

фізичний факультет

Заступник декана з навчання

Заступник декана з навчальної роботи

Оксана МОМОТ

2025 року

(повна назва навчальної дисципліни)

10. Природничі науки

(шифр і назва)

спеціальність 104. Фізика та астрономія

(шифр і назва спеціальності)

освітній рівень бакалавр

(молодший бакалавр, бакалавр, магістр)

освітня програма Оптика

(назва освітньої програми)

спеціалізація _____

(за наявності)

(назва спеціалізації)

вид дисципліни обов'язкова (ОК 17)

Форма навчання

денна

Навчальний рік

2025 /2026

Семестр

6.7

Кількість кредитів ECTS

7

Мова викладання, навчання та оцінювання

українська

Форма заключного контроля

ІСПИТ

Викладачі: Момот Андрій Іванович

(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)

Розробник: Момот Андрій Іванович, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри фізики функціональних матеріалів

ЗАТВЕРДЖЕНО

Зав. кафедри фізики функціональних матеріалів

(підпис) 

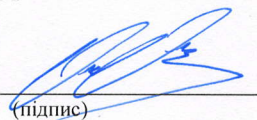
(Микола КУЛШ)
(прізвище та ініціали)

Протокол № 18 від «19» червня 2025 р.

Схвалено науково - методичною комісією фізичного факультету

Протокол від «23» червня 2025 року № 11

Голова науково-методичної комісії

(підпис) 

(Олег ОЛІХ)
(прізвище та ініціали)

«23» червня 2025 року

ВСТУП

1. Мета дисципліни – формування у студентів цілісної системних знань про закономірності теплової форми руху матерії, освоєння термодинамічного та статистичного методів опису макроскопічних систем, поглиблення знань, одержаних в курсі молекулярної фізика.

2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

- Знати матеріал курсів загальна фізика (механіка, молекулярна фізика, електрика і магнетизм), основи теорії імовірностей та математичної статистики.
- Вміти застосовувати знання, математичного аналізу, диференційних рівнянь, лінійної алгебри для виконання математичних перетворень і розв'язування диференціальних рівнянь.
- Володіти навичками математичних перетворень, знаходження похідних та інтегралів, дій з векторами та матрицями.

3. Анотація навчальної дисципліни:

Дисципліна «Термодинаміка та статистична фізика» є обов'язковою компонентою освітньо-професійної програми «Оптика». В рамках курсу розглядаються: аксіоматика та застосування термодинаміки, умови рівноваги термодинамічних систем, основні положення статистичної фізики, розподіли Гіббса для класичних та квантових систем, термодинамічні властивості молекулярних газів, термодинамічні властивості речовини у зовнішніх полях та статистична теорія вироджених систем.

4. Завдання (навчальні цілі) – освоєння термодинамічного та статистичного методів опису макроскопічних систем. Вивчення законів термодинаміки і умов термодинамічної рівноваги, розподілів Гіббса для класичних та квантових систем. Отримання навиків застосовувати термодинамічні методи для вивчення властивостей макроскопічних систем та навиків використовувати статистичний підхід для дослідження атомарних і молекулярних газів, вироджених систем та термодинамічних систем у зовнішніх полях.

Згідно освітньо-професійної програми дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних *компетентностей*:

загальних:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу (ЗК1).
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях (ЗК2).
- Здатність приймати обґрунтовані рішення (ЗК5).

спеціальних:

- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії. (ФК1).
- Здатність використовувати на практиці базові знання з математики як математичного апарату фізики і астрономії при вивченні та дослідженні фізичних та астрономічних явищ і процесів. (ФК2).
- Здатність оцінювати порядок величин у різних дослідженнях, так само як точності та значимості результатів. (ФК3).
- Здатність виконувати обчислювальні експерименти, використовувати чисельні методи для розв'язування фізичних та астрономічних задач і моделювання фізичних систем (ФК5).
- Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси (ФК6).
- Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту. (ФК7)
- Здатність виконувати теоретичні та експериментальні дослідження автономно та у складі наукової групи. (ФК8)
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації (ФК9)

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

5. Результати навчання за дисципліною:

Результат навчання (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		Методи викладання і навчання	Методи оцінювання	Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни
Код	Результат навчання			
1	1.1 Знати закони термодинаміки, термодинамічні потенціали і співвідношення Максвелла. Умови фазової і термодинамічної рівноваги.	Лекції, практичні заняття, самостійна робота	Залік	10
	1.2 Знати основні положення класичної статистичної фізики. Метод Гіббса. Мікроканонічний розподіл. Канонічний та великий канонічний розподіли Гіббса. Принцип Больцмана. Розподіл Максвелла та розподіл Больцмана. Знати термодинамічні властивості речовини в електричному і магнітному полях. Термодинамічні властивості класичного неідеального газу. Рівняння Ван дер Ваальса.	Лекції, практичні заняття, самостійна робота	Залік	10
	1.3 Знати основні поняття квантової статистики, розподіли Фермі – Дірака та Бозе – Ейнштейна. Умови переходу від квантового до класичного опису Термодинамічні властивості виродженого ідеального бозе-газу і явище Бозе-конденсації. Знати термодинамічні властивості рівноважного електромагнітного випромінювання. Формулу Планка, закон Віна, закон Стефана – Больцмана.	Лекції, практичні заняття, самостійна робота	Іспит	20
	1.4 Знати термодинамічні властивості твердого тіла, наближення Дебая та Ейнштейна. Знати термодинамічні властивості електронного газу у металах. Знати статистику носіїв заряду в напівпровідниках. Магнітні властивості невиродженого одноатомного ідеального газу.	Лекції, практичні заняття, самостійна робота	Іспити	20
2	2.1 Вміти застосовувати термодинамічні методи для вивчення властивостей макроскопічних систем. Вміти застосовувати закон діючих мас та теорію фазових переходів.	Практичні заняття, самостійна робота	Виконання домашніх завдань, модульна контрольна робота	40
	2.2. Вміти досліджувати термодинамічні властивості класичного одноатомного та молекулярного ідеальних газів. Вміти отримати рівняння стану газу у вигляді віріального ряду за степенями густини.	Практичні заняття, самостійна робота	Виконання домашніх завдань, залік	40
	2.3 Вміти досліджувати методами статистичної фізики термодинамічні властивості невиродженого одноатомного і молекулярного ідеального газу.	Практичні заняття, самостійна робота	Виконання домашніх завдань,	30

	Вміти знаходити температуру бозе-конденсації, число бозечастинок на основному енергетичному рівні, енергію, теплоємність та тиск бозе-газу	робота	модульна контрольна робота	
	2.4 Вміти досліджувати методами статистичної фізики термодинамічні властивості електронного газу у металах, знаходити його теплоємність і контактну різницю потенціалів. Вміти знаходити концентрацію носіїв заряду у власному та домішковому напівпровідниках.	Практичні заняття, самостійна робота	Виконання домашніх завдань, іспит	30

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

Результати навчання дисципліни		1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4
Програмні результати навчання									
ПРН1. Знати, розуміти та вміти застосовувати 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 астрономічних явищ: аналізувати, тлумачити, пояснювати і класифікувати будову та еволюцію астрономічних об'єктів Всесвіту (планет, зір, планетних систем, галактик тощо), а також основні фізичні процеси, які відбуваються в них.		+	+	+	+				
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.						+	+	+	+
ПРН5. Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.		+	+	+	+				
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.		+	+	+	+	+	+	+	+

7. Схема формування оцінки:

7.1 Форми оцінювання студентів:

6-й семестр

- семестрове оцінювання:

1. Виконання домашніх завдань: РН 2.1-2.2 – 60 балів / 36 балів.
2. Модульна контрольна робота: РН 2.1 – 20 балів / 0 балів.

- підсумкове оцінювання у формі заліку:

Залік проводиться в письмово формі і оцінює РН 1.1-1.4 та РН 2.1-2.4. Білет містить одне теоретичні питання та дві задачі. На заліку студент може отримати максимально 20 балів.

- умови допуску до заліку: набрати не менше 48 балів за семестрове оцінювання.

7-й семестр

- семестрове оцінювання:

1. Виконання домашніх завдань: РН 2.1-2.2 – 50 балів / 30 балів.
2. Модульна контрольна робота: РН 2.3 – 10 балів / 0 балів.

- підсумкове оцінювання у формі іспиту:

Іспит проводиться в письмово формі і оцінює РН 1.1-1.4 та РН 2.1-2.4. Білет містить два теоретичні питання та дві задачі. На іспиті студент може отримати максимально 40 балів.

- умови допуску до заліку: набрати не менше 36 балів за семестрове оцінювання.

7.2 Організація оцінювання: (обов'язково зазначається порядок організації передбачених робочою навчальною програмою форм оцінювання із зазначенням орієнтовного графіку оцінювання).

На практичних заняттях студенти отримують домашні завдання, які вони повинні виконати у продовж двох тижнів і завантажити у Google Classroom. Домашні завдання, які здані невчасно оцінюються з коефіцієнтом 0,8. Модульна контрольна робота проводиться у середині семестру. Студент, який не писав модульну контрольну роботу, може отримати допуск до заліку чи іспиту за умови отримання достатньої кількості балів за виконання домашніх завдань (48 балів у 6-му семестрі та 36 балів у 7-му семестрі).

7.3 Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно / Fail	0-59

8. Структура навчальної дисципліни

**Тематичний план лекцій та практичних занять
6 семестр**

№ п/п	Номер і назва теми	Кількість годин		
		лекції	практичні	С/Р
	Змістовий модуль 1			
1.	Тема 1. Термодинамічний та статистичний методи вивчення властивостей макроскопічних властивостей речовини. Нульовий і перший закон термодинаміки.	1	2	3
2.	Тема 2. Другий закон термодинаміки для рівноважних процесів. Термодинамічне означення ентропії та абсолютної температури. Третій закон термодинаміки. Теплова теорема Нернста.	1	2	3
3.	Тема 3. Основне рівняння термодинаміки рівноважних процесів. Термодинамічні потенціали. Співвідношення Максвелла. Співвідношення Дюгема – Гіббса.	1	2	3
4.	Тема 4. Другий закон термодинаміки для нерівноважних процесів. Основні умови термодинамічної рівноваги. Термодинамічні нерівності.	1	2	3
5.	Тема 5. Додаткові умови термодинамічної рівноваги. Умови хімічної рівноваги. Закон діючих мас.	1	2	3
6.	Тема 6. Фазова рівновага. Умови фазової рівноваги в гетерогенній системі. Правило фаз Гіббса. Рівняння Клапейрона – Клаузіуса. Класифікація фазових переходів. Рівняння Еренфеста для фазових переходів другого роду.	1	2	3

7.	Тема 7. Процес Джоуля-Томсона. Температура інверсії для газу Ван дер Ваальса	1	2	3
8.	Модульна контрольна робота	0	2	2
	Змістовий модуль 2			
9.	Тема 8. Основні положення класичної статистичної фізики. Ергодична гіпотеза. Метод Гіббса. Мікроканонічний розподіл.	1	2	3
10.	Тема 9. Принцип Больцмана (статистичне визначення ентропії). Канонічний та великий канонічний розподіли Гіббса.	2	4	6
11.	Тема 10. Термодинамічні властивості класичного одноатомного та молекулярного ідеальних газів.	1	2	3
12.	Тема 10. Одночастинкові функції розподілу. Розподіл Максвелла та розподіл Больцмана.	1	2	3
13.	Тема 11. Термодинамічні властивості речовини в електричному і магнітному полях. Вектор поляризації, формула Ланжевена.	1	2	3
14.	Тема 12. Термодинамічні властивості класичного неідеального газу. Рівняння стану у вигляді віріального ряду за степенями густини. Рівняння Ван дер Ваальса.	2	2	4
	ВСЬОГО	15	30	45

**Тематичний план лекцій та практичних занять
7 семестр**

№ п/п	Номер і назва теми	Кількість годин		
		лекції	практичні	С/Р
	Змістовий модуль 1			
1.	Тема 1. Основні поняття квантової статистики. Матриця густини ймовірності мікростанів, статистичний оператор, статистична сума. Розподіли Гіббса у квантовій статистиці.	2	2	4
2.	Тема 2. Квантова статистика ідеального газу. Розподіли Фермі – Дірака та Бозе – Ейнштейна.	2	2	4
3.	Тема 3. Термодинамічні властивості невиродженого одноатомного ідеального газу. Умови переходу від квантового до класичного опису.	2	2	4
4.	Тема 4. Термодинамічні властивості невиродженого молекулярного ідеального газу з двохатомних молекул. Умови переходу від квантового до класичного опису. Теорія дисоціації двохатомних молекул.	2	2	5
5.	Тема 5. Вплив спінового стану атомних ядер двохатомної молекули. Рівноважні значення чисел молекул орто- та параводню. Системи з від'ємною абсолютною температурою.	2	2	4
6.	Тема 6. Термодинамічні властивості виродженого ідеального бозе-газу. Бозе-конденсація. Температура бозе-конденсації. Число бозечастинок на основному енергетичному рівні. Енергія, теплоємність та тиск бозе-газу.	4	2	7
7.	Тема 7. Термодинамічні властивості рівноважного електромагнітного випромінювання. Формула Планка для спектральної густини випромінювання, закон Віна, закон Стефана – Больцмана. Спектральна густина фотонів.	2	2	5
8.	Модульна контрольна робота		2	4
	Змістовий модуль 2			
9.	Тема 8. Термодинамічні властивості твердого тіла. Внесок аку-	4	2	7

	стичних та оптичних коливань в енергію коливань і коливальну теплоємність. Наближення Дебая та Ейнштейна.			
10.	Тема 9. Термодинамічні властивості електронного газу у металах. Енергія Фермі. Теплоємність. Контактна різниця потенціалів.	4	4	9
11.	Тема 10. Статистика носіїв заряду в напівпровідниках. Концентрація носіїв заряду у власному та домішковому напівпровідниках.	4	2	7
12.	Тема 11. Магнітні властивості невиродженого одноатомного ідеального газу. Адіабатичне розмагнічування як метод отримання низьких температур.	2	2	4
	ВСЬОГО	30	26	64

Загальний обсяг 210 год, в тому числі:

Лекції – **45 год**.

Практичні заняття – **56 год**.

Самостійна робота – **109 год**.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:

Основна: (Базова)

1. Федорченко А.М. Теоретична фізика. Т. 2. Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика. – К.: Вища школа, 1993.
2. Булавін Л.А., Гаврюшенко Д.А., Сисоєв В.М. Молекулярна фізика: Підручник. – К.: Знання, 2006. – 567 с.
3. Дацюк В.В., Ледней М.Ф., Пінкевич І.П., Тарнавський О.С. Термодинаміка і статистична фізика: збірник задач. – К.: Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2020. – 165 с.

Додаткова:

4. Reif F. Fundamentals of Statistical and Thermal Physics. – Waveland Press, 2009. – 651 p.
5. Pathria R.K., Beale P. D. Statistical Mechanics – Academic Press, 2021. – 768 p.