МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор навчально-наукового інституту
комп'ютерної фізики та енергетики

_____ Ірина ГАРЯЧЕВСЬКА

«___» _____ 2024 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

ТЕРМОДИНАМІКА І СТАТИСТИЧНА ФІЗИКА. ЧАСТИНА 1

рівень вищої освіти	перший (бакалаврський)
галузь знань	10 Природничі науки
спеціальність	105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма	«Комп'ютерна фізика» «Прикладна фізика нетрадиційної енергетики» «Прикладна фізика енергетичних систем»
вид дисципліни	обов'язкова

навчально – науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики

2024 / 2025 навчальний рік

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

28 серпня 2024 року, протокол № 8/24

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:
Марущенко Ілля Миколайович, кандидат фізико-математичних наук, доцент

Програму схвалено на засіданні кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Протокол від 28 серпня 2024 року № 8/24

Завідувач кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

_____ Олександр КУЛИК

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми «Комп'ютерна фізика»
Гарант освітньо-професійної програми «Комп'ютерна фізика»

_____ Світлана РОГОВА

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми «Прикладна фізика нетрадиційної енергетики»
Гарант освітньо-професійної програми «Прикладна фізика нетрадиційної енергетики»

_____ Ілля МАРУЩЕНКО

Програму погоджено з гарантом освітньо-професійної програми «Прикладна фізика енергетичних систем»
Гарант освітньо-професійної програми «Прикладна фізика енергетичних систем»

_____ Денис ПРОТЕКТОР

Програму погоджено науково-методичною комісією
навчально-наукового інституту комп'ютерної фізики та енергетики

Протокол від 28 серпня 2024 року № 8/24

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

_____ Денис ПРОТЕКТОР

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Термодинаміка і статистична фізика. Частина 1» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки бакалаврів спеціальності 105 — 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 термодинаміка 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 повинні досягти таких результатів навчання:

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.

РН04. Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.

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.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ І. Термодинаміка

Тема 1: Термодинамічні системи та рівняння стану.

Температура і теплота. Газові закони. Стан речовини та рівняння Ван-дер-Ваальса. Термодинамічні системи. Нульовий закон термодинаміки. Приклад: рівняння стану.

Тема 2: Перший закон термодинаміки.

Температурна шкала ідеального газу. Перший закон термодинаміки. Квазістаціонарні процеси. Функції відгуку.

Тема 3: Другий закон термодинаміки.

Теплові двигуни і холодильники. Другий закон термодинаміки. Двигуни Карно. Теорема Карно. Теорема Клаузіуса та її наслідки.

Тема 4: Ентропія термодинамічних систем.

Макроскопічний погляд на ентропію. Ентропія і теплота. Ентропія змішування. Зростання ентропії та стріла часу.

Тема 5: Термодинамічні потенціали.

Наближення до рівноваги. Термодинамічні потенціали. Відношення Максвелла. Метод якобіанів.

Тема 6: Стійкість стану термодинамічних систем.

Стійкий, метастабільний і нестійкий стани системи. Дослідження стійкості стану термодинамічних систем. Правило фаз Гіббса. Термодинаміка фазових переходів..

Тема 7: Фазові переходи газ-рідина.

Аналіз рівняння Ван-дер-Ваальса. Фазова рівновага. Конструкція Максвелла. Крива співіснування і метастабільні стани. Рівняння Клаузіуса-Клапейрона.

Тема 8: Критичні явища.

Критична точка і закон відповідних станів. Критичні індекси. Флуктуації у критичній точці. Фазова діаграма.

Тема 9: Третій закон термодинаміки.

Теорема Нернста. Третій закон термодинаміки. Наслідки третього закону термодинаміки. Необхідність застосування квантових уявлень для фізики низьких температур.

Розділ II. Вступ до теплової фізики.

Тема 10: Рівновага та незворотні процеси

Мікростани і макростани. Формула Стірлінга. Дифузія краплі чорнил у воді. “Великі” та “дуже великі” числа. Ідентичні та розрізнювальні частинки.

Тема 11: Нормальний розподіл

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

Тема 12: Модель Ейнштейна.

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

Розділ III. Теорія ансамблів.

Тема 13: Мікроканонічний ансамбль у класичних системах

Ергодична гіпотеза. Ідея статистичного ансамбля. Мікроканонічний ансамбль. Ентропія Больцмана. Ентропія і температура.

Тема 14: Мікроканонічний ансамбль у квантових системах

Чисті та змішані квантові стани. Мікроканонічний ансамбль. Другий закон термодинаміки. Температура і теплоємність. Тиск, об’єм і перший закон термодинаміки.

Тема 15: Канонічний ансамбль

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

Тема 16: Великий канонічний ансамбль

Вільна енергія. Хімічний потенціал. Великий канонічний ансамбль. Великий канонічний потенціал. Екстенсивні та інтенсивні величини.

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. Термодинаміка												
Тема 1. Термодинамічні системи та рівняння стану	6	2	2			2						
Тема 2. Перший закон термодинаміки	6	2	2			2						
Тема 3. Другий закон термодинаміки	8	2	2			4						
Тема 4. Ентропія термодинамічних систем	8	2	2			4						
Тема 5. Термодинамічні потенціали	8	2	2			4						
Тема 6. Стійкість стану термодинамічних систем	6	2	2			2						
Тема 7. Фазові переходи газ-рідина	8	2	2			4						
Тема 8. Критичні явища	8	2	2			4						
Тема 9. Третій закон термодинаміки	6	2	2			2						
Разом за розділом 1	64	18	18			28						
Розділ 2. Вступ до теплової фізики												
Тема 10. Рівновага та незворотні процеси	8	2	2			4						
Тема 11. Нормальний розподіл	8	2	2			4						
Тема 12. Модель Ейнштейна	8	2	2			4						
Разом за розділом 2	24	6	6			12						
Розділ 3. Теорія ансамблів												
Тема 13. Мікроканонічний	8	2	2			4						

ансамбль у класичних системах												
Тема 14. Мікроканонічний ансамбль у квантових системах	8	2	2			4						
Тема 15. Канонічний ансамбль	8	2	2			4						
Тема 16. Великий канонічний ансамбль	8	2	2			4						
Разом за розділом 3	32	8	8			16						
Усього годин	120	32	32			56						

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Термодинамічні системи та рівняння стану	2
2	Перший закон термодинаміки	2
3	Другий закон термодинаміки	2
4	Ентропія термодинамічних систем	2
5	Термодинамічні потенціали	2
6	Стійкість стану термодинамічних систем	2
7	Фазові переходи газ-рідина	2
8	Критична точка	2
9	Третій закон термодинаміки	2
10	Нормальний розподіл	2
11	Рівновага та незворотні процеси	2
12	Модель Ейнштейна	2
13	Мікроканонічний ансамбль у класичних системах	2
14	Мікроканонічний ансамбль у квантових системах	2
15	Канонічний ансамбль	2
16	Великий канонічний ансамбль	2
	Разом	60

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювати розділ “Термодинаміка”	28
2	Опрацювати розділ “Вступ до теплової фізики”	12
3	Опрацювати розділ “Теорія ансамблів”	16
	Разом	56

6. Індивідуальні завдання

Індивідуальні завдання включають реферат за тематикою курсу, за який студент може отримати до 15 балів.

Рекомендований обсяг роботи – 10 стор. машинописного тексту. До обсягу роботи включаються сторінки від титульного аркуша до останньої сторінки висновків. Список джерел і літератури, додатки до цього обсягу не включаються, але підлягають загальній нумерації. Мова – українська. Роботу набирають на комп'ютері з одного боку аркуша білого паперу формату А4 через 1,5 інтервалу (28–30 рядків на сторінці) 14-м кеглем шрифту Times New Roman. Текст друкують, залишаючи поля таких розмірів: ліве – 30 мм, праве – 10 мм, верхнє – 20 мм, нижнє – 20 мм. Заголовки структурних частин "ЗМІСТ", "ВСТУП", "РОЗДІЛ", "ВИСНОВКИ", "СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ" друкують великими літерами.

Загальні вимоги до цитування:

а) текст цитати починається і закінчується лапками, наводиться саме так, як він поданий у джерелі, зі збереженням особливостей авторського написання;

б) цитування повинно бути повним, без довільного скорочення авторського тексту і без перекручень думок автора. Пропуск слів, речень, абзаців допускається без зміни авторського тексту і позначається трьома крапками. Вони ставляться у будь-якому місці цитати (на початку, всередині, в кінці). Якщо перед пропущеним текстом або за ним стояв розділовий знак, то він не зберігається;

в) кожна цитата обов'язково супроводжується посиланням на джерело;

г) під час непрямого цитування (переказ, виклад думок інших авторів своїми словами) слід бути максимально точним у викладі думок автора, коректним щодо оцінювання його результатів, робити відповідні посилання на джерело;

д) цитування не повинно бути надмірним, бо це створює враження компілятивності праці.

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, а самостійне розв’язання задач студентами виконується у вигляді додаткових домашніх завдань. Основною метою практичних занять є розвиток навичок практичного застосування і закріплення теоретичного матеріалу.

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 15 балів. Контрольна робота складається з двох теоретичних питань і однієї задачі. Кожне теоретичне питання та задача оцінюються у 5 балів.

У підсумку за роботу в семестрі можна отримати щонайбільше 60 балів. Якщо за

семестр студент набрав менше ніж 10 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

7 семестр:

Поточний контроль, самостійна робота, контрольні роботи						Екзаменаційна робота	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Контрольна робота	Реферат	Разом		
Т1-Т9	Т10-Т12	Т13-Т16					
15	5	10	15	15	60	40	100

Передбачаються бали за:

- експрес-контроль на лекції – 10;
- розв’язання задач – 20;
- виконання контрольної роботи – 15;
- виконання та захист реферату – 15;
- іспит – 40 балів.

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", 2000.
2. Mehran Kardar. "Statistical Physics of Particles", 2007.
3. David Tong. "Lectures on Statistical Physics", 2012.
4. D. Kondepudi, I. Prigogine. “Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures”, 1998.

5. А.Г. Гах, В.Д. Ходусов, А.С. Наумовець. “Збірник завдань з термодинаміки і статистичної фізики. Навчальний посібник”, 2015.

Допоміжна література

1. Frederick Reif. "Fundamentals of Statistical and Thermal Physics", 1965.
2. James P. Sethna. "Statistical Mechanics: Entropy, Order Parameters, and Complexity", 2012.
3. А.М. Федорченко. "Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика", 1993.
4. Charles Kittel, Herbert Kroemer. “Thermal Physics”, 1980.
5. Charles Kittel. “Elementary Statistical Physics”, 2012.
6. Franz Mandl. “Statistical Physics”, 2010.
7. L.D. Landau, E.M. Lifshitz. “Course of Theoretical Physics, Volume 5: Statistical Physics, Part 1”, 1980.
8. Don Koks. “Microstates, Entropy and Quanta. An Introduction to Statistical Mechanics”, 2018.
9. A.B. Pippard. “The Elements of Classical Thermodynamics for advanced students of physics”, 1966.

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

1. https://dist.karazin.ua/moodle/course/view.php?id=3225