

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

Фізичний факультет

(назва факультету)

Кафедра теоретичної фізики



**РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ<sup>1</sup>**  
**ТЕРМОДИНАМІКА ТА СТАТИСТИЧНА ФІЗИКА**

(повна назва навчальної дисципліни)

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 фізичне матеріалознавство/ неметалічне матеріалознавство  
(назва освітньої програми)  
спеціалізація \_\_\_\_\_  
(за наявності) (назва спеціалізації)  
вид дисципліни обов'язкова *02 1.15*

Форма навчання	<u>денна</u>
Навчальний рік	<u>2024/2025</u>
Семестр	<u>6.7</u>
Кількість кредитів ECTS	<u>8</u>
Мова викладання, навчання та оцінювання	<u>українська</u>
Форма заключного контролю	<u>іспит</u>

Викладачі: Андрєєв В.О., Гаврюшенко Д.О.

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

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

КИЇВ – 2022

<sup>1</sup> Робоча програма навчальної дисципліни є нормативним документом вищого навчального закладу і містить виклад конкретного змісту навчальної дисципліни, послідовність, організаційні форми її вивчення та їх обсяг, визначає форми та засоби поточного і підсумкового контролю.



## ВСТУП

**1. Мета дисципліни** – курс термодинаміки та статистичної фізики покликаний поглибити знання, одержані в загальному курсі фізики, засвоїти математичний апарат термодинаміки та статистичної фізики.

### 2. Попередні вимоги до опанування або вибору навчальної дисципліни:

- Знати основні закони механіки, електрики, оптики, основи математичного аналізу, звичайні диференціальні рівняння, основи математичної фізики..
- Вміти застосовувати попередні знання з курсів математичного аналізу, математичної фізики, основ векторного та тензорного аналізу та диференціальних рівнянь для розв'язку алгебраїчних та диференціальних рівнянь.
- Вільно володіти навичками обчислення похідних, інтегралів, дій над операції з векторами. Володіти навичками розв'язку диференціальних рівнянь.

### 3. Анотація навчальної дисципліни / референс:

Нормативна дисципліна «Термодинаміка та статистична фізика» є складовою циклу професійної підготовки фахівців освітньо-кваліфікаційного рівня “бакалавр фізики” та базовою для вивчення всіх фізичних дисциплін. Програма курсу орієнтована на студентів, які вже знайомі з математичним аналізом, основами векторного та тензорного аналізу, загальним курсом механіки, електрики, оптики та квантової механіки. Результати навчання полягають в знанні фундаментальних законів термодинаміки та статистичної фізики. Також, як результат, студенти мають бути здатні розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з термодинаміки та статистичної фізики у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики і характеризується складністю та невизначеністю умов. Методи викладання: лекції, консультації, практичні заняття. Методи оцінювання: опитування в процесі практичних занять, контрольні роботи після основних розділів курсу, захист написаних рефератів, залік (6 семестр) та іспит (7 семестр). Підсумкова оцінка виставляється на основі проміжних оцінок (40%) та заліку, іспиту (60%).

**4. Завдання (навчальні цілі)** – освоєння студентами методів отримання, експериментального дослідження та теоретичного опису задач з курсу термодинаміки та статистичної фізики, зокрема, здатність студентами застосовувати знання у практичних ситуаціях для розрахунку фізичних явищ в макроскопічних системах. Також здатність вчитися й оволодівати сучасними знаннями з курсу термодинаміки та статистичної фізики, здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, в тому числі, електронних ресурсів, та здатність студентів до абстрактного мислення, аналізу та синтезу матеріалу зі всіх фізичних дисциплін.

Згідно вимог проекту Стандарту вищої освіти України (перший (бакалаврський) рівень вищої освіти (сьомий рівень НРК України), галузь знань 10 «Природничі науки», спеціальність 104 «Фізика та астрономія», ОПП "Фізичне матеріалознавство/ неметалічне матеріалознавство", дисципліна забезпечує набуття здобувачами освіти наступних *компетентностей*:

*інтегральної:*

Здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії і характеризується складністю та невизначеністю умов.

загальних:

- Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу. (ЗК1).
- Визначеність і наполегливість щодо поставлених завдань і взятих обов'язків. (ЗК9).

фахових:

- 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 використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту. (ФК7).
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації. (ФК9).
- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей. (ФК10).
- 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:

<i>Результат навчання</i> (1. знати; 2. вміти; 3. комунікація; 4. автономність та відповідальність)		<i>Методи викладання і навчання</i>	<i>Методи оцінювання</i>	<i>Відсоток у підсумковій оцінці з дисципліни</i>
Код	Результат навчання			
<b>1</b>	1.1 Закони рівноважної термодинаміки та їх наслідки.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	10
	1.2 Необхідні та достатні умови рівноваги термодинамічної системи.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	10
	1.3 Додаткові умови рівноваги термодинамічної системи (фізико-хімічні реакції, фазова рівновага).	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді реферат Модульна контрольна робота	10
	1.4 Ансамблі Гіббса та методи їх використання для дослідження систем, які описуються класичною механікою.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді реферат Модульна контрольна робота	10
	1.5 Ансамблі Гіббса та методи їх використання для дослідження систем, які описуються квантовою механікою.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді реферат Модульна контрольна робота	10
<b>2</b>	2.1 Термодинамічні властивості бозе-газу при низькій температурі	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	10
	2.2 Термодинамічні властивості рівноважного електромагнітного	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	10

	випромінювання			
	2.3 Термодинамічні властивості твердого тіла, обумовлені коливаннями ґратки.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	10
	2.2 Термодинамічні властивості твердого тіла, обумовлені електронами.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	10
	2.2 Магнітні властивості термодинамічної системи.	Лекція, практичне заняття	Задачі, усні відповіді	10

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

Результати навчання дисципліни			1	2
Програмні результати навчання				
1.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.		+	+
2.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.		+	+
3.ПРН5.	Знати основні актуальні проблеми сучасної фізики та астрономії.		+	+
4. ПРН23.	Розуміти історію та закономірності розвитку фізики та астрономії.		+	+

**7. Структура курсу**

Курс складається з 4-х змістових модулів: 2-а модулі в шостому семестрі, та 2-а – в сьомому, який включає в себе всього 30 лекцій та 30 практичних занять (по 15 лекцій і 15 практичних занять, відповідно в 6 та 7 семестрах).

**8. Схема формування оцінки:**

**8.1 Форми оцінювання студентів:** (зазначається перелік видів робіт та форм їх контролю / оцінювання із зазначенням Min. – рубіжної та Max. кількості балів чи відсотків)

**- семестрове оцінювання 4 семестр:**

1. Модульна контрольна робота РН 1.4 (10 балів).
2. Модульна контрольна робота РН 2.2 (10 балів).

3. Реферат РН 1.2,2.1 (5 балів, 5 балів, відповідно).

4. Задачі, усні відповіді (10 балів).

- підсумкове оцінювання у формі заліку<sup>1</sup>.

	ЗМ1	ЗМ2	залік	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	<u>12</u>	<u>12</u>	<u>36</u>	<u>60</u>
<b>Максимум</b>	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>60</u>	<u>100</u>

Студент не допускається до заліку, якщо під час семестру набрав менше **24 балів**.<sup>2</sup>

Оцінка за залік не може бути меншою **36 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

Отже,

1. підсумкове оцінювання у формі заліку. На заліку максимально можна отримати **60 балів**.
2. умови допуску до заліку:
  - обов'язково здати два реферати, написані власноруч з виведенням всіх формул по темі;
  - здати розв'язок не менше 30 % обов'язкових задач, що виносяться на самостійну роботу;
  - пройти письмову перевірку знань та розумінь основних означень та законів термодинаміки та статистичної фізики у формі диктанту.

- семестрове оцінювання 6 семестр:

1. Модульна контрольна робота РН 1.3 (10 балів).

2. Модульна контрольна робота РН 2.10 (10 балів).

3. Самостійна робота РН 2.3 (10 балів).

4. Задачі, усні відповіді (10 балів).

	ЗМ1	ЗМ2	іспит	Підсумкова оцінка
<i>Мінімум</i>	<u>12</u>	<u>12</u>	<u>36</u>	<u>60</u>
<b>Максимум</b>	<u>20</u>	<u>20</u>	<u>60</u>	<u>100</u>

Студент не допускається до іспиту, якщо під час семестру набрав менше **24 балів**.

Оцінка за іспит не може бути меншою **36 балів** для отримання загальної позитивної оцінки за курс.

Отже,

1. підсумкове оцінювання у формі іспиту. На іспиті максимально можна отримати **60 балів**.
2. умови допуску до іспиту:

<sup>1</sup> 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 (якщо дисципліна завершується екзаменом (заліком), то розподіл здійснюється за таким алгоритмом: **40 балів (40%) – семестровий контроль і 60 балів (60%) – екзамен (залік)**).

<sup>2</sup> У випадку, коли дисципліна завершується екзаменом (заліком) не менше – **20 балів**, а рекомендований мінімум **не менше 24 балів**, оскільки якщо студент на екзамені (заліку) набрав менше **36 балів** (а це 60% від 60 балів, відведених на екзамен (залік)), то вони **не додаються** до семестрової оцінки незалежно від кількості балів, отриманих під час семестру, а в екзаменаційній (заліковій) відомості у графі «результуюча оцінка» переноситься лише кількість балів, отриманих під час семестру.

- здати розв'язок не менше 30 % обов'язкових задач, що виносяться на самостійну роботу;
- пройти письмову перевірку знань та розумінь основних означень та законів термодинаміки та статистичної фізики у формі диктанту.

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

Контроль здійснюється за модульно-рейтинговою системою, яка складається із 4 змістових модулів (2 модулі в четвертому та 2 модулі в п'ятому семестрах). Система оцінювання знань включає поточний, модульний та семестровий контроль знань. Результати навчальної діяльності студентів оцінюються за 100-бальною шкалою незалежно в шостому і сьомому семестрах. Форми поточного контролю: оцінювання домашніх робіт, письмових самостійних завдань, тестів та контрольних робіт, виконаних студентами під час практичних занять. Студент може отримати максимально 40 балів за виконання домашніх робіт, самостійних завдань, усні відповіді, тести, доповнення на практичних заняттях в шостому семестрі (по 20 балів в кожному змістовому модулі) та 40 балів в сьомому семестрі (по 20 балів в кожному змістовому модулі). Модульний контроль: 4 модульні контрольні роботи (2 роботи в шостому та 2 роботи у сьомому семестрах). Студент може отримати максимально за модульні контрольні роботи 20 балів в шостому семестрі і 20 балів в сьомому семестрі (по 10 балів за кожену роботу). Підсумковий семестровий контроль проводиться у формі заліку (60 балів) в шостому семестрі та іспиту (60 балів) в сьомому семестрі. Екзаменаційний білет включає 2 теоретичні питання (по 20 балів) та задачу (20 балів).

#### Шкала відповідності оцінок

Відмінно / Excellent	90-100
Добре / Good	75-89
Задовільно / Satisfactory	60-74
Незадовільно з можливістю повторного складання / Fail	35-59
Незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни / Fail	0-34
Зараховано / Passed	60-100
Не зараховано / Fail	0-59
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

#### СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Тематичний план лекцій, практичних занять та самостійних робіт

#### VI СЕМЕСТР

№ теми	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	Практичні заняття	Самост. робота
<b>Змістовий модуль 1</b>				
1	Термодинамічний та статистичний методи вивчення властивостей макроскопічних властивостей речовини. Нульове начало термодинаміки. Перше начало термодинаміки.	2	2	6

2	Друге начало термодинаміки для рівноважних процесів. Термодинамічне означення ентропії та абсолютної температури. Третє начало термодинаміки. Теплова теорема Нернста.	2	2	6
3	Основне рівняння термодинаміки рівноважних процесів. Термодинамічні потенціали. Співвідношення Максвелла. Співвідношення Дюгема-Гіббса.	2	2	6
4	Друге начало термодинаміки для нерівноважних процесів. Основні умови термодинамічної рівноваги. Термодинамічні нерівності.	2	2	6
5	Додаткові умови термодинамічної рівноваги. Умови хімічної рівноваги. Закон діючих мас. Фазова рівновага. Умови фазової рівноваги в гетерогенній системі. Правило фаз Гіббса Рівняння Клапейрона-Клаузіуса. Класифікація фазових перетворень. Рівняння Еренфеста для фазових перетворень другого роду	4	2	6
6	Процес Джоуля-Томсона. Температура інверсії для газу Ван-дер-Ваальса	2	2	4
<b>Модульна контрольна робота 1</b>			2	
<b>Змістовий модуль 2</b>				
7	Основні положення класичної статистичної фізики. Ергодична гіпотеза. Метод Гіббса. Мікроканонічний розподіл. Принцип Больцмана (статистичне визначення ентропії - зв'язок термодинаміки зі статистичною фізикою). Канонічний та великий канонічний розподіли Гіббса.	4	2	6
8	Термодинамічні властивості класичного одноатомного та молекулярного ідеальних газів.	2	2	6
9	Одностинкові функції розподілу. Розподіл Максвелла та розподіл Больцмана.	2	2	4
10	Термодинамічні властивості речовини в електричному і магнітному полях. Вектор поляризації, формула Ланжевена.	2	2	4
11	Термодинамічні властивості класичного неідеального газу. Рівняння стану у вигляді вирішального ряду за степенями густини. Рівняння Ван-дер-Ваальса.	2	2	4
12	Теорія флуктуацій. Статистична та термодинамічна теорії флуктуацій.	4	4	6



<i>Модульна контрольна робота 2</i>		2	
<b>Всього</b>	30	30	60

**VII СЕМЕСТР**

№ теми	Назва лекції	Кількість годин		
		лекції	Практичні заняття	самост. робота
<b><i>Змістовий модуль 1</i></b>				
1	Основні поняття квантової статистики. Матриця густини ймовірності мікростанів, статистичний оператор, статистична сума. Розподіли Гіббса у квантовій статистиці.	2	2	4
2	Квантова статистика ідеального газу. Розподіли Фермі-Дірака та Бозе-Ейнштейна	2	2	4
3	Термодинамічні властивості невиродженого одноатомного ідеального газу. Умови переходу від квантового до класичного опису.	2	2	4
4	Термодинамічні властивості невиродженого молекулярного ідеального газу з двохатомних молекул. Умови переходу від квантового до класичного опису. Теорія дисоціації двохатомних молекул.	4	4	8
5	Вплив спінового стану атомних ядер двохатомної молекули. Рівноважні значення чисел молекул орто- та параводню. Системи з від'ємною абсолютною температурою.	2	2	4
	<b>Модульна контрольна робота 1</b>			
<b><i>Змістовий модуль 2</i></b>				
1	Термодинамічні властивості виродженого ідеального бозе-газу. Бозе-конденсація. Температура бозе-конденсації $T_0$ . Число бозе-частинок на основному енергетичному рівні. Енергія, теплоємність та тиск бозе-газу при $T < T_0$ .	2	2	4
2	Термодинамічні властивості рівноважного електромагнітного випромінювання. Формула Планка для спектральної густини випромінювання, закон Віна, закон Стефана-Больцмана. Спектральна густина фотонів.	2	2	4
3	Термодинамічні властивості твердого тіла. Внесок акустичних та оптичних коливань в енергію коливань і коливальну теплоємність. Наближення Дебая та Ейнштейна.	2	2	4
4	Термодинамічні властивості електронного	4	4	8

	газу у металах. Енергія Фермі. Теплоємність. Контактна різниця потенціалів.			
5	Статистика носіїв заряду в напівпровідниках. Концентрація носіїв заряду у власному та домішковому напівпровідниках. Принцип компенсації.	2	2	6
6	Магнітні властивості невиродженого одноатомного ідеального газу. Адіабатичне розмагнічування як метод отримання низьких температур.	2	2	6
7	Магнітні властивості виродженого ідеального газу електронів.	4	2	4
<b>Модульна контрольна робота 2</b>			2	
<b>Всього</b>		30	30	60

**Загальний обсяг 240 год<sup>3</sup>**, в тому числі (вибрати необхідне):

Лекцій – **60 год.**

Семінари – **год.**

Практичні заняття - **60 год.**

Лабораторні заняття - \_\_\_\_\_ год.

Тренінги - \_\_\_\_\_ год.

Консультації - \_\_\_\_\_ год.

Самостійна робота – **120 год.**

#### **РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА:**

##### **Основна :(Базова)**

1. Федорченко А. М. Теоретична фізика. Т. 2. Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика / А. М. Федорченко. – К. : Вища шк., 1993.
2. Булавін Л.А., Гаврюшенко Д.А., Сисоєв В.М. Молекулярна фізика: Підручник. – К.: Знання, 2006, - 567с. – (Класична та сучасна фізика).
3. Дацюк В. В. Термодинаміка і статистична фізика. / В. В. Дацюк, М. Ф. Ледней, І. П. Пінкевич : збір. задач для студ. фіз. ф-ту. – К. : Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2012.

##### **Додаткова**

4. Гиббс Дж. В. Термодинаміка. Статистическая механіка. - М., 1982.
5. Хуанг К. Статистическая механіка, - М., 1966.
6. Кубо Р.. Статистическая механіка, - М., 1967. Термодинаміка, - М., 1970.
7. Кубо Р. Термодинаміка. М.: Мир, 1970, 304 с.
8. K.V. Klitzing, G. Dorda, M. Pepper New Method for High-Accuracy Determination of the Fine-Structure Constant Based on Quantized Hall Resistance Phys. Rev. Lett. 45, 494 (1980) doi:10.1103/PhysRevLett.45.494
9. Фон Клитцинг К. Квантованный эффект Холла (Нобелевская лекция). УФН, 150, вып.1, 1986.

<sup>3</sup> Загальна кількість годин, відведених на дану дисципліну згідно навчального плану.