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

"__" серпня 2025 р.

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Термодинаміка і статистична фізика. Частина 2

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 "28" 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 "28" 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 2» 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	
8-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 І. Термодинаміка.

Тема 1: Термодинамічні системи та рівняння стану.

Температура і теплота. Газові закони. Стан речовини та рівняння Ван-дер-Ваальса.

Тема 2: Перший закон термодинаміки.

Термодинамічні системи. Нульовий закон термодинаміки. Приклад: рівняння стану. Температурна шкала ідеального газу. Перший закон термодинаміки. Квазістаціонарні процеси. Функції відгуку.

Тема 3: Другий закон термодинаміки.

Ідеалізовані теплові двигуни і холодильники. Другий закон термодинаміки. Двигуни Карно. Теорема Карно. Ефективність теплових двигунів і температура.

Тема 4: Ентропія термодинамічних систем.

Теорема Клаузіуса та її наслідки. 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: Нерівноважна термодинаміка.

Термодинамічні сили і потоки. Принцип Онзагера.

Тема 8: Реальні теплові двигуни.

Двигуни внутрішнього згоряння. Паровий двигун.

Тема 9: Реальні холодильники.

Холодильні системи. Процес Джоуля-Томсона. Скраплення газів. Наближення до абсолютного нуля.

Тема 10: Третій закон термодинаміки.

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

Розділ ІІ. Фазові переходи.

Тема 11: Класичний газ із взаємодією

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

Тема 12: Фазові переходи газ-рідина.

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

Тема 13: Критичні явища.

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

Тема 14: Модель Ізінга

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

Тема 15: Теорія фазових переходів Ландау

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

Тема 16: Теорія фазових переходів Ландау-Гінзбурга

Узагальнення теорії Ландау. Доменні стінки. Кореляції. Флуктуації. Критерій Гінзбурга.

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.	8	2	2			4						
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. Нерівноважна термодинаміка.	8	2	2			4						
Тема 8. Реальні теплові двигуни.	8	2	2			4						
Тема 9. Реальні холодильники.	8	2	2			4						
Тема 10. Третій закон термодинаміки.	8	2	2			4						
Разом за розділом 1	76	20	20			36						
Розділ 2. Фазові переходи.												
Тема 11. Класичний газ із взаємодією.	8	2	2			4						
Тема 12. Фазові переходи газ-рідина.	8	2	2			4						
Тема 13. Критичні явища.	8	2	2			4						
Тема 14. Модель Ізінга.	6	2	2			2						
Тема 15. Теорія фазових переходів Ландау.	8	2	2			4						
Тема 16. Теорія фазових переходів Ландау-Гінзбурга.	6	2	2			2						
Разом за розділом 2	44	12	12			20						
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	Нерівноважна термодинаміка.	2

8	Реальні теплові двигуни.	2
9	Реальні холодильники.	2
10	Третій закон термодинаміки.	2
11	Класичний газ із взаємодією.	2
12	Фазові переходи газ-рідина.	2
13	Критичні явища.	2
14	Модель Ізінга.	2
15	Теорія фазових переходів Ландау.	2
16	Теорія фазових переходів Ландау-Гінзбурга.	2
	Разом	32

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Засвоїти теоретичний матеріал, оволодіти математичними методами термодинаміки (зокрема метод якобіанів, перетворення Лежандра, тощо) і розв’язати задачі у самостійній роботі за розділом.	12
2	Засвоїти теоретичний матеріал, оволодіти математичними методами теорії фазових переходів (зокрема, використання статистичної суми та аналізу функції вільної енергії) і розв’язати задачі у самостійній роботі за розділом.	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	Контрольна робота	РГР	Разом		
Т1-Т10	Т11-Т16					
30	10	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. Mehran Kardar. "Statistical Physics of Particles", 2007.
3. David Tong. "Lectures on Statistical Physics", 2012.
4. 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.

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

Допоміжна література

1. D. Kondepudi, I. Prigogine. “Modern Thermodynamics: From Heat Engines to Dissipative Structures”, 1998.
2. A.B. Pippard. “The Elements of Classical Thermodynamics for advanced students of physics”, 1966.
3. Frederick Reif. "Fundamentals of Statistical and Thermal Physics", 2009.
4. А.М. Федорченко. "Квантова механіка, термодинаміка і статистична фізика", 1993.
5. Charles Kittel, Herbert Kroemer. “Thermal Physics”, 1980.
6. 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