Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

"ЗАТВЕРДЖУЮ"
В.о. директора
навчально-наукового інституту
комп'ютерної фізики та енергетики

Ірина ГАРЯЧЕВСЬКА

_____ 2025 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Термодинаміка і статистична фізика. Частина 1

рівень вищої освіти	перший (бакалаврський) рівень
галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма	Прикладна фізика енергетичних систем
	Прикладна фізика нетрадиційної енергетики
	Комп'ютерна фізика
вид дисципліни	Обов'язкова
ННІ	комп'ютерної фізики та енергетики

2025 / 2026 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою Навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

Протокол від "27" серпня 2025 року № 14

РОЗРОБНИКИ ПРОГРАМИ: Ілля МАРУЩЕНКО, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Протокол від "27" серпня 2025 року № 8

Завідувач кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

(підпис) Олександр КУЛИК
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої програми (керівником проектної групи)
Прикладна фізика енергетичних систем
назва освітньої програми

(підпис) Денис ПРОТЕКТОР
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої програми (керівником проектної групи)
Прикладна фізика нетрадиційної енергетики
назва освітньої програми

(підпис) Ілля МАРУЩЕНКО
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої програми (керівником проектної групи)
Комп'ютерна фізика
назва освітньої програми

(підпис) Єгор НЄМЧЕНКО
(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією Навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики
назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від "27" серпня 2025 року № 7

Голова методичної комісії Навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

(підпис) Денис ПРОТЕКТОР
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Термодинаміка і статистична фізика. Частина 1» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів спеціальності 10 Прикладна фізика та наноматеріали.

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни: оволодіння теорією та практичними навичками розв'язування задач та підготовка студентів до вивчення фізичних основ отримання та перетворювання теплової енергії.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни: забезпечити формування у студентів розуміння теоретичних методів статистичної фізики і термодинаміки та оволодіння математичними навиками, що необхідні для розв’язування різноманітних задач теплової фізики макроскопічних систем.

1.3. Кількість кредитів - 4

1.4. Загальна кількість годин - 120

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Обов’язкова	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	
Семестр	
7-й	
Лекції	
32 год.	
Практичні, семінарські заняття	
32 год.	
Лабораторні заняття	
Самостійна робота	
56 год.	
у тому числі індивідуальні завдання	

1.6. Заплановані результати навчання:

- згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми, студенти мають отримати такі компетентності (ЗК, СК):

ЗК01. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.
ЗК02. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.
ЗК03. Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово.
ЗК05. Навички використання інформаційних і комунікаційних технологій.
ЗК06. Здатність до проведення досліджень на відповідному рівні.
ЗК07. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.
ЗК08. Навички міжособистісної взаємодії.
ЗК09. Здатність працювати автономно.
ЗК10. Навички здійснення безпечної діяльності.
ЗК12. Здатність зберігати та примножувати моральні, культурні, наукові цінності і досягнення суспільства на основі розуміння історії та закономірностей розвитку предметної

області, її місця у загальній системі знань про природу і суспільство та у розвитку суспільства, техніки і технологій, використовувати різні види та форми рухової активності для активного відпочинку та ведення здорового способу життя.
СК01. Здатність брати участь у плануванні та виконанні наукових та науково-технічних проектів.
СК02. Здатність брати участь у плануванні і виконанні експериментів та лабораторних досліджень властивостей фізичних систем, фізичних явищ і процесів, обробленій презентації їхніх результатів.
СК03. Здатність брати участь у виготовленні експериментальних зразків, інших об'єктів дослідження.
СК04. Здатність брати участь у впровадженні результатів досліджень та розробок.
СК05. Здатність до постійного розвитку компетентностей у сфері прикладної фізики, інженерії та комп’ютерних технологій.
СК06. Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем.
СК07. Здатність використовувати методи і засоби теоретичного дослідження та математичного моделювання в професійній діяльності.
СК08. Здатність працювати в колективах виконавців, у тому числі в міждисциплінарних проектах.
СК09. Здатність проводити самостійно та в команді наукові дослідження фізичних систем, явищ і процесів (експериментальні, теоретичні, комп’ютерне моделювання) в галузі прикладної фізики та наноматеріалів.

- згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми, студенти повинні досягти таких результатів навчання (РН):
РН01. Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв’язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.
РН02. Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.
РН03. Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв’язанні практичних проблем прикладної фізики.
РН04. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.
РН05. Вибирати ефективні методи та інструментальні засоби проведення досліджень у галузі прикладної фізики.
РН06. Відшуковувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації.
РН07. Класифікувати, аналізувати та інтерпретувати науково-технічну інформацію в галузі прикладної фізики.
РН09. Презентувати результати досліджень і розробок фахівцям і нефахівцям, аргументувати власну позицію.
РН10. Планувати й організовувати результативну професійну діяльність індивідуально і як член команди при розробці та реалізації наукових і прикладних проєктів.
РН11. Знати цілі сталого розвитку та можливості своєї професійної сфери для їх досягнення, в тому числі в Україні.
РН12. Розуміти закономірності розвитку прикладної фізики, її місце в розвитку техніки, технологій і суспільства, у тому числі в розв'язанні екологічних проблем.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ I. Вступ до теплової фізики.

Тема 1: Рівновага та незворотні процеси

Дифузія краплі чорнил у воді. “Великі” та “дуже великі” числа. Ідентичні та неідентичні частинки. Механічні та термодинамічні системи. Мікростани та макростани. Елементи комбінаторіки. Класична модель парамагнетіка. Формула Стірлінга.

Тема 2: Нормальний розподіл

Задача про випадкові блукання. Біноміальний розподіл. Розподіл Пуассона. Нормальний розподіл. Центральна гранична теорема.

Тема 3: Модель Ейнштейна.

Модель твердого тіла Ейнштейна. Дві системи у тепловому контакті. Великі системи у тепловому контакті. Ентропія Больцмана. Закон зростання ентропії.

Розділ II. Рівновага та статистичні ансамблі.

Тема 4: Ідея статистичного ансамбля.

Основна гіпотеза статистичної фізики та ідея статистичного ансамбля. Відкриті та закриті системи, адіабатично та діатермічно ізольовані системи. Три типи ансамблів. Чисті та змішані квантові стани. Ізольована система. Мікроканонічний ансамбль і фазовий простір. Класичні і квантові системи.

Тема 5: Мікроканонічний ансамбль.

Ентропія, температура і другий закон термодинаміки. Тиск, об’єм і перший закон термодинаміки.

Тема 6: Канонічний ансамбль.

Система в контакті з тепловим резервуаром. Статистична сума. Енергія та флуктуації. Ентропія Гіббса. Класична та квантова статистична сума. Еквівалентність канонічного та мікроканонічного ансамблів.

Тема 7: Класичний ідеальний газ у канонічному ансамблі.

Класична і квантова статистична сума. Статистична сума ідеального газу. Рівнорозподіл енергії. Ентропія та парадокс Гіббса.

Тема 8: Великий канонічний ансамбль.

Вільна енергія. Хімічний потенціал. Великий канонічний ансамбль. Великий канонічний потенціал. Екстенсивні та інтенсивні величини. Класичний ідеальний газ у великому канонічному ансамблі.

Тема 9: Розподіл Максвелла. Теплоємність двохатомного газу.

Розподіл Максвелла за швидкостями. Теплоємність класичного двохатомного газу. Теплоємність квантового двохатомного газу.

Розділ ІІІ. Квантові гази.

Тема 10: Теплове випромінювання і газ фотонів.

Густина станів. Випромінювання чорного тіла. Функція розподілу Планка. Середня енергія газу фотонів. Закон Штефана-Больцмана. Тиск випромінювання, ентропія і теплоємність газу фотонів. Реліктове випромінювання.

Тема 11: Модель твердого тіла Дебая і газ фононів.

Модель твердого тіла Дебая. Фонони. Теплоємність твердих тіл. Недоліки моделі Дебая. Теплоємність двохатомного квантового газу.

Тема 12: Ідеальний бозе-газ.

Симетрія хвильових функцій. Статистика Бозе-Ейнштейна. Ідеальний газ бозонів. Високотемпературне рівняння стану.

Тема 13: Бозе-Ейнштейнівська конденсація.

Бозе-газ за низьких температур. Бозе-ейнштейнівська конденсація. Низькотемпературне рівняння стану. Теплоємність Бозе-Ейнштейнівського конденсату.

Тема 14: Ідеальний фермі-газ.

Принцип Паулі. Розподіл Фермі-Дірака. Ідеальний фермі-газ. Вироджений фермі-газ і поверхня Фермі. Високотемпературне рівняння стану фермі-газу.

Тема 15: Теплоємність ідеального фермі-газу.

Теплоємність низькотемпературного фермі-газу. Теплоємність металів. Розкладання Зоммерфельда.

Тема 16: Приклади фермі-газу.

Еволюція зірок: "білі карлики" і границя Чандрасекара, нейтронні зірки. Газ ферміонів у магнітному полі: парамагнетизм Паулі та діамагнетизм Ландау.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	лаб.	інд.	с. р.		л	п	лаб.	інд.	с. р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Розділ 1. Вступ до теплової фізики												
Тема 1. Рівновага та незворотні процеси	6	2	2			2						
Тема 2. Нормальний розподіл	6	2	2			2						
Тема 3. Модель Ейнштейна	6	2	2			2						
Разом за розділом 1	18	6	6			6						
Розділ 2. Рівновага та статистичні ансамблі												

Тема 4. Ідея статистичного ансамбля	6	2	2			2						
Тема 5. Мікроканонічний ансамбль	8	2	2			4						
Тема 6. Канонічний ансамбль	8	2	2			4						
Тема 7. Класичний ідеальний газ у канонічному ансамблі	8	2	2			4						
Тема 8. Великий канонічний ансамбль	8	2	2			4						
Тема 9. Ідеальний газ у великому канонічному ансамблі. Розподіл Максвелла. Теплоємність двохатомного газу.	8	2	2			4						
Разом за розділом 2	46	12	12			22						
Розділ 3. Квантові гази												
Тема 10. Теплове випромінювання і газ фотонів.	8	2	2			4						
Тема 11. Модель твердого тіла Дебая і газ фононів.	8	2	2			4						
Тема 12. Ідеальний бозе-газ.	8	2	2			4						
Тема 13. Бозе-Ейнштейнівська конденсація.	8	2	2			4						
Тема 14. Ідеальний фермі-газ.	8	2	2			4						
Тема 15. Теплоємність фермі-газу.	8	2	2			4						
Тема 16. Приклади фермі-газу.	8	2	2			4						
Разом за розділом 3	56	14	14			28						
Усього годин	120	32	32			56						

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Рівновага та незворотні процеси	2
2	Нормальний розподіл	2

3	Модель Ейнштейна	2
4	Ідея статистичного ансамбля	2
5	Мікроканонічний ансамбль	2
6	Канонічний ансамбль	2
7	Класичний ідеальний газ у канонічному ансамблі	2
8	Великий канонічний ансамбль	2
9	Розподіл Максвелла. Теплоємність двохатомного газу.	2
10	Теплове випромінювання і газ фотонів.	2
11	Модель твердого тіла Дебая і газ фононів.	2
12	Ідеальний бозе-газ.	2
13	Бозе-Ейнштейнівська конденсація.	2
14	Ідеальний фермі-газ.	2
15	Теплоємність фермі-газу.	2
16	Приклади фермі-газу.	2
	Разом	32

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Засвоїти методи математичної статистики і розв’язати задачі за розділом “Вступ до теплової фізики”	12
2	Засвоїти концепцію статистичних ансамблів та розв’язати задачі за розділом “Рівновага та статистичні ансамблі”	16
3	Засвоїти концепції статистичної суми і густини станів та розв’язати задачі за розділом “Класичні і квантові гази”	28
	Разом	56

6. Індивідуальні завдання

Не передбачені.

7. Методи навчання

Лекційні заняття проводяться методом лекції та розповіді-дискусії і передбачають можливість використання електронних засобів навчання (відеозв’язок в системі Zoom, презентації у форматі pdf, використання електронного пера). На практичних заняттях, якщо вони проводяться в аудиторії, задачі розв’язуються студентами на дошці за допомогою викладача, а у випадку дистанційного навчання заняття проводиться методом розповіді-дискусії з прикладами розв’язання задач. Основною метою практичних занять є розвиток навичок практичного застосування і закріплення теоретичного матеріалу. Самостійне розв’язання задач студентами передбачено при у форматі виконання домашніх завдань за темами розділу.

8. Методи контролю

Для оцінювання результатів навчання використовуються такі види та методи контролю: поточний контроль протягом семестру – експрес-контроль на лекції; активна участь у розв’язанні задач та обговоренні теоретичних положень на практичних заняттях; розв’язання задач для самостійної роботи за темами розділів; семестрова контрольна робота; іспит.

Бали за експрес-контроль на лекції студент отримає, якщо дасть правильну письмову або усну відповідь на поставлене питання. Одна правильна відповідь дає 1 бал. За кожне активно проведене практичне заняття студент отримає 1 бал. Його отримують студенти, що

були активно залучені до обговорення теми практичного заняття, давали правильні відповіді на теоретичні запитання. За кожну правильно самостійно розв'язану задачу в аудиторії або для самостійної роботи студент отримує до 1 балу, в залежності від складності задачі та повноти розв'язання. Бали за експрес-контроль на лекціях, активну роботу в аудиторії і розв'язання задач для самостійної роботи складаються в підсумкову оцінку за розділ.

Програмою курсу передбачається також 1 контрольна робота, за яку студент може отримати до 10 балів, і одна розрахунково-графічна робота, за яку студент може отримати до 10 балів. Контрольна робота складається з двох теоретичних питань, кожне з яких оцінюється у 5 балів, а розрахунково-графічна робота складається з двох задач, кожна з яких оцінюється у 5 балів.

У підсумку за роботу в семестрі можна отримати щонайбільше 60 балів. Якщо за семестр студент набрав менше ніж 20 балів, він не буде допущений до іспиту.

Курс завершується проведенням іспиту, за який можна отримати до 40 балів. Іспит проводиться у вигляді письмової роботи. Студент повинен обрати білет, що містить дві задачі та два теоретичних питання за темами курсу. Кожне завдання оцінюється у 10 балів. За бажанням студента він може також надати усний коментар до своєї екзаменаційної роботи та відповісти на додаткові питання, отримавши додаткові заохочувальні бали, загалом не більше 10 (за умови, що підсумкова оцінка за іспит не перевищує 40 балів).

Максимальний бал, що студент може отримати за курс, складає 100 балів.

9. Схема нарахування балів

Поточний контроль, самостійна робота, контрольні роботи						Екзаменаційна робота	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Контрольна робота	РГР	Разом		
Т1-Т3	Т4-Т9	Т10-Т16					
10	15	15	10	10	60	40	100

Критерії оцінювання навчальних досягнень

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка
	для чотирирівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно
70-89	добре
50-69	задовільно
1-49	незадовільно

10. Рекомендована література

Основна література

1. Daniel V. Schroeder. "An Introduction to Thermal Physics", 2021.
2. David Tong. "Lectures on Statistical Physics", 2012.
3. Frederick Reif. "Fundamentals of Statistical and Thermal Physics", 2009.

Допоміжна література

1. Mehran Kardar. "Statistical Physics of Particles", 2007.
2. James P. Sethna. "Statistical Mechanics: Entropy, Order Parameters and Complexity", 2012.
3. Don Koks. “Microstates, Entropy and Quanta. An Introduction to Statistical Mechanics”, 2018.
4. А.М. Федорченко. "Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика", 1993.
5. Дудик М.В. Термодинаміка і статистична фізика (курс лекцій): навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів фізико-математичних спеціальностей. – Умань: ПП «Жовтий», 2015. – 132 с.
6. А.Г. Гах, В.Д. Ходусов, А.С. Наумовець. “Збірник завдань з термодинаміки і статистичної фізики. Навчальний посібник”, 2015.
7. Charles Kittel, Herbert Kroemer. “Thermal Physics”, 1980.
8. Charles Kittel. “Elementary Statistical Physics”, 2012.
9. Franz Mandl. “Statistical Physics”, 2010.

11. Посилання на інформаційні ресурси в Інтернеті, відео-лекції, інше методичне забезпечення

1. https://moodle.karazin.ua/course/view.php?id=2563