

2022 / 2023 навчальний рік

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

Протокол від “26” серпня 2022 року № 8/22

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 “26” серпня 2022 року № 8/22

Завідувач кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

(підпис)

Олександр КУЛИК
(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)
Прикладна фізика енергетичних систем
назва освітньої програми

(підпис)

Руслан СУХОВ
(прізвище та ініціали)

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

(підпис)

Світлана РОГОВА
(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 “26” серпня 2022 року № 8/22

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

(підпис)

Ольга ЛІСІНА
(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Статистична фізика і термодинаміка» 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 навичками, що необхідні для розв'язування різноманітних задач теплової фізики макроскопічних систем.

1.3. Кількість кредитів - 8

1.4. Загальна кількість годин - 240

1.5. Характеристика навчальної дисципліни	
Обов'язкова	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
4-й	
Семестр	
7-й - 8-й	
Лекції	
60 год.	
Практичні, семінарські заняття	
60 год.	
Лабораторні заняття	
Самостійна робота	
120 год.	
у тому числі індивідуальні завдання	

1.6. Заплановані результати навчання: згідно з вимогами освітньо-професійної (освітньо-наукової) програми, студенти мають знати теоретичні методи термодинаміки та фундаментальні засади статистичної фізики класичних та квантових систем; вміти застосовувати отримані знання на практиці для опису властивостей макроскопічних станів речовини.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ I. Вступ до теплової фізики.

Тема 1: Нормальний розподіл

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

Тема 2: Рівновага та незворотні процеси

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

Тема 3: Модель Ейнштейна.

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

Розділ II. Термодинаміка.

Тема 4: 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 5: Перший закон термодинаміки.

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

Тема 6: Другий закон термодинаміки.

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

Тема 7: Ентропія.

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

Тема 8: Термодинамічні потенціали.

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

Тема 9: Стійкість стану термодинамічних систем.

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

Тема 10: Фазові переходи газ-рідина.

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

Тема 11: Критичні явища.

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

Тема 12: Третій закон термодинаміки.

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

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 контакт 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.

Розділ IV. Класичні гази.

Тема 17: Класичний ідеальний газ

Статистична сума ідеального газу. Рівняння стану ідеального газу. Рівнорозподіл енергії. Ентропія та парадокс Гіббса. Ідеальний газ у великому канонічному ансамблі.

Тема 18: Класичний газ без взаємодії

Розподіл Максвелла за швидкостями. Теплоємність двоатомового газу. Екранування заряду в плазмі.

Тема 19: Класичний газ із взаємодією

Віріальне розкладання. Потенціал Ван-дер-Ваальса. Статистична сума неідеального газу. Рівняння стану Ван-дер-Ваальса.

Розділ V. Квантові гази.

Тема 20: Фотони і теплове випромінювання

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

Тема 21: Фонони і модель Дебая

Модель Дебая. Фонони. Теплоємність твердих тіл. Недоліки моделі Дебая. Теплоємність двоатомового газу.

Тема 22: Ідеальний бозе-газ

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

Тема 23: Бозе-ейнштейнівська конденсація

Низькотемпературний бозе-газ. Критична температура. Конденсація Бозе-Ейнштейна. Низькотемпературне рівняння стану. Теплоємність бозе-ейнштейнівського конденсату.

Тема 24: Ідеальний газ ферміонів

Статистика Фермі-Дірака. Ідеальний фермі-газ. Високотемпературне рівняння стану. Вироджений фермі-газ та поверхня Фермі. Фермі-газ за низької температури.

Тема 25: Фермі-газ за низьких температур

Розкладання Зоммерфельда. Теплоємність металів.

Тема 26: Парамагнетизм Паулі і діамагнетизм Ландау

Взаємодія спінів з магнітним полем. Намагніченість та магнітна сприйнятливність. Парамагнетизм Паулі. Газ електронів та сила Лоренца. Рівні Ландау. Діамагнетизм Ландау.

Тема 27: Білі карлики та границя Чандрасекара

Вироджений тиск ферміонів. Гравітаційний баланс. Маса Планка та границя Чандрасекара. Білі карлики, чорні дири, нейтронні зірки і границя Чандрасекара.

Розділ VI. Фазові переходи.

Тема 28: Модель Ізінга

Модель Ізінга. Наближення середнього поля. Критичні індекси. Застосовність наближення середнього поля.

Тема 29: Теорія фазових переходів Ландау

Вільна енергія і параметри порядку. Фазові переходи другого роду. Фазові переходи першого роду.

Тема 30: Теорія фазових переходів Ландау-Гінзбурга

Узагальнення теорії Ландау. Доменні стінки. Кореляції. Флуктуації. Вільна енергія.

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. Нормальний розподіл	8	2	2			4						
Тема 2. Рівновага та незворотні процеси	8	2	2			4						
Тема 3. Модель Ейнштейна	8	2	2			4						
Разом за розділом 1	24	6	6			12						
Розділ 2. Термодинаміка												
Тема 4.	6	2	2			2						

Термодинамічні системи та рівняння стану												
Тема 5. Перший закон термодинаміки	6	2	2			2						
Тема 6. Другий закон термодинаміки	8	2	2			4						
Тема 7. Ентропія	8	2	2			4						
Тема 8. Термодинамічні потенціали	8	2	2			4						
Тема 9. Стійкість стану термодинамічних систем	6	2	2			2						
Тема 10. Фазові переходи газ-рідина	8	2	2			4						
Тема 11. Критичні явища	8	2	2			4						
Тема 12. Третій закон термодинаміки	6	2	2			2						
Разом за розділом 2	64	18	18			28						
Розділ 3. Теорія ансамблів												
Тема 13. Мікроканонічний ансамбль у класичних системах	8	2	2			4						
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						
Розділ 4. Класичні гази												
Тема 17. Класичний ідеальний газ	8	2	2			4						
Тема 18. Класичний газ без взаємодії	8	2	2			4						
Тема 19. Класичний газ із взаємодією	8	2	2			4						
Разом за розділом 4	24	6	6			12						
Розділ 5. Квантові гази												
Тема 20. Фотони і	10	2	2			6						

теплове випромінювання												
Тема 21. Фонони і модель Дебая	8	2	2			4						
Тема 22. Ідеальний газ бозонів	10	2	2			6						
Тема 23. Бозе-ейнштейнівська конденсація	10	2	2			6						
Тема 24. Ідеальний газ ферміонів	10	2	2			6						
Тема 25. Фермі-газ за низьких температур	8	2	2			4						
Тема 26. Парамагнетизм Паулі і діамагнетизм Ландау	8	2	2			4						
Тема 27. Білі карлики та границя Чандрасекара	8	2	2			4						
Разом за розділом 5	72	16	16			40						
Розділ 6. Фазові переходи												
Тема 28. Модель Ізінга	8	2	2			4						
Тема 29. Теорія фазових переходів Ландау	8	2	2			4						
Тема 30. Теорія фазових переходів Ландау-Гінзбурга	8	2	2			4						
Разом за розділом 6	24	6	6			12						
Усього годин	240	60	60			120						

4. Теми практичних занять

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

14	Мікроканонічний ансамбль у квантових системах	2
15	Канонічний ансамбль	2
16	Великий канонічний ансамбль	2
17	Класичний ідеальний газ	2
18	Класичний газ без взаємодії	2
19	Класичний газ із взаємодією	2
20	Фотони і теплове випромінювання	2
21	Фонони і модель Дебая	2
22	Ідеальний газ бозонів	2
23	Бозе-ейнштейнівська конденсація	2
24	Ідеальний газ ферміонів	2
25	Фермі-газ за низьких температур	2
26	Парамагнетизм Паулі і діамагнетизм Ландау	2
27	Білі карлики та границя Чандрасекара	2
28	Модель Ізінга	2
29	Теорія фазових переходів Ландау	2
30	Теорія фазових переходів Ландау-Гінзбурга	2
	Разом	60

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювати розділ “Вступ до теплової фізики”	12
2	Опрацювати розділ “Термодинаміка”	28
3	Опрацювати розділ “Теорія ансамблів”	16
4	Опрацювати розділ “Класичні гази”	12
5	Опрацювати розділ “Квантові гази”	40
6	Опрацювати розділ “Фазові переходи”	12
	Разом	120

6. Індивідуальні завдання

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 отримує, 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 1 або 2 бали, 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 20 балів. Контрольна робота складається з двох теоретичних питань і однієї задачі. Кожне теоретичне питання оцінюється у 5 балів, а задача у 10 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					Екзамен аційна робота	Сума
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Контрольна робота	Разом		
T1-T3	T4-T12	T13-T16				
10	20	10	20	60	40	100

Передбачаються бали за:

- експрес-контроль на лекції – 8;
- розв'язання задач – 32;
- виконання контрольної роботи – 20;
- іспит – 40 балів.

8 семестр:

Поточний контроль, самостійна робота, контрольні роботи					Екзамен аційна робота	Сума
Розділ 5	Розділ 5	Розділ 6	Контрольна робота	Разом		
T17-T20	T21-T27	T28-T30				
10	20	10	20	60	40	100

Передбачаються бали за:

- експрес-контроль на лекції – 8;
- розв'язання задач – 32;
- виконання контрольної роботи – 20;
- 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>

Додаток 1

Додаток до робочої програми навчальної дисципліни
Статистична фізика і термодинаміка
(назва дисципліни)

Дію робочої програми продовжено: на 20____/20____ н. р.

Заступник директора ННІ комп'ютерної фізики та енергетики з навчальної роботи

(підпис) Ольга ЛІСІНА
(прізвище, ініціали)

«____» _____ 20____ р.

Голова методичної комісії ННІ комп'ютерної фізики та енергетики

(підпис) Ірина ГАРЯЧЕВСЬКА
(прізвище, ініціали)

«____» _____ 20____ р.