
7.	Лекція 7. Розподіл Гіббса. Застосування розподілу Гіббса для обчислення флуктуацій. Виведення розподілу Максвелла. Застосування розподілу для обчислення флуктуацій. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	4	2	5	
Оцінка за семінарські заняття					
Оцінка за лабораторні роботи					
Змістовий модуль 2					
8.	Лекція 8. Молекулярно-кінетичний зміст внутрішньої енергії. Теплоємність. Теплоємність ідеального газу Молекулярно-кінетичне трактування внутрішньої енергії. Теорема про рівнорозподіл внутрішньої енергії ідеального газу по ступенях вільності та границі її застосування. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	3	2	5	

9.	Лекція 9. Молекулярно-кінетичний зміст ентропії. Флуктуації. Броунівський рух. Формула Больцмана та умови її застосування. Флуктуації термодинамічних величин та їх прояв у броунівському русі. Фрактальні властивості траєкторії броунівської частинки. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	2	5	
10.	Лекція 10. Ентропія полімерного ланцюга. Закон Гука. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2		5	
11.	Лекція 11. Реальні гази та їх скраплення. Рівняння Ван-дер-Ваальса Рівняння стану реальних газів. Віріальне рівняння стану. Віріальні коефіцієнти та їх зв'язок з міжмолекулярним потенціалом. Аналіз рівняння Ван-дер-Ваальса. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	2	5	
12.	Лекція 12. Критичні явища. Фізика фазових переходів. Молекулярна фізика рідин. Критична точка в теорії Ван-дер-Ваальса. Закон відповідних станів. флуктуації в околі критичної точки. Критична опалесценція. Критичні індекси. Фазові переходи першого роду. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Метастабільні стани. Кінетика фазових перетворень. Неперервні фазові переходи. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	2	5	
Колоквіум					
Змістовий модуль 3					
13.	Лекція 13. Поверхневий натяг. Явища змочування. Рівняння Юнга-Лапласа. Капілярність. Поверхнево-активні речовини. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	2	5	

14.	Лекція 14. Молекулярна фізика твердих тіл. Кристалічні системи. Термодинамічні властивості кристалів. Закон Дюлонга-Пті. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2		5	
15.	Лекція 15. Нерівноважні процеси. Основи термодинаміки нерівноважних процесів. Термодинамічні потоки і сили. Стаціонарні стани. Виробництво ентропії. Зв'язок між термодинамічними потоками однакової тензорної розмірності. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	2	5	
16.	Лекція 16. Явища переносу в газах. Середня довжина вільного пробігу. Молекулярно-кінетичний зміст коефіцієнтів дифузії, теплопровідності і в'язкості. Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань	2	4	5	
17.	Лекція 17. Властивості рідкого гелію. Молекулярна фізика полімерів. Післямова. Надплинність рідкого гелію. Фазові переходи в рідкому гелію. Фрактальні властивості полімерів Завдання для самостійної роботи 1. Вивчення матеріалу лекції. 2. Згідно із загальним переліком завдань.	3	2		
Фінальна контрольна робота					
	ВСЬОГО	44	30	75	

Загальний обсяг 150 год. в тому числі:

Лекцій – **44 год.**

Семінари – **0 год.**

Практичні заняття – **30 год.**

Лабораторні заняття – **0 год.**

Тренінги – **0 год.**

Консультації - **1 год.**

Самостійна робота – **75 год.**

Контрольні запитання та завдання. Змістовий модуль 1

- 1) Властивості ідеального газу. Рівняння Менделєєва-Клапейрона. Ізопроееси.
- 2) Термодинамічні системи та їх стани. Термодинамічні процеси. Адіабатний процес. Рівняння адіабати. Політропний процес. Рівняння політропи.
- 3) Робота в термодинамічних процесах. Кількість теплоти. Внутрішня енергія термодинамічної системи. Перший закон термодинаміки.
- 4) Другий закон термодинаміки. Ентропія. Зміна ентропії при ізотермічному та ізохоричному процесах в ідеальному газі. Формула Больцмана
- 5) Властивості ідеального газу. Рівняння Менделєєва-Клапейрона. Ізопроееси.
- 6) Термодинамічні системи та їх стани. Термодинамічні процеси. Адіабатний процес. Рівняння адіабати. Політропний процес. Рівняння політропи.
- 7) Робота в термодинамічних процесах. Кількість теплоти. Внутрішня енергія термодинамічної системи. Перший закон термодинаміки.
- 8) Другий закон термодинаміки. Ентропія. Зміна ентропії при ізотермічному та ізохоричному процесах в ідеальному газі. Формула Больцмана.
- 9) Колові процеси. Цикл Карно. Теплові машини. Коефіцієнт корисної дії теплових машин. Холодильники, теплові насоси та їх ефективність. Перша теорема Карно. Термодинамічна шкала температур.
- 10) Друга теорема Карно. Нерівність Клаузіуса. Зміна ентропії в ізольованих термодинамічних системах. Вільна енергія термодинамічної системи.
- 11) Термодинамічні потенціали. Незалежні параметри стану термодинамічної системи та їх кількість. Співвідношення Максвелла.
- 12) Критерії стійкості станів термодинамічних систем. Напрямок необоротних термодинамічних процесів в ізольованих термодинамічних системах. Теорема Нернста (третій принцип термодинаміки).

Завдання для самостійної роботи. Змістовий модуль 1

- 1) Отримати рівняння політропічного процесу для ідеального газу. Рівняння адіабати для ідеального газу.
- 2) Перевірка теореми Карно для ідеального газу.
- 3) Виконати перетворення Лежандра від вільної енергії Гельмгольца до інших термодинамічних потенціалів.

Контрольні запитання та завдання. Змістовий модуль 2

- 1) Розподіл Гіббса. Обчислення середніх значень фізичних величин. Статистична сума. Виведення розподілу Максвелла із використанням розподілу Гіббса.
- 2) Виведення розподілу Больцмана із використанням розподілу Гіббса. Теорема про рівнорозподіл енергій по ступенях вільності молекул.
- 3) Основні експериментальні дані про теплоємності розрідженого газу. Межі застосування про рівнорозподіл енергій по ступенях вільності. Залежність теплоємності від температури.
- 4) Флуктуації. Флуктуації в ідеальному газі. Межі чутливості вимірювальних приладів.
- 5) Явища переносу в газах. Кінематичні параметри молекулярного руху. Довжина вільного пробігу. Поперечний переріз молекулярних зіткнень. Моделі твердих сфер та Сезерленда. Теплопровідність, внутрішнє тертя та дифузія в газах.
- 6) Розподіл молекул ідеального газу за швидкостями та кінетичними енергіями. Розподіл Максвелла. Дослід Штерна. Розріджений газ в зовнішньому потенціальному полі. Розподіл Больцмана. Абсолютна температура як параметр розподілу Максвелла-Больцмана. Досліди Перрена по визначенню числа Авогадро.
- 7) Розподіл Гіббса. Обчислення середніх значень фізичних величин. Статистична сума. Виведення розподілу Максвелла із використанням розподілу Гіббса.
- 8) Виведення розподілу Больцмана із використанням розподілу Гіббса. Теорема про

рівнорозподіл енергій по ступенях вільності молекул.

9) Розподіл молекул ідеального газу за швидкостями та кінетичними енергіями. Розподіл Максвелла. Дослід Штерна.

10) Розріджений газ в зовнішньому потенціальному полі. Розподіл Больцмана. Абсолютна температура як параметр розподілу Максвелла-Больцмана. Досліди Перрена по визначенню числа Авогадро.

11) Основні експериментальні дані про теплоємності розрідженого газу. Межі застосування про рівнорозподіл енергій по ступенях вільності. Залежність теплоємності від температури.

Завдання для самостійної роботи. Змістовий модуль 2

- 1) Вивести теорему Реша.
- 2) Обчислити середню швидкість молекул газу. Обчислити середню довжину хвилі де-Бройля. Знайти середньоквадратичну флуктуацію швидкості в газі.
- 3) Використовуючи основні положення молекулярно-кінетичної теорії, вивести закон Стефана-Больцмана.
- 4) Обчислити середньоквадратичну флуктуацію внутрішньої енергії для замкненої системи в контакт з термостатом.

Контрольні запитання та завдання. Змістовий модуль 3

- 1) Принцип локальної рівноваги. Пересічні явища переносу. Термодифузія. Елементи термодинаміки незворотних процесів.
- 2) Реальні гази. Рівняння стану реальних газів та їх аналіз. Критичний стан. Здатність реального газу до скраплення. Рівняння Камерлінг-Оннеса.
- 3) Внутрішня енергія Ван-дер-Ваальсового газу. Явище Джоуля-Томпсона. Зрідження газів. Сучасні методи одержання низьких температур. Розповсюдження звуку у газах. Моделі потенціалів сил міжмолекулярної взаємодії.
- 4) Поділ кристалів за типами міжчастинкової взаємодії. Гармонічна модель кристалу. Теорії теплоємності кристалів (Дюлонг-Пті, Ейнштейн, Дебай).
- 5) Кристалічний та аморфний стан речовини. Елементи симетрії кристалів. Решітка Браве. Кристалічні класи та сингонії.
- 6) Анггармонічна модель кристалу. Точкові дефекти. Дифузія в кристалах. Дислокації. Теплопровідність твердих тіл. Поняття про будову та властивості полімерів. Розтягнення полімерного ланцюга.
- 7) Рідкий стан речовини. Сучасні уявлення про будову рідин. Поверхневий натяг в рідинах. Термодинаміка поверхневого натягу. Поверхнево-активні речовини.
- 8) Явища на контакт рідини з різними тілами. Адсорбція. Змочувальність. Тиск під вигнутою поверхнею рідини. Формула Лапласа. Капілярність. Рідкі кристали.
- 9) Фазові перетворення. Фазові перетворення першого роду в індивідуальних речовинах. Умови фазової рівноваги. Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Діаграми станів чистих речовин.
- 10) Діаграма станів та фізичні властивості ізотопів гелія.
- 11) Суміші та розчини. Концентрація розчинів. Механізм розчинення. Пружність насиченої пари над ідеальним розчином. Закони Рауля та Генрі. Температура кипіння розчинів. Розчинність речовин. Залежності розчинності від температури та тиску. Осмотичні явища.
- 12) Діаграми випаровування, кристалізації, возгонки та змішування двохкомпонентних систем. Правило фаз Гіббса. Діаграми станів бінарних сумішей. Азеотропні суміші. Евтектичні суміші.

Завдання для самостійної роботи. Змістовий модуль 3

- 1) Ефект Джоуля-Томпсона в реальних газах.
- 2) Вивести закон відповідних станів для рівняння Дітерічі.
- 3) Обчислити критичні індекси в теорії Ван-дер-Ваальса.

- 4) Отримати рівняння Юнга-Лапласа з термодинамічних міркувань.
- 5) Отримати рівняння адіабати для твердого тіла.
- 6) Дефекти кристалічних ґраток. Точкові дефекти. дислокації.
- 7) Рідкі кристали.
- 8) Рівняння балансу ентропії.
- 9) Критичні явища змішування в бінарних розчинах. Подвійна критична точка.
- 10) Поняття про фрактали. Фрактальна структура полімерів.

Проблемні теми для обговорення

1. Сучасний стан проблем теплових насосів.
2. Проблема універсальності критичних явищ.
3. Зв'язок термодинамічної ентропії з інформацією.

Завдання модульної контрольної роботи

1. В об'ємі $V = 1 \text{ м}^3$ знаходилось 2 кг йоду I_2 при температурі $T = 1000 \text{ К}$. Ступінь термічної дисоціації α молекул йоду дорівнює 0,28 . Знайти тиск парів йоду в посудині при даній температурі. Пари йоду вважати ідеальним газом. Примітка: ступеню дисоціації α називають відношення числа його молекул, які розпалися на атоми N_d , до загального числа молекул N : $\alpha = N_d/N$.
2. Досліди показали, що існує певна речовина, в якій внутрішня енергія залежить лише від температури, а термічне рівняння стану має вигляд $p = f(T)g(V)$, де $f(T)$ та $g(V)$ – додатні функції температури та об'єму, причому $df/dT > 0$ Дослідити поведінку такої речовини у випадку ізотермічного контакту з пустотою.
3. На яку висоту над рівнем моря необхідно піднятися, щоб атмосферний тиск змінився на 1 мм ртутного стовпчика. Температуру вважати сталою і рівною 310К.

8. РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА⁷:

Основна

1. Л.А. Булавін, Д.А. Гаврюшенко, В.М. Сисоєв. Молекулярна фізика, Київ: «Знання», 2007.
2. 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.
3. I. Prigogine. Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures. Wiley & Sons, Incorporated, 2014
4. M. Rakowszczyk Elegy for Thermodynamics: A Novel Paperback. IndPublished, 2021.
5. K. Sharp. Entropy and the Tao of Counting: A Brief Introduction to Statistical Mechanics and the Second Law of Thermodynamics. Springer, 2019.
6. М.М. Клим, П.М. Якібчук, Молекулярна фізика, Львів, 2003 р.
7. Л.А. Булавін, В.М. Сисоєв. Фізика фазових переходів. Київ: ВПЦ Київський університет, 2010.
8. Ю.І. Шиманський. Термодинамічна теорія критичних явищ рідина-пара. Київ, видавництво КУ, 1998.
9. Arie Ben-Naim, Diego Casadei. Modern Thermodynamics, WSPC, 2016.
10. Daniel V. Schroeder. An Introduction to Thermal Physics, Oxford University Press, 2021.
11. A.N. Matveev. Molecular Physics. Imported Publication, 1986.
12. I.E. Irodov Problems in General Physics. Mir publisher, 2011.

Додаткова

1. E. Fermi. Thermodynamics. Dead Authors Society, 2020
2. C. Kleinstreuer. Essentials of Engineering Thermodynamics, McGraw Hill, 2021.
3. Л.А. Булавін. Критичні властивості рідин, Київ, ТОВ, «АСМІ», 2002 р.
4. I.P. Bazarov. Thermodynamics. A Pergamon press book, 1966.
5. M. V. Volkenstein, Molecular Biophysics. Academic Press, 2012.
6. І.І.Адаменко, Д.А.Гаврюшенко, В.М.Сисоев. Статистична термодинаміка рідин. Ч. I. Основні положення статистичної термодинаміки рідких систем. Київ РВЦ «Київський університет»б 1998.
7. Ю.І. Шиманський. Термодинамічна теорія: критичних явищ рідина-пара. Київ. РВЦ «Київський університет», 1998.
1. Wolfram Demonstrations Project FLUID MECHANICS:
<https://demonstrations.wolfram.com/topic.html?topic=Fluid+Mechanics&limit=20>
2. Wolfram Demonstrations Project THERMODYNAMICS:
<https://demonstrations.wolfram.com/topic.html?topic=Thermodynamics&limit=20>
3. Wolfram Demonstrations Project: CHEMICAL KINETICS:
<https://demonstrations.wolfram.com/topic.html?topic=Chemical+Kinetics&limit=20>

⁷ В тому числі Інтернет ресурси