

Програму рекомендовано до затвердження Вченою Радою факультету математики, фізики та інформаційних технологій «3» вересня 2020 року, Протокол №1

Розробники програми:

кандидат фізико-математичних наук, доцент Сушко М.Я.

Навчальна програма затверджена на засіданні кафедри теоретичної фізики та астрономії, Протокол № 1 від “31” серпня 2020 року

Завідувач кафедри

(підпис)

Адамян В. М.

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено навчально-методичною комісією (НМК) ФМФІТ:

Протокол № 1 від “ 3 ” вересня _____ 2020 року

Голова НМК

(підпис)

Ніцук Ю.А.

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Термодинаміка і статистична фізика» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки першого (освітньо-професійного) рівня вищої освіти (бакалавр). Галузь знань: 10 – «Природничі науки». Спеціальність: 104 – «Фізика та астрономія», 105-«Прикладна фізика та наноматеріали», «014- Середня освіта (фізика)».

Освітньо-професійна програма: « Фізика та астрономія». «Прикладна фізика та наноматеріали», Середня освіта (фізика).

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Метою викладання навчальної дисципліни є підготовка фахівців, здатних розв'язувати спеціалізовані складні задачі і практичні проблеми, пов'язані з дослідженням фізичних об'єктів і систем, процесів і явищ та їх технічними застосуваннями у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що характеризуються комплексністю і невизначеністю умов та передбачають застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії, а також формування у здобувачів здатності розв'язувати складні спеціалізовані задачі з організації освітнього процесу, які зумовлені закономірностями й особливостями сучасної теорії і методики навчання

1.2. Основними завданнями вивчення дисципліни є:

формування у студентів наступної системи компетентностей, що включають знання, розуміння, уміння та навички кількісного аналізу природних явищ та фізичних процесів у макроскопічних системах з використанням термодинамічних та статистичних методів сучасної фізики:

Інтегральна компетентність – здатність розв'язувати складні спеціалізовані задачі та практичні проблеми з фізики та/або астрономії, прикладної фізики та наноматеріалів у професійній діяльності або у процесі подальшого навчання, що передбачає застосування певних теорій і методів фізики та/або астрономії, математики та інженерії і характеризується комплексністю та невизначеністю умов, а також розв'язувати складні спеціалізовані практичні завдання в галузі середньої освіти, що передбачає застосування концептуальних методів освітніх наук, психології, теорії та методики навчання і характеризуються комплексністю та невизначеністю умов організації освітнього процесу в закладах середньої освіти.

Загальні компетентності згідно з освітньо-професійною програмою «Фізика та астрономія» спеціальності 104 – «Фізика та астрономія»:

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях, ЗК02.
- Здатність бути критичним і самокритичним, ЗК04.
- Здатність приймати обґрунтовані рішення, ЗК05.
- Здатність оцінювати та забезпечувати якість виконуваних робіт, ЗК08.

Загальні компетентності згідно з освітньо-професійною програмою «Прикладна фізика та наноматеріали» спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»:

- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях, ЗК1.
- Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності, ЗК2.
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово, ЗК3.
- Здатність спілкуватися іноземною мовою, ЗК4.
- Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел, ЗК9.
- Здатність працювати автономно, ЗК9.

Загальні компетентності згідно з освітньо-професійною програмою «Середня освіта (Фізика)» спеціальності 014 – «Середня освіта (Фізика)»:

- Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями, ЗК3.
- Здатність працювати в команді, ЗК4.
- Здатність спілкуватися державною мовою як усно, так і письмово, ЗК5.
- Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях, ЗК7.
- Здатність генерувати нові ідеї (креативність), ЗК12.
- Здатність до самоаналізу, самооцінки, самокритичності, самореалізації та самовдосконалення, ЗК14.

Спеціальні (фахові) компетентності згідно з освітньо-професійною програмою «Фізика та астрономія» спеціальності 104 – «Фізика та астрономія»:

- Знання і розуміння теоретичного та експериментального базису сучасної фізики та астрономії, СК16.
- Здатність моделювати фізичні системи та астрономічні явища і процеси, СК21.
- Здатність використовувати базові знання з фізики та астрономії для розуміння будови та поведінки природних і штучних об'єктів, законів існування та еволюції Всесвіту, СК22.
- Здатність працювати з джерелами навчальної та наукової інформації, СК24.
- Здатність самостійно навчатися і опановувати нові знання з фізики, астрономії та суміжних галузей, СК25.
- Розвинуте відчуття особистої відповідальності за достовірність результатів досліджень та дотримання принципів академічної доброчесності разом з професійною гнучкістю, СК26.
- Усвідомлення професійних етичних аспектів фізичних та астрономічних досліджень, СК27.

Спеціальні (фахові) компетентності згідно з освітньо-професійною програмою «Прикладна фізика та наноматеріали» спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали»:

- Здатність використовувати сучасні теоретичні уявлення в галузі фізики для аналізу фізичних систем, СК6.

Спеціальні (предметні) компетентності згідно з освітньо-професійною програмою «Середня освіта (Фізика)» спеціальності 014 – «Середня освіта (Фізика)»:

Здатність використовувати систематизовані теоретичні й практичні знання з фізики та методики навчання фізики у вирішенні професійних завдань, ПК 1.

Володіння математичним апаратом фізики у межах, достатніх для вивчення загального курсу фізики та її теоретичних основ, ПК 2.

1.3. Кількість кредитів 7

1.4. Загальна кількість годин 210

1.5. Характеристика навчальної дисципліни
Обов'язкова/за вибором
Денна форма навчання
Рік підготовки
4-й, 7 і 8 семестри
Лекції
60 год.

Практичні/семінарські
46 год.
Лабораторні
Самостійна робота
104 год.
У тому числі індивідуальні заняття
11 год.

1.6. Заплановані результати навчання:

Згідно з освітньо-професійною програмою «Фізика та астрономія»

спеціальності 104 – «Фізика та астрономія» студенти можуть досягти наступних результатів навчання:

- Знати, розуміти та вміти застосовувати основні положення загальної та теоретичної фізики, зокрема, класичної, релятивістської та квантової механіки, молекулярної фізики та термодинаміки, електромагнетизму, хвильової та квантової оптики, фізики атома та атомного ядра для встановлення, аналізу, тлумачення, пояснення й класифікації суті та механізмів різноманітних фізичних явищ і процесів для розв'язування складних спеціалізованих задач та практичних проблем з фізики та/або астрономії.
- Мати базові навички самостійного навчання: вміти відшукувати потрібну інформацію в друкованих та електронних джерелах, аналізувати, систематизувати, розуміти, тлумачити та використовувати її для вирішення наукових і прикладних завдань.

Згідно з освітньо-професійною програмою «Прикладна фізика та наноматеріали»

спеціальності 105 – «Прикладна фізика та наноматеріали» студенти можуть досягти наступних результатів навчання:

- Знати і розуміти сучасну фізику на рівні, достатньому для розв'язання складних спеціалізованих задач і практичних проблем прикладної фізики.
- Застосовувати сучасні математичні методи для побудови й аналізу математичних моделей фізичних процесів.
- Застосовувати ефективні технології, інструменти та методи експериментального дослідження властивостей речовин і матеріалів, включаючи наноматеріали, при розв'язанні практичних проблем прикладної фізики.
- Застосовувати фізичні, математичні та комп'ютерні моделі для дослідження фізичних явищ, розробки приладів і наукоємних технологій.
- Відшукувати необхідну науково-технічну інформацію в науковій літературі, електронних базах, інших джерелах, оцінювати надійність та релевантність інформації.

Згідно з освітньо-професійною програмою «Середня освіта (Фізика)»

спеціальності 014 – «Середня освіта (Фізика)» студенти можуть досягти наступних результатів навчання:

ПРН 1. Знає та розуміє основні поняття, закони, теорії, загальну структуру, предмет і методи дослідження фізики та методики її навчання, місце і зв'язки в системі наук, етапи історії їх розвитку.

ПРН 2. Аналізує фізичні явища і процеси на основі фізичних законів, теорій, принципів, із застосуванням відповідних математичних методів.

ПРН 11. Знає і розуміє математичні методи фізики та розділів математики, що є основою вивчення курсів загальної та теоретичної фізики.

ПРН 17. Демонструє знання та розуміння основ астрономії, загальної та теоретичної фізики.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

4 рік, 7 семестр

Розділ 1. Начала і методи термодинаміки

Тема 1. Базові поняття і закони термодинаміки. Макроскопічний опис речовини, термодинамічні змінні. Постулат про існування стану термодинамічної рівноваги. Поняття температури та її основні властивості. Внутрішня енергія, кількість теплоти та робота. Закон збереження енергії (перше начало термодинаміки). Ентропія та друге начало термодинаміки. Постулат Нернста (третє начало термодинаміки).

Тема 2. Аксиоматичний підхід до термодинамічного опису системи. Екстенсивні змінні. Система аксіом Каллена та їх застосування до простої термодинамічної системи. Умови теплової, механічної та матеріальної рівноваги між частинами замкненої системи. Інтенсивні (польові) змінні. Рівняння стану.

Тема 3. Метод термодинамічних потенціалів. Термодинамічні потенціали: внутрішня енергія, вільна енергія, теплова функція (ентальпія), термодинамічний потенціал Гіббса. Їх фізичний зміст та основні властивості. Знаходження термодинамічних величин за термодинамічними потенціалами. Співвідношення Максвелла, приклади їх застосування. Узагальнення на системи зі змінною кількістю частинок. Термодинамічні потенціали як однорідні функції першого порядку від екстенсивних змінних, рівняння Ейлера. Зв'язок хімічного потенціалу та термодинамічного потенціалу Гіббса. Співвідношення Дюгема–Гіббса.

Тема 4. Термодинамічні коефіцієнти. Означення коефіцієнтів теплового розширення та термічного тиску, ізотермічної та адіабатичної стисливостей, ізотермічного та адіабатичного модулів всебічного стиснення, теплоємностей при сталих об'ємі, тиску чи інших параметрах. Деякі співвідношення між похідними диференційовної функції, приклади їх застосування: зв'язок між коефіцієнтами теплового розширення, термічного тиску та ізотермічної стисливості; зв'язок між теплоємностями при сталих об'ємі і тиску; формула Майєра. Метод якобіанів: означення та основні властивості якобіанів, умова калібрування, приклади застосування: зв'язок між адіабатичною та ізотермічною стисливостями; кількість незалежних термодинамічних коефіцієнтів простої системи.

Тема 5. Умови стійкості рівноваги однорідної системи та рівноваги в зовнішніх полях. Термодинамічні нерівності, їх фізичний зміст. Термодинамічний опис систем, поміщених у зовнішні поля, умови їх рівноваги. Гідростатичний тиск та барометрична формула. Умови хімічної рівноваги. Закон діючих мас.

Розділ 2. Основні положення статистичної фізики рівноважних систем

Тема 1. Статистичні ансамблі та статистичні розподіли. Мікроскопічний розподіл і канонічний розподіл Гіббса. Мікроскопічний підхід до опису конденсованого стану. Динамічний стан механічної системи. Формалізм та рівняння руху Гамільтона. Фазовий простір. Зображення станів системи за допомогою точок фазового простору. Теорема Ліувілля. Поняття про статистичний ансамбль. Статистична функція розподілу, її фізичний зміст. Умова статистичної незалежності. Відшукання статистичних середніх за допомогою функції розподілу. Флуктуації. Рівняння руху для статистичної функції розподілу. Рівноважні стани. Зв'язок функції розподілу з адитивними інтегралами руху. Роль енергії в статистичній фізиці. Мікроскопічний розподіл. Побудова канонічного розподілу Гіббса для системи в термостаті.

Тема 2. Побудова статистичної термодинаміки. Статистичний інтеграл. Вирази для внутрішньої енергії та тиску через статистичний інтеграл. Статистична вага. Ентропія,

її статистичне тлумачення та основні властивості. Рівноважні процеси та перше начало термодинаміки. Вільна енергія системи, її зв'язок зі статистичним інтегралом. Нерівноважні системи та друге начало термодинаміки. Ентропія як міра неупорядкованості системи. Парадокс Гіббса, спосіб його розв'язання в класичній статистиці, пояснення за допомогою принципу тотожності частинок. Квазікласична оцінка об'єму фазового простору, що припадає на один квантових стан. Остаточна форма канонічного розподілу Гіббса в класичній статистиці.

Тема 3. Розподіли Максвелла і Больцмана. Застосування канонічного розподілу Гіббса до ідеальних класичних газів у зовнішньому полі. Розподіли Максвелла для імпульсу, швидкості, їх компонент і модуль, напряму та кінетичної енергії поступального руху молекул. Обчислення найімовірніших значень та середніх значень відповідних величин та середніх значень функцій цих величин. Тиск ідеального газу на пружну стінку. Доплерівське розширення спектральних ліній. Розподіл для повної енергії одноатомного ідеального газу. Розподіл Больцмана та його застосування: барометрична формула; дослід Перрена; розподіл частинок у центрифугі; газ неполярних молекул в електричному полі.

Тема 4. Матриця густини. Чисті та змішані стани квантовомеханічної системи. Матриця густини: означення, рівняння руху. Стаціонарні стани, властивості матриці густини для них. Статистичний розподіл для квантових систем, статистична матриця. Статистична сума, її зв'язок із вільною енергією. Правила переходу до квазікласичного випадку.

Розділ 3. Статистична термодинаміка ідеальних та слабо-неідеальних систем

Тема 1. Класичні ідеальні одноатомні та молекулярні гази. Термічне та калориметричне рівняння стану. Внески різних типів ступенів вільності молекули в теплоємність класичного ідеального молекулярного газу. Класична теорія теплоємності твердого тіла. Термодинамічна теорія збурень. Вплив ангармонічності коливань атомів молекули на формування теплоємності системи.

Тема 2. Ідеальні молекулярні гази з квантованими внутрішніми ступенями вільності. Квантова теорія обертальної та коливальної частин теплоємності, характеристичні температури. Поведінка теплоємності молекулярних газів у широкому інтервалі температур.

Тема 3. Ідеальний парамагнітний газ жорстких магнітних моментів у зовнішньому магнітному полі. Повний магнітний момент та намагніченість газу: функція Ланжевена, її асимптотики, магнітна сприйнятливість, закон Кюрі, магнітна проникність. Ідеальний газ жорстких електричних диполів у зовнішньому електричному полі. Повний дипольний момент, поляризованість та діелектрична проникність такого газу.

Тема 4. Слабконеідеальні гази з короткосяжним парним потенціалом взаємодії. Функції Майєра, обчислення статистичного інтеграла у вигляді віріального розкладу, віріальне рівняння стану, зв'язок другого віріального коефіцієнта з міжмолекулярним потенціалом. Рівняння стану Ван-дер-Ваальса, обчислення коефіцієнтів рівняння через параметри міжмолекулярного потенціалу. Термодинамічні функції газу Ван-дер-Ваальса: внутрішня енергія, ентропія.

Тема 5. Методи охолодження газів. Процес Джоуля–Томсона: коефіцієнт процесу, його обчислення для різних рівнянь стану, інверсія коефіцієнта Джоуля–Томсона, залежність точки інверсії від тиску. Охолодження методом адіабатичного розмагнічування.

Тема 6. Ідеальна класична плазма. Непридатність віріального розкладу для опису плазми. Наближення Дебая–Хюккеля: рівняння Пуассона–Больцмана, випадок розрідженої плазми, екранування, радіус Дебая. Термодинамічні функції плазми: внутрішня енергія, вільна енергія, термічне рівняння стану, ентропія, теплоємність.

4 рік, 8 семестр

Розділ 4. Фазові переходи та критичні явища

Тема 1. Фази. Умови рівноваги фаз. Фазові переходи першого роду. Системи зі змінною кількістю частинок, хімічний потенціал, його основні властивості. Поняття про фази речовини. Умови рівноваги фаз. Правило Гіббса. Приклади фазових діаграм для різних систем. Формула Клапейрона–Клаузіуса. Тиск насиченої пари вздовж кривих співіснування рідина–пара, рідина–тверде тіло. Двофазна область, правило важеля, метастабільні стани. Поверхневі явища, їх роль у зародженні нової фази. Критичний розмір зародкової краплі.

Тема 2. Критична точка. Модель Ван-дер-Ваальса критичної точки. Умови стійкості критичного стану. Параметри критичної точки. Модель Ван-дер-Ваальса: критичні параметри, закон відповідних станів, поведінка фактору стисливості, правило Максвелла, критичні індекси та амплітуди.

Тема 3. Фазові переходи другого роду. Модель Вейса для феромагнетика поблизу точки Кюрі: поняття про молекулярне поле, рівняння стану, структура розв’язку при нульовому та ненульовому зовнішньому полі, критична температура. Модель Ізінга в наближенні Бреґга–Вільямса: основні наближення, обчислення ентропії та конфігураційної енергії, параметр дальнього порядку, вільна енергія, рівняння стану, поведінка намагніченості та теплоємності.

Тема 4. Теорія Ландау. Поняття параметру порядку, структура термодинамічних потенціалів в околі точки фазового переходу, умови рівноваги та стійкості, рівняння стану, симетрична та несиметрична фази, поведінка термодинамічних функцій системи в обох фазах, критичні індекси та амплітуди, вплив зовнішнього поля.

Тема 5. Гіпотеза подібності. Радіус кореляції, процедура великомасштабного усереднення, структура термодинамічного потенціалу в околі критичної точки, зв’язок між полями ефективної та вихідної систем. Критичні індекси, співвідношення між ними.

Розділ 5. Флуктуації в макроскопічних системах

Тема 1. Флуктуаційні ефекти та їх характеристики. Приклади флуктуаційних ефектів: межа чутливості вимірвальних приладів, флуктуаційна е. р. с., молекулярне розсіяння світла, броунівський рух. Дисперсія та відносна величина флуктуацій. Обчислення флуктуацій екстенсивних величин за допомогою канонічних ансамблів. Канонічний ансамбль Гіббса та флуктуації енергії. Великий канонічний ансамбль та флуктуації кількості частинок, флуктуації густини.

Тема 2. Квазітермодинамічна теорія флуктуацій Ейнштейна. Принцип Больцмана, функція розподілу квазітермодинамічних флуктуацій. Розподіл Гаусса, його властивості. Обчислення флуктуацій основних термодинамічних величин.

Розділ 6. Квантові статистики

Тема 1. Розподіли Фермі–Дірака та Бозе–Ейнштейна. Основи квантової статистики. Принцип тотожності частинок. Ідеальні квантові гази, виведення розподілів Бозе–Ейнштейна та Фермі–Дірака, відповідних термодинамічних потенціалів Ω .

Тема 2. Рівноважне електромагнітне випромінювання. Фотони, властивості газу фотонів, оцінка спектрального розподілу кількості коливальних мод, розподіл Планка. Закони Релея–Джинса, Віна, Планка. Термодинамічні функції рівноважного електромагнітного випромінювання.

Тема 3. Гази елементарних частинок. Статистичне виродження. Розподіли частинок за імпульсами, умови статистичного виродження та застосовності розподілу Максвелла–Больцмана, термодинамічний потенціал Ω , рівняння стану та інші термодинамічні функції. Слабко вироджені гази, квантові поправки до рівняння стану Менделєєва–Клапейрона.

Тема 4. Вироджений фермі-газ. Енергія та температура Фермі, швидкість біля поверхні Фермі. Термодинамічні функції електронного газу в металах при нульовому та ненульових значеннях абсолютної температури: хімічний потенціал, внутрішня енергія, теплоємність, тиск, ізотермічна стисливість, відповідні оцінки.

Тема 5. Вироджений бозе-газ. Конденсація Бозе–Ейнштейна, бозе-ейнштейнівський конденсат. Термодинамічні функції виродженого бозе-газу, поведінка в околі точки конденсації Бозе–Ейнштейна. Спостереження конденсації Бозе–Ейнштейна в різних системах.

Розділ 7. Статистична термодинаміка конденсованих систем

Тема 1. Модель Дебая теплоємності кристала. Фонони та інші квазічастинки. Тепловий рух атомів у кристалі, закон Дюлонга–Пті та проблема низькотемпературної поведінки теплоємності. Модель Ейнштейна твердого тіла. Наближення Дебая: коливання кристалічної ґратки, функція розподілу для коливань, гранична частота коливань, характеристична температура Дебая, внутрішня енергія та теплоємність кристала, їх поведінка при високих та низьких температурах. Модель Дебая для кристалів: роль оптичних мод коливань і вплив домішок. Переваги та недоліки моделі Дебая. Рівняння стану Мі–Грюнайзена. Поняття про фонони. Квазічастинки в теорії конденсованих середовищ. Рідкий He4.

Тема 2. Метод кореляційних функцій. Означення та властивості кореляційних функцій: їх фізичний зміст, умова нормування, умова послаблення кореляцій, властивості симетрії для просторово однорідних та ізотропних систем. Знаходження середніх значень величин адитивного типу через кореляційні функції. Рівняння стану та стисливість у термінах парної кореляційної функції, можливості її експериментального вимірювання. Ланцюжок рівнянь ББГКІ для знаходження кореляційних функцій.

3. Структура навчальної дисципліни

Тема	Кількість годин					
	Усього	Лек.	Пр.	Лаб.	Інд.	СР
1	2	3	4	5	6	7
Розділ 1. Начала і методи термодинаміки						
Тема 1. Базові поняття і закони термодинаміки.	2	2				
Тема 2. Аксиоматичний підхід до термодинамічного опису системи.	8	2				6
Тема 3. Метод термодинамічних потенціалів.	8	2	2			4
Тема 4. Термодинамічні коефіцієнти.	8	2	2			4
Тема 5. Термодинаміка ідеального газу та газу Ван-дер-Ваальса. Методи охолодження газів.	8	2	4			2
Тема 6. Умови стійкості рівноваги однорідної системи та рівноваги в зовнішніх полях.	8	2				6
Розділ 2. Основні положення статистичної фізики рівноважних систем						
Тема 1. Статистичні ансамблі та статистичні розподіли. Мікроканонічний розподіл і канонічний розподіл Гіббса.	9	3				6
Тема 2. Побудова статистичної термодинаміки.	9	3				6
Тема 3. Розподіли Максвелла і Больцмана.	13	1	6			6
Тема 4. Матриця густини.	10	2				8
Розділ 3. Статистична термодинаміка ідеальних та слабо-неідеальних систем						
Тема 1. Класичні ідеальні одноатомні та молекулярні гази	9	1	6			2
Тема 2. Ідеальні молекулярні гази з квантованими внутрішніми ступенями вільності.	10	2	4			4
Тема 3. Ідеальний парамагнітний газ жорстких магнітних моментів у зовнішньому магнітному полі.	4	2	2			
Тема 4. Слабонеідеальні гази з короткосяжним парним потенціалом взаємодії.	8	2	2			4
Тема 5. Ідеальна класична плазма.	6	2	2			2

Розділ 4. Фазові переходи та критичні явища						
Тема 1. Фази. Умови рівноваги фаз. Фазові переходи першого роду.	8	2				6
Тема 2. Критична точка. Модель Ван- дер-Вальса критичної точки.	6	2	2			2
Тема 3. Фазові переходи другого роду.	6	2				4
Тема 4. Теорія Ландау.	8	2	2			4
Тема 5. Гіпотеза подібності.	4	2	2			
Розділ 5. Флуктуації в макроскопічних системах						
Тема 1. Флуктуаційні ефекти та їх характеристики.	8	2				6
Тема 2. Квазітермодинамічна теорія флуктуацій Ейнштейна.	6	2	2			2
Розділ 6. Квантові статистики						
Тема 1. Розподіли Фермі–Дірака та Бозе–Ейнштейна.	5	2				3
Тема 2. Рівноважне електромагнітне випромінювання..	5	2	2			1
Тема 3. Гази елементарних частинок. Статистичне виродження.	4	2				2
Тема 4. Вироджений фермі-газ.	10	2	2			6
Тема 5. Вироджений бозе-газ.	6	2	2			2
Розділ 7. Статистична термодинаміка конденсованих систем						
Тема 1. Модель Дебая теплоємності кристала. Фонони та інші квазічастинки.	9	3	2			4
Тема 2. Метод кореляційних функцій.	5	3				2
Усього годин	210	60	46		24	104

4. Темі практичних занять

№	Назва теми	Кількість годин
1	Побудова термодинамічних потенціалів: внутрішня енергія, вільна енергія, теплова функція (ентальпія), термодинамічний потенціал Гіббса. Знаходження термодинамічних величин за ними. Співвідношення Максвелла, рівняння Ейлера, Дюгема–Гіббса. Властивості хімічного потенціалу.	2
2	Термодинамічні співвідношення та перетворення: калоричні рівняння, співвідношення між термодинамічними похідними, метод якобіанів. Їх застосування: термодинаміка електромагнітного випромінювання,	2

	співвідношеннями між термодинамічними коефіцієнтами.	
3	Термодинаміка ідеальних класичних газів: ентропія, робота та кількість переданого тепла для різних процесів, хімічний потенціал.	2
4	Термодинаміка газу Ван-дер-Ваальса. Процес Джоуля–Томсона.	2
5	Поступальний рух молекул та нормовані розподіли Максвелла для імпульсу, швидкості, компонент імпульсу та швидкості, модуля імпульсу та швидкості, напрямку руху та кінетичної енергії молекул. Найімовірніші значення цих величин. Обчислення середніх значень цих величин та функцій від них.	2
6	Тиск ідеального газу на пружну стінку. Доплерівське розширення спектральних ліній.	2
7	Розподіл Больцмана для частинок ідеального газу в зовнішніх полях та його застосування: барометрична формула, дослід Перрена, розподіл частинок у центрифuzі.	2
8	Статистична термодинаміка ідеального класичного одноатомного газу: статистичний інтеграл; вільна енергія; внутрішня енергія; тиск, термічне рівняння стану, рівняння ізотермічного, ізохоричного та ізобаричного процесів; ізотермічна стисливість; коефіцієнт теплового розширення; ентропія; питомі теплоємності при сталих об'ємі та тиску; рівняння адіабатичного процесу. Змішування ідеальних класичних газів, парадокс Гіббса, урахування тотожності частинок.	2
9	Статистична термодинаміка ідеальних класичних двоатомних газів: поступальна, обертальна та коливальна частини статистичного інтеграла, урахування симетрії молекул, внески різних ступенів вільності в термодинамічні функції газу.	2
10	Статистична термодинаміка ідеальних класичних багатоатомних газів. Обчислення класичних значень теплоємності для газів молекул різних типів (лінійних, нелінійних, жорстких, пружних). Суміші ідеальних газів. Закон Дальтона. Термодинаміка ультра релятивістського газу.	2
11	Статистична термодинаміка системи незалежних квантових осциляторів: статистична сума, вільна та внутрішня енергії, теплоємність, їх високотемпературні та низькотемпературні асимптотики.	2
12	Статистична термодинаміка системи незалежних квантових ротаторів: статистична сума, статистична сума, вільна та внутрішня енергії, теплоємність, їх високотемпературні та низькотемпературні асимптотики. Характеристичні температури та поведінка ідеальних газів двоатомних молекул у широких температурних інтервалах	2
13	Газ неполярних молекул в електричному полі. Дипольний газ у зовнішньому полі: розподіл за орієнтаціями диполів, дипольний момент та діелектрична проникність газу.	2
14	Віріальне рівняння стану. Рівняння стану Ван-дер Ваальса. Обчислення параметрів цих рівнянь через парний потенціал міжмолекулярної взаємодії.	2
15	Екранування зарядів у плазмі: потенціал поля зарядженої частинки, радіус Дебая, розподіл заряду в околі виділеної частинки. Екранування йонів у розчинах електролітів.	2
16	Критична точка. Модель Ван-дер-Ваальса: параметри критичної точки, рівняння критичної ізохори, критичної ізотерми та кривої співіснування фаз, поведінка стисливості при переході через критичну точку. Відповідні критичні індекси та критичні амплітуди.	2
17	Термодинамічні функції ізотропного магнетика поблизу точки Кюрі в	2

	теорії Ландау: термодинамічний потенціал, спонтанна намагніченість, ентропія, питомий об'єм, теплоємність, стисливість, магнітна сприйнятливність.	
18	Гіпотеза подібності: обчислення критичних індексів, рівності Відома, Рашбрука–Куперсміта, Гріффітса.	2
19	Квазітермодинамічна теорія флуктуацій Ейнштейна: вибір незалежних змінних, статистичні розподіли для флуктуацій температури та об'єму, тиску та ентропії, обчислення за їх допомогою других моментів флуктуацій термодинамічних величин. Обчислення моментів флуктуацій термодинамічних величин за допомогою статистичних ансамблів.	2
20	Спектральний розподіл Планка для чорного випромінювання. Закони Релея–Джинса та Віна, закон зміщення Віна. Закон Стефана–Больцмана: виведення за допомогою спектрального розподілу Планка, термодинамічне виведення Больцмана. Енергія, тиск, термодинамічний потенціал Ω , хімічний потенціал та інші термодинамічні функції рівноважного електромагнітного випромінювання.	2
21	Повністю вироджений фермі-гази, енергія та температура Фермі, швидкість біля поверхні Фермі. Термодинамічні функції виродженого електронного газу при нульовому значенні абсолютної температури: хімічний потенціал, внутрішня енергія, теплоємність, тиск, ізотермічна стисливість, відповідні числові оцінки. Термодинамічні функції виродженого електронного газу	2
22	Вироджений бозе-газ. Конденсація Бозе–Ейнштейна. Поведінка термодинамічних функцій виродженого бозе-газу в околі температури конденсації.	2
23	Модель Дебая для двовимірної та одновимірної моделей кристала: відшукування функцій розподілу, обчислення внутрішньої енергії та теплоємності, аналіз їх високотемпературної та низькотемпературної поведінки. Рівняння стану Мі–Грюнайзена.	2
	РАЗОМ	46

5. Теми лабораторних занять

Лабораторні заняття не передбачені навчальним планом

6. Завдання для самостійної роботи

№	Назва теми	Кількість годин
1	Системи аксіом термодинаміки.	6
2	Розширення термодинаміки на непрості системи, включаючи діелектрики і магнетики.	4
3	Виведення термодинамічних співвідношень за допомогою методу якобіанів.	4
4	Інверсія коефіцієнта Джоуля–Томсона. Залежність точки інверсії від тиску.	2
5	Розподіл температури в атмосфері.	2
6	Умови хімічної рівноваги. Закон діючих мас.	4
7	Виведення розподілу Максвелла на основі припущень про	2

	ізотропність простору та статистичну незалежність компонент швидкості, визначення параметрів у ньому.	
8	Розподіл Максвелла за кутовими швидкостями молекули.	4
9	Розподіл для повної енергії одноатомного ідеального газу та мікроканонічний розподіл.	2
10	Типи канонічних розподілів у статистичній фізиці.	4
11	Ентропія та інформація.	6
12	Чисті та змішані ансамблі.	2
13	Закон зростання ентропії в рамках статистичної фізики.	6
14	Термодинамічна теорія збурень. Вплив ангармонізму коливань молекул газу на його теплоємність.	2
15	Роль електронної та електронно-коливальної частин спектра молекул газу у формуванні його теплоємності. Урахування спіну ядра.	4
16	Віріальне рівняння стану для суміші газів.	4
17	Термодинамічні функції класичної розрідженої плазми: внутрішня енергія, вільна енергія, тиск, ентропія, теплоємність.	2
18	Крива співіснування в моделі тверде тіло як набір одновимірних гармонічних осциляторів—пара як ідеальний газ, прихована теплота переходу.	2
19	Модель зародження нової фази: термодинамічний потенціал з урахуванням енергії поверхневого натягу, форма зародкової краплі, стрибок тиску на її поверхні, тиск над нею та його залежність від радіусу краплі, критичний розмір краплі, вплив розміру крапель на процес конденсації. Бульбашкова камера Вільсона	4
20	Стрибок теплоємності газу Ван-дер-Ваальса при переході через критичну точку.	2
21	Модель Ізінга в наближенні Бреґга–Вільямса: обчислення ентропії та конфігураційного інтеграла, рівняння стану, намагніченості, теплоємності.	2
22	Термодинаміка надпровідників: хімічні потенціали надпровідної та нормальної фаз, особливості поведінки ентропії, питомого об'єму та теплоємності при переході між фазами, вплив зовнішнього поля.	2
23	Модель Ландау для систем зі скалярним параметром порядку.	2
24	Фазові переходи в сегнетоелектриках у рамках моделі Ландау.	2
25	Молекулярне розсіяння світла. Спектр розсіяння в рідинах і газах.	4
27	Броунівських рух: рівняння Ланжевена, співвідношення Ейнштейна між коефіцієнтами дифузії та рухливості частинки.	2
26	Флуктуації у великому канонічному ансамблі Гіббса.	2
28	Статистична вага та ентропія нерівноважних фермі- та бозе-газів. Виведення розподілів Бозе–Ейнштейна та Фермі–Дірака з умови максимуму ентропії. З'ясування фізичного змісту параметрів у цих розподілах за допомогою першого начала термодинаміки.	3
29	λ –Розподіл Планка: закон зміщення Віна в термінах довжини хвилі чорного випромінювання, температура поверхні Сонця.	1
30	Рівняння стану для ідеальних квантових газів: нерелятивістський та релятивістський випадки. Квантові поправки до рівняння стану слабо вироджених ідеальних газів.	2
30	Парамагнетизм та діамагнетизм газу вільних електронів.	2
31	Електрони та дірки в напівпровідниках: концентрації електронів провідності та дірок, положення рівня Фермі.	2
32	Внески електронів та дірок у внутрішню енергію та теплоємність	2

	напівпровідника.	
33	Обчислення термодинамічних функцій бозе-газу в околі точки конденсації Бозе–Ейнштейна.	2
34	Коливання в одновимірному ланцюжку однакових атомів. Закон дисперсії коливальних мод, функція розподілу коливань	2
36	Квазічастинки в He4: ротони та фонони, їх кількість та внески у вільну енергію, ентропію та теплоємність He4.	2
	Парна кореляційна функція для різних середовищ.	2
	РАЗОМ	104

7. Теми індивідуальних занять

1. Термодинаміка діелектриків і магнетиків.
2. Моделі термостатів.
3. Великий канонічний розподіл Гіббса та T – P – N розподіл.
4. Інформаційна ентропія Шеннона. Обмеження Шеннона–фон Неймана–Ландауера.
5. Основне кінетичне рівняння і принцип зростання ентропії.
6. Орто- та параводень.
7. Гамільтоніан Гінзбурга–Ландау–Вільсона. Парна кореляційна функція Орнштейна–Церніке.
8. Модель Гейзенберга та XYZ-модель в теорії феромагнетизму.
9. Теорема Пайєрлса–Боголюбова і наближення середнього поля для магнетиків.
10. Метод Дарвіна – Фаулера в теорії ідеальних квантових газів.
11. Парна кореляційна функція для системи твердих куль.

8. Методи навчання

При викладанні дисципліни використовуються наступні форми навчального заняття: лекції, практичні заняття, самостійна робота та індивідуальні заняття. Під час проведення лекцій застосовуються пояснювально-ілюстративний, евристичний, репродуктивний методи навчання та метод проблемного викладення. Під час практичних занять використовуються репродуктивний та частково-пошуковий методи навчання. Під час самостійної роботи використовується дослідницький метод навчання. Індивідуальні заняття проводяться з окремими студентами з метою підвищення рівня їх підготовки та розкриття потенційних творчих здібностей.

9. Методи контролю

Поточне опитування, перевірка домашніх завдань, перевірка самостійної роботи, обговорення тем індивідуальних занять, підсумкові залікові та екзаменаційні роботи.

Підсумкові бали для оцінки знань студентів за розділ розраховуються таким чином:

№	Вид роботи	Форма контролю	Максимальне число балів
1.	Відвідування занять	Конспект	1
2	Аудиторна активність студента		1
2	Виконання класних і домашніх завдань, самостійної роботи	Письмові розв'язки, письмові та усні відповіді	4
3	Сума		6

10. Схема нарахування балів

V семестр

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання				Підсумкова контрольна робота (залік)	Підсумковий бал*
Розділ 1	Розділ 2	Розділ 3	Індивідуальні заняття		
30	24	40	6	100	100

* Обчислюється як середнє від двох балів: балу поточного контролю за активністю студента (включаючи самостійну роботу та індивідуальні завдання) та балу за підсумкову контрольну роботу.

VI семестр

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальні завдання					Підсумкова контрольна робота (екзамен)	Підсумковий бал*
Розділ 4	Розділ 5	Розділ 6	Розділ 7	Індивідуальні заняття		
30	15	35	15	5	100	100

* Обчислюється як середнє від двох балів: балу поточного контролю за активністю студента (включаючи самостійну роботу та індивідуальні завдання) та балу за підсумкову контрольну роботу.

11. Критерії оцінювання навчальних досягнень

Підсумковий семестровий контроль (залік, екзамен) проводиться в письмовій формі у вигляді письмової контрольної роботи, що оцінюється за 100-бальною шкалою. Вона складається з таких чотирьох розділів, що оцінюються наступним чином:

А. Математичні означення та базові співвідношення. Тестові запитання (загальною кількістю до 10) з наведеними відповідями у вигляді певних формул, одна з яких правильна. Оцінювання відповіді на кожне запитання:

- правильна відповідь – 2 бали, неправильна відповідь – 0 балів.

В. Аналіз правильності тверджень Тестові запитання (загальною кількістю до 12) з наведеними відповідями у вигляді певних тверджень, одне з яких правильне. Оцінювання відповіді на кожне запитання:

- правильна відповідь – 3 бали, неправильна відповідь – 0 балів.

С. Формулювання законів, означень, понять. Теоретичні питання (загальною кількістю до 8), на які треба дати власні відповіді. Оцінювання відповіді на кожне питання:

- повна розгорнута відповідь – 4 бали;
- повна розгорнута відповідь, що містить неточності чи суперечності, або повна, але не розгорнута відповідь – 3 бали;
- повна розгорнута відповідь, що містить помилку, або повна, але не розгорнута відповідь, що містить неточності чи суперечності, або неповна відповідь – 2 бали

- повна розгорнута відповідь, що містить дві помилки, або повна, але не розгорнута відповідь, що містить помилку, або неповна відповідь, що містить помилку, неточності чи суперечності – 1 бал
- повна розгорнута відповідь, що містить три і більше помилок, або повна, але не розгорнута відповідь, що містить дві і більше помилок, або неповна відповідь, що містить дві і більше помилок, або відсутність відповіді – 0 балів.

D. Практичне завдання. Дві типові задачі середнього рівня складності. Оцінювання відповіді на кожну задачу:

- повний розв'язок з усіма поясненнями – 10 балів;
- повний розв'язок з усіма поясненнями, що містить незначну неточність – 9 балів;
- повний розв'язок з усіма поясненнями, що містить дрібну обчислювальну помилку, або повний розв'язок, де окремі пояснення відсутні чи містять неточності – 8 балів;
- повний розв'язок з усіма поясненнями, що містить помилку, або повний розв'язок, де відсутні пояснення, або неповний розв'язок – 7 балів;
- повний розв'язок з двома помилками, або неповний розв'язок з помилкою – 6 балів;
- за кожну наступну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
- при наявності правильного пояснення ходу розв'язання, правильних вихідних співвідношень та часткових обчислень – 5 балів;
- за відсутність одного з цих пунктів, або за кожну наступну помилку чи суперечність знімається 1 бал;
- відповідь, що є повністю помилковою, або за відсутність відповіді – 0 балів.

Кількість балів, що студент отримав за письмову контрольну роботу, є сумою балів, що були отримані за кожне завдання з екзаменаційного білету.

Кінцева оцінка виставляється за середнім значенням від суми балів поточного та підсумкового контролю за шкалою, що наведена нижче.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка		
	За шкалою ЄКТС	Для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	A	Відмінно	зараховано
85-89	B	Добре	
75-84	C		
70-74	D	Задовільно	
60-69	E		
35-59	FX	Незадовільно	не зараховано
1-34	F		

12. Рекомендована література Перелік навчально-методичної літератури

1. Основна література

1. Адамян В. М., Сушко М. Я. Основи квантової статистичної фізики. – Одеса: ОНУ, 2020. – 74 с. Електронна версія посібника знаходиться на сайтах

- www.theorphys.onu.edu.ua
http://www.researchgate.net/profile/Miroslav_Sushko1/publications
2. Затовський О. В., Сушко М. Я. Статистична фізика і термодинаміка в задачах. – Одеса: ОНУ, 2014. – 244 с. Електронна версія посібника знаходиться на сайтах www.theorphys.onu.edu.ua
http://www.researchgate.net/profile/Miroslav_Sushko1/publications
 3. Затовський О. В., Бобров Р. О. Термодинаміка і статистична фізика. Методичні вказівки до практичних занять. – Одеса: Астропринт, 2005. – 36 с. Електронна версія вказівок знаходиться на сайті www.theorphys.onu.edu.ua (Також: Затовський А. В. Термодинамика и статистическая физика. Методические указания по решению задач. Части 1 и 2. – Одесса, 1988).
 4. Ансельм А. И. Основы статистической физики и термодинамики. – М.: Наука, 1973. – 424 с.
 5. Базаров И. П. Термодинамика. – М.: Высшая школа, 1991. – 376 с.
 6. Callen H. B. Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics. – New York: John Wiley & Sons, 1985. – 495 p.
 7. Єрмолаєв О. М., Рашба Г. І. Вступ до статистичної фізики і термодинаміки: Навчальний посібник. – Харків: ХНУ, 2004. – 516 с.
 8. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 1. Теория равновесных систем. Термодинамика. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 240 с.
 9. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 2. Теория равновесных систем. Статистическая физика. – М.: Едиториал УРСС, 2002. – 432 с.
 10. Ландау Л. Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Часть 1. – М.: Физматлит, 2010. – 616 с. (Також попередні видання: М.: Наука, 1976. – 584 с. та інші)
 11. Леонтович М. А. Введение в термодинамику. Статистическая физика. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
 12. Румер Ю. В., Рывкин М. Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинетика. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 2000. – 608 с (також попередні видання: М.: Наука, 1977. – 552 с.)
 13. Федорченко А. М. Вступ до курсу статистичної фізики та термодинаміки. – К.: Вища школа, 1973. – 188 с.
 14. Левич В. Г. Введение в статистическую физику. – М.: ГИТТЛ, 1954. – 528 с.
 15. Шиллинг Г. Статистическая физика в примерах. – М.: Мир, 1976. – 432 с.

2. Додаткова література

16. Базаров И. Р., Геворкян Э. В., Николаев П. Н. Термодинамика и статистическая физика. – М.: Изд-во Московского университета, 1986. – 312 с.
17. Балеску Р. Равновесная и неравновесная статистическая механика. (В двух томах) М.: Мир, 1978, 406 с. (т. 1) и 400 с. (т. 2).
18. Боголюбов Н. Н.. Проблемы динамической теории в статистической физике. М.–Л.: Гостехиздат, 1946, 119 с. Див. також Н. Н. Боголюбов. Избранные труды в трех томах. Т. 2. К.: Наукова думка, 1970, с. 99–196.
19. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. Т. 3. Теория неравновесных систем. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 448 с.
20. Климонтович Ю. Л. Статистическая физика. – М.: Наука, 1982. – 608 с.
21. Кондратьев А. С., Романов В. П. Задачи по статистической физике. – М.: Наука, 1992. – 152 с.
22. Кубо Р. Термодинамика. – М.: Мир, 1970. – 304 с.
23. Кубо Р. Статистическая механика. – М.: Мир, 1967. – 452 с.
24. Куни Ф. М., Статистическая физика и термодинамика. – М.: Наука, 1981. – 352 с.
25. Задачи по термодинамике и статистической физике. Под ред. П. Ландсберга. – М. Мир., 1974. – 640 с.

26. Майер Дж., Гепперт-Майер М. Статистическая механика. – М.: Мир, 1980. – 546 с.
27. Самойлович А. Г. Термодинамика и статистическая физика. – М.: ГИТТЛ, 1953. – 368 с.
28. Терлецкий Я. П. Статистическая физика. – М.: Высшая школа, 1973. – 279 с.
29. Уленбек Дж., Форд Дж. Лекции по статистической механике. – М.: Мир, 1965. 308 с.
30. Фейнман Р. Статистическая механика. М.: Мир, 1975. – 407 с.
31. Хуанг Керзон, Статистическая механика, – М.: Мир, 1966. – 520 с.

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

1. Офіційний сайт кафедри теоретичної фізики: <http://theorphys.onu.edu.ua/uk/textbooks>
2. ResearchGate: http://www.researchgate.net/profile/Miroslav_Sushko1/publications
3. Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/>