

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Проректор з науково-педагогічної
роботи

“ _____ ” _____ 20__ р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Статистична фізика і термодинаміка

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти	<u>Перший бакалаврський</u>
галузь знань	<u>10. Природничі науки</u>
спеціальність	_____
(напрямок підготовки)	<u>105. Прикладна фізика та наноматеріали</u>
освітня програма	<u>Прикладна фізика енергетичних систем</u> <u>Комп’ютерна фізика</u>
спеціалізація	_____
вид дисципліни	<u>Обов’язкова</u>
інститут	<u>ННІ комп’ютерної фізики та енергетики</u>

2021 / 2022 навчальний рік

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

“ ____ ” _____ 2021 року, протокол № _____

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 “ ____ ” _____ 2021 року, № _____

Завідувач кафедри фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

(підпис) Віктор ТКАЧЕНКО
(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 “ ____ ” _____ 2021 року, № _____

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 (освітньо-наукової) програми підготовки

Перший рівень, бакалавр
(назва рівня вищої освіти)

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	
56 год.	
Практичні, семінарські заняття	
56 год.	
Лабораторні заняття	
Самостійна робота	
128 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: Мікростани і макростани

Дифузія краплі чорнил. Магія великих чисел. Ідентичні частинки. Статистичний опис макроскопічних систем. Мікростани і макростани.

Тема 2: Випадкові блукання.

Випадкові блукання: одновимірна задача. Випадкові блукання в трьохвимірному просторі. Біноміальний розподіл. Середні значення і дисперсія. Перші моменти функції розподілу.

Тема 3: Центральна гранична теорема.

Розподіл Гаусса (нормальний розподіл). Розподіл Пуассона. Центральна гранична теорема.

Тема 4: Модель Ейнштейна.

Температура і потік тепла. Система із двох станів. Парамагнетик з двома станами. Модель Ейнштейна.

Тема 5: Теплова рівновага.

Системи зі взаємодією. Великі системи. Кратність макростану. Різкість функції кратності.

Розділ II. Термодинаміка.

Тема 6: Перший закон термодинаміки.

Наближення та ідеалізації. Нульовий закон термодинаміки. Властивості рівноваги. Ідеальна шкала температури. Перший закон термодинаміки. Термодинамічні сили і координати. Функції відгуку і силові константи.

Тема 7: Другий закон термодинаміки.

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

Тема 8: Термодинамічні потенціали.

Наближення до рівноваги. Ентальпія. Вільна енергія Гельмгольца. Вільна енергія Гіббса. Великий потенціал. Важливі математичні результати: екстенсивність, відношення Максвелла, правило фаз Гіббса.

Тема 9: Стійкість стану термодинамічних систем.

Стійкий, метастійкий і нестійкий стани системи. Дослідження стійкості стану термодинамічних систем.

Тема 10: 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 11: Мікроканонічний ансамбль

Кількість станів: мікроканонічний ансамбль. Ентропія Больцмана. Другий закон термодинаміки. Температура і теплоємність. Ентропія, об'єм і тиск. Перший закон термодинаміки.

Тема 12: Канонічний ансамбль

Система в тепловій рівновазі з резервуаром: канонічний ансамбль. Статистична сума і статистичний інтеграл. Енергія і флуктуації. Термодинамічна границя. Ентропія Гіббса. Еквівалентність канонічного і мікроканонічного ансамблів.

Тема 13: Великий канонічний ансамбль

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

Розділ IV. Класичні гази.

Тема 14: Ідеальні класичні гази

Класична статистична сума. Зв'язок між квантовим та класичним описом. Ідеальний газ. Рівнорозподіл енергії. Ентропія і парадокс Гіббса.

Тема 15: Теплоємність класичних газів

Ідеальний газ у великому канонічному ансамблі. Розподіл Максвелла за швидкостями. Двоатомовий газ. Теплоємність двоатомового газу.

Тема 16: Класичні гази із взаємодією

Віріальне розкладання. Міжмолекулярна взаємодія. Статистична сума неідеального газу. Класичний газ із взаємодією. Використані наближення. Рівняння стану неідеального газу. Рівняння стану Ван-дер-Ваальса.

Розділ V. Квантові гази.

Тема 17: Фотони

Щільність станів. Фотони: квантовий газ. Розподіл Планка. Середня енергія газу фотонів. Закон Штефана-Больцмана. Тиск випромінювання, ентропія і теплоємність. Реліктове випромінювання. Народження квантової механіки.

Тема 18: Фонони і модель Дебая

Модель Дебая: фонони. Теплоємність твердих тіл. Недоліки моделі Дебая. Теплоємність двоатомового ідеального квантового газу.

Тема 19: Ідеальний бозе-газ

Симетрія хвильових функцій. Розподіл Бозе-Ейнштейна. Ідеальний бозе-газ. Бозе-газ за високих температур. Низькотемпературне рівняння стану.

Тема 20: Бозе-ейнштейнівська конденсація

Бозе-ейнштейнівська конденсація. Низькотемпературне рівняння стану. Теплоємність Бозе-ейнштейнівського конденсату. Надплинність гелію-4.

Тема 21: Вироджений фермі-газ

Принцип Паулі. Розподіл Фермі-Дірака. Ідеальний Фермі-газ. Вироджений Фермі-газ і поверхня Фермі. Фермі-газ за низької температури.

Тема 22: Теплоємність металів

Розкладання Зоммерфельда. Рівняння стану ідеального Фермі-газу. Теплоємність металів.

Тема 23: Парамагнетизм Паулі і діамagnetизм Ландау

Газ ферміонів у магнітному полі. Парамагнетизм Паулі. Рівні Ландау. Діамagnetизм Ландау. Білі карлики і границя Чандрасекара.

Розділ VI. Фазові переходи.

Тема 24: Фазові переходи газ-рідина

Аналіз рівняння Ван-дер-Ваальса. Фазова рівновага. Конструкція Максвелла. Криві співіснування. Метастабільні стани.

Тема 25: Критична точка

Рівняння Клаузіуса-Клапейрона. Критична точка. Критичні індекси. Флуктуації в критичній точці.

Тема 26: Модель Ізінга

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

Тема 27: Теорія фазових переходів Ландау

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

Тема 28: 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. Мікростани і макростани	6	2	2			2						
Тема 2. Випадкові блукання	6	2	2			2						
Тема 3. Центральна гранична теорема	8	2	2			4						
Тема 4. Модель Ейнштейна	6	2	2			2						
Тема 5. Теплова рівновага	8	2	2			4						
Разом за розділом 1	34	10	10			14						
Розділ 2. Термодинаміка												
Тема 6. Перший закон термодинаміки	8	2	2			4						
Тема 7. Другий закон термодинаміки	8	2	2			4						
Тема 8. Термодинамічні потенціали	8	2	2			4						
Тема 9. Стійкість стану термодинамічних систем	8	2	2			4						
Тема 10. Третій закон термодинаміки	6	2	2			2						
Разом за розділом 2	38	10	10			18						
Розділ 3. Теорія ансамблів												
Тема 11. Мікроканонічний ансамбль	8	2	2			4						
Тема 12. Канонічний ансамбль	8	2	2			4						
Тема 13. Великий канонічний ансамбль	8	2	2			4						
Разом за розділом 3	24	6	6			12						
Розділ 4. Класичні гази												
Тема 14. Ідеальні	8	2	2			4						

класичні гази												
Тема 15. Теплоємність класичних газів	8	2	2			4						
Тема 16. Класичні гази із взаємодією	8	2	2			4						
Разом за розділом 4	24	6	6			12						
Розділ 5. Квантові гази												
Тема 17. Фотони	10	2	2			6						
Тема 18. Фонони і модель Дебая	10	2	2			6						
Тема 19. Ідеальний бозе-газ	10	2	2			6						
Тема 20. Бозе- ейнштейнівська конденсація	10	2	2			6						
Тема 21. Вироджений фермі- газ	10	2	2			6						
Тема 22. Теплоємність металів	10	2	2			6						
Тема 23. Парамагнетизм Паулі і діамагнетизм Ландау	10	2	2			6						
Разом за розділом 5	70	14	14			42						
Розділ 6. Фазові переходи												
Тема 24. Фазові переходи газ-рідина	10	2	2			6						
Тема 25. Критична точка	10	2	2			6						
Тема 26. Модель Ізінга	10	2	2			6						
Тема 27. Теорія фазових переходів Ландау	10	2	2			6						
Тема 28. Теорія фазових переходів Ландау-Гінзбурга	10	2	2			6						
Разом за розділом 6	50	10	10			30						
Усього годин	240	56	56			128						

4. Теми практичних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Мікростани і макростани	2
2	Випадкові блукання	2
3	Центральна гранична теорема	2
4	Модель Ейнштейна	2

5	Теплова рівновага	2
6	Перший закон термодинаміки	2
7	Другий закон термодинаміки	2
8	Термодинамічні потенціали	2
9	Стійкість стану термодинамічних систем	2
10	Третій закон термодинаміки	2
11	Мікроканонічний ансамбль	2
12	Канонічний ансамбль	2
13	Великий канонічний ансамбль	2
14	Ідеальні класичні гази	2
15	Теплоємність класичних газів	2
16	Класичні гази із взаємодією	2
17	Фотони	2
18	Фонони і модель Дебая	2
19	Ідеальний бозе-газ	2
20	Бозе-ейнштейнівська конденсація	2
21	Вироджений фермі-газ	2
22	Теплоємність металів	2
23	Парамагнетизм Паулі і діамagnetизм Ландау	2
24	Фазові переходи газ-рідина	2
25	Критична точка	2
26	Модель Ізінга	2
27	Теорія фазових переходів Ландау	2
28	Теорія фазових переходів Ландау-Гінзбурга	2
	Разом	56

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювати розділ “Вступ до теплової фізики”	14
2	Опрацювати розділ “Термодинаміка”	18
3	Опрацювати розділ “Теорія ансамблів”	12
4	Опрацювати розділ “Класичні гази”	12
5	Опрацювати розділ “Квантові гази”	42
6	Опрацювати розділ “Фазові переходи”	30
	Разом	128

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 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 від 1 до 3 балів, в залежності від складності задачі та повноти розв'язання. Ступінь складності задачі в завданні позначається зірочками (одна зірочка – 1 бал).

Бали за експрес-контроль на лекціях, активну роботу в аудиторії і розв'язання задач для самостійної роботи складаються в підсумкову оцінку за розділ.

В осінньому семестрі для отримання максимального балу за семестр студенту необхідно набрати по 10 балів за кожний розділ. Загалом за експрес-контроль на лекціях, активну роботу на практичних заняттях і розв'язання задач можна отримати до 40 балів.

У весінньому семестрі для отримання максимального балу за розділ студенту необхідно набрати 30 балів за розділ V та 10 балів за розділ VI. Загалом за експрес-контроль на лекціях, активну роботу на практичних заняттях і розв'язання задач можна отримати до 40 балів.

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. За кожне теоретичне питання можна отримати до 5 балів, і ще 10 балів можна отримати за правильно розв'язану задачу.

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. За кожну відповідь він може отримати до 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	Розділ 4	Контрольна робота	Разом		
T1-T5	T6-T10	T11-T13	T14-T16				
10	10	10	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 6	Контрольна робота	Разом		
T17-T23	T24-T28				
30	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. Ю.Б. Румер, М.Ш. Рывкин. "Термодинамика, статистическая физика и кинетика", 2000.
2. М.А. Леонтович. "Введение в термодинамику. Статистическая физика", 1983.
3. Daniel V. Schroeder. "An Introduction to Thermal Physics", 2000.

4. David Tong. "Lectures on Statistical Physics", 2012.
5. Mehran Kardar. "Statistical Physics of Particles", 2007.
6. Керзон Хуанг. "Статистическая механика", 1967.
7. Джеймс П. Сетна. "Статистическая механика. Энтропия, параметры порядка, теория сложности", 2013.
8. А.С. Кондратьев, П.А. Райгородский. "Задачи по термодинамике, статистической физике и кинетической теории" (2007).

Допоміжна література

1. Frederick Reif. "Fundamentals of Statistical and Thermal Physics", 1965.
2. Mehran Kardar. "Statistical Physics of Fields", 2007.
3. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. "Теоретическая физика, том 5: Статистическая физика", 2002.
4. Ю.Л. Климонтович. "Статистическая физика", 1982.
5. А.М. Федорченко. "Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика" (1993).
6. Риого Кубо. "Статистическая механика", 1967.
7. Чарльз Киттель. "Элементарная статистическая физика", 1960.
8. Чарльз Киттель. "Статистическая термодинамика", 1977.
9. П. Ландсберг. "Задачи по термодинамике и статистической физике" (1974).

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.