


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні групи забезпечення
спеціальності
протокол № 1 від « 14 » 08 2023 року
Голова групи  Герасимов О.І.

УЗГОДЖЕНО

Декан ПО факультету
 Чугай А. В.
(назва факультету, прізвище, ініціали)

СИЛЛАБУС
навчальної дисципліни

«Окремі глави технологій захисту навколишнього середовища»
(назва навчальної дисципліни)

183 Технології захисту навколишнього середовища
(шифр та назва спеціальності)

Технології захисту навколишнього середовища
(назва освітньої програми)

<u>магістр</u> (рівень вищої освіти)	<u>заочна</u> (форма навчання)	
<u>2</u> (рік навчання)	<u>6/180</u> (кількість кредитів ЕКТС/годин)	<u>залік</u> (форма контролю)

Фізики та технологій захисту навколишнього середовища
(кафедра)

Одеса, 2023 р.

Автори: Герасимов О.І., зав. каф. Фізики та технологій захисту навколишнього середовища, доктор ф.-м. наук, професор

(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

Кудашкіна Л.С., к.ф.-м.н, доцент кафедри Фізики та технологій захисту навколишнього середовища, доцент

(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

Поточна редакція розглянута на засіданні кафедри загальної та теоретичної фізики від «_14_»__08_____2023 року, протокол №_1__.

Викладачі:

Лекційний модуль: Герасимов О.І., зав. каф. Фізики та технологій захисту навколишнього середовища, доктор ф.-м. наук, професор

(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

практичний модуль: Кудашкіна Л.С., к.ф.-м.н, доцент кафедри Фізики та технологій захисту навколишнього середовища, доцент

(вид навчального заняття: прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

Перелік попередніх редакцій

Прізвища та ініціали авторів	Дата, № протоколу	Дата набуття чинності

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета	Формування у студентів системи знань та навичок з окремих глав технологій захисту навколишнього середовища на шляху дослідження складних динамічних систем різної природи, що включають спеціальні розділи статистичної фізики, задачі переносу радіонуклідів у різних середовищах, клімату, морфогенезу та багато інших. Надати основні уявлення про сучасні методи статистичної фізики та методи їх використання в задачах опису стану та кінетики процесів які відбуваються у навколишньому середовищі.
Компетентність	<p>ЗК03. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.</p> <p>СК02. Здатність використовувати науково-обґрунтовані методи обробки результатів досліджень в галузі технологій захисту навколишнього середовища.</p> <p>СК06. Здатність контролювати й оцінювати ефективність природоохоронних заходів та застосовуваних технологій.</p> <p>СК08. Здатність здійснювати екологічний (радіаційний) моніторинг стану об'єктів навколишнього середовища за параметрами, які характеризують екологічну ситуацію, як в зоні забруднення, так і за її межами.</p>
Результат навчання	<p>ПР03. Використовувати сучасні комунікаційні, комп'ютерні технології у природоохоронній сфері, збирати, зберігати, обробляти і аналізувати інформацію про стан навколишнього середовища та виробничої сфери для вирішення завдань професійної діяльності.</p> <p>ПР13. Використовувати у практичній діяльності знання вітчизняного та міжнародного природоохоронного законодавства.</p> <p>ПР08. Проектувати системи комплексного управління відходами та еколого- економічними аспектами їх утилізації, основами проектування полігонів для розміщення відходів, оцінювати їх вплив на довкілля та людину.</p> <p>ПР16. Здатність здійснювати фізичні вимірювання характеристик забруднених об'єктів навколишнього середовища.</p>
Базові знання	<ol style="list-style-type: none"> 1) фізичні поняття, закони та моделі статистичної фізики; 2) фізична сутність мікроскопічних явищ та методи опису макроскопічних систем; 3) знання теоретичних статистичних розподілів; 4) знання характеристик ідеальних та неідеальних фізичних систем; 5) науково-обґрунтовані підходи до застосування певних теоретичних розподілів до реальних систем навколишнього середовища.
Базові вміння	<ol style="list-style-type: none"> 1) застосовувати отримані теоретичні знання до моделювання складних систем зокрема у задачах радіоекології, та типових задачах навколишнього середовища; 2) вміти будувати криві статистичних розподілів, зокрема за даними радіоекологічних вимірювань; 3) застосовувати методи розрахунку фізичних параметрів систем за допомогою статистичних розподілів.
Базові навички	Практично використовувати методи статистичної фізики.
Пов'язані силлабуси	немає
Попередня	Фізичні основи технологій захисту навколишнього середовища

дисципліна	
Наступна дисципліна	немає
Кількість годин	лекції: 2 год. консультації: 8 практичні заняття: немає лабораторні заняття: немає самостійна робота студентів: 170 год.

ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
(Третій семестр)

2.1. Лекційні модулі.
Лекційний модуль №1

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-Л1	Тема 1. Основні принципи статистики, класичні та квантові функції розподілу.	1	
	1.1. Функції розподілу. Статистична незалежність. Теорема Ліувілля. Роль енергії, мікроканонічний розподіл. Матриця густини.		10
	1.2. Канонічний розподіл Гіббса. Розподіл Максвелла. Вільна енергія в розподілі Гіббса. Розподіл Гіббса зі змінним числом частинок. Вивід термодинамічних співвідношень з розподілу Гіббса.		10
	1.3. Розподіл Больцмана. Нерівноважний ідеальний газ. Зіткнення молекул. Вільна енергія больцманівського ідеального газу. Рівняння стану ідеального газу. Ідеальний газ з постійною теплоємністю. Закон розподілу. Одноатомний ідеальний газ.		10
	Тема 2. Відхилення газів від ідеальності.		
	2.1. Формула Ван-дер-Ваальса. Термодинамічні величини класичної плазми.		10
	2.2. Теорема про рівномірний розподіл енергії за ступенями свободи і теорема про віріал.		10
	Тема 3. Розподіли Фермі і Бозе.		
	3.1. Фермі- та Бозе-гази. Вироджений Електронний газ. Перехід до статистичного розподілу Больцмана.		10
	3.2. Ідеальний Бозе-газ при низьких температурах. Рівняння стану для виродженого бозонного газу.		10
3.3. Ідеальний Фермі-газ при низьких температурах. Електронний газ у металі.	10		
	Модульна тестова контрольна робота №1		5
ЗМ-Л2	Тема 4. Системи багатьох частинок. Фазові переходи другого роду.	1	
	4.1. Розчини. Осмотична теорія розчинів.		9
	4.2. Правило фаз Гіббса. Фазові переходи. Теорія Ландау фазових переходів другого роду.		9
	Тема 5. Кінетичні рівняння та рівняння переносу.		
	5.1. Принцип симетрії Онзагера. кінетичних коефіцієнтів.		9
5.2. Термодинамічний потенціал. Лінійні співвідношення між потоками і термодинамічними силами.	9		
5.3. Кінетичне рівняння Больцмана та методи його розв'язання Н-теорема.	9		
	Модульна тестова контрольна робота №2		5
	Залікова контрольна робота.		5
Разом:		2	140

Настановне заняття – 2 аудиторні години (за розкладом настановної сесії).

Викладачі: Герасимов О.І.,
Кудашкіна Л.С.

На настановній лекції студентам доводяться загальний огляд та особливості вивчення навчальної дисципліни, огляд програми навчальної дисципліни, в т.ч. графік її вивчення, перелік базових знань та вмій (компетентності), огляд завдань на самостійну роботу, графік та форми їх контролю, форми спілкування з викладачем під час самостійного вивчення дисципліни, графік отримання завдань, відомості про систему доступу до навчально-методичних матеріалів, у тому числі через репозитарій електронної навчально-методичної та наукової літератури та систему дистанційного навчання університету тощо.

Консультації – 8 годин:

Викладач: Герасимов Олег Іванович (gerasymovoleg@gmail.com)

Дни тижня: середа з 16.05.

2.2. Практичний модуль №1.

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-П1	Тема 1. Рух в фазовому просторі, ергодичність та стохастичність. Зв'язок розподілу Гіббса з максимумом інформаційної ентропії. Осцилятор в термостаті. Статистичні оператори комплексів частинок. Демон Максвелла та його вигнання.		31
	Тема 2. Магнетизм електронного газу. Вироджений майже ідеальний бозе-газ. Фонони в Бозе-рідині. Електронна Фермі-рідина метал. Квантові кінетичні рівняння.		31
Разом:			30

2.3. Самостійна робота студента та контрольні заходи

Код модуля	Завдання на СРС та контрольні заходи	Кількість годин	Строк проведення
ЗМ-Л1	Підготовка до поточного контролю з теоретичної частини дисципліни: Назва контрольного заходу (обов'язковий): - модульна контрольна робота (МКР)	85	Листопад-січень.
ЗМ-П1	Підготовка до практичного модулю. Розв'язування задач (обов'язковий).	30	Протягом семестру
ЗМ-Л2	Підготовка до лекційного модулю. Назва контрольного заходу (обов'язковий): - модульна контрольна робота (МКР)	50	Лютий-березень
	Залікова контрольна робота.	5	Червень
Разом:		170	

2.3.1. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для ЗМ-Л1, ЗМ-Л2

Методи контролю:

виконання тестових запитань модульної контрольної роботи (МКР).

Оцінювання: модульна контрольна робота проводиться у тестовому форматі за допомогою системи е-навчання. Модульна контрольна робота складається з 10 тестових питань, які охоплюють всі теми даного модуля навчальної дисципліни.

Максимальна оцінка за виконання модульних тестових контрольних робіт дорівнює **60 балів**.

Самостійна робота студента з дисципліни «Окремі глави технологій захисту навколишнього середовища» контролюється викладачем за графіком, наведеним у табл. 2.3, з використанням системи е-навчання, впровадженої в університеті.

2.3.2. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для ЗМ-ПІ

Методи контролю:

розв'язування задач протягом семестру.

Оцінювання: кількість балів за виконання самостійної роботи залежить від дотримання таких вимог:

- своєчасність виконання;
- повний обсяг їх виконання;
- якість виконання.

Максимальна оцінка за виконання роботи з розв'язування задач дорівнює **40 балів**.

2.3.3. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для семестрового заліку

Формою підсумкового семестрового контролюючого заходу з навчальної дисципліни «Окремі глави технологій захисту навколишнього середовища» є **залік**.

Заходи семестрового контролю (заліки або екзамени) можуть проводитися з використанням системи е-навчання; у цьому разі перелік цих заліків та екзаменів визначається наказом по університету.

Підсумковий контроль (залік) з дисципліни проводиться в період заліково-екзаменаційної сесії і складається з тестових завдань закритого типу, які потребують від студента вибору правильних відповідей з трьох або чотирьох запропонованих у запитанні. Тестові питання формуються по всьому переліку сформованих у навчальній дисципліні знань, а їх загальна кількість складає 20 завдань. Оцінка успішності виконання студентом цього заходу здійснюється у формі кількісної оцінки (бал успішності) та максимально складає **100 балів**. Перехід від кількісної оцінки до якісної оцінки здійснюється

за 2-х бальною системою відповідно до наступної шкали - за правильну відповідь:

на 12-20 питань, це 60-100 балів (60-100%) – «зараховано»;

на менш ніж 12 питань, це менше 60 балів (<60%) – «не зараховано».

Інтегральна оцінка поточного контролю знань та вмінь студентів із навчальної дисципліни «Окремі глави технологій захисту навколишнього середовища» заочної форми навчання складається з оцінок обов'язкових контролюючих заходів теоретичного матеріалу (МКР) та розв'язування задач і будуть підставою для допуску до семестрового контролюючого заходу – залік.

Студент вважається допущеним до підсумкового семестрового контролю - **залік**, якщо він виконав усі види робіт, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни, і набрав за модульною системою не менше 50% від максимально можливої за практичну і теоретичну частини відповідно:

30 балів за теоретичну частину;

20 балів за практичну частину.

3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

3.1. Модуль ЗМ-Л1

3.1.1. Повчання

Тема 1. Основні принципи статистики, класичні та квантові функції розподілу.

Функції розподілу. Статистична незалежність. Теорема Ліувілля. Роль енергії, мікроканонічний розподіл. Матриця густини. Канонічний розподіл Гіббса. Розподіл Максвелла. Вільна енергія в розподілі Гіббса. Розподіл Гіббса зі змінним числом частинок. Вивід термодинамічних співвідношень з розподілу Гіббса. Розподіл Больцмана. Нерівноважний ідеальний газ. Зіткнення молекул. Вільна енергія больцманівського ідеального газу. Рівняння стану ідеального газу. Ідеальний газ з постійною теплоємністю. Закон розподілу. Одноатомний ідеальний газ.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: фазовий простір, фазовий об'єм, фазова траєкторія, ергодична поверхня, щільність ймовірності розподілу механічних станів системи в її фазовому просторі, статистичний ансамбль, фазове і усереднення за часом, s-часткова функції розподілу, підсистема і термостат, статистичний інтеграл, середньоквадратична, середня та найбільш ймовірна швидкості, обчислення ентропії.

Література [1, 2]

Тема 2. Відхилення газів від ідеальності.

Формула Ван-дер-Ваальса. Термодинамічні величини класичної плазми. Теорема про рівномірний розподіл енергії за ступенями свободи і теорема про віріал.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: відмінність реального газу від ідеального, потенціальна енергія взаємодії всіх атомів, статистичний інтеграл для неідеального газу, розподіл енергії за ступенями свободи.

Література [1, 2]

Тема 3. Розподіли Фермі і Бозе.

Фермі- та Бозе-гази. Вироджений Електронний газ. Перехід до статистичного розподілу Больцмана. Ідеальний Бозе-газ при низьких температурах. Рівняння стану для виродженого бозонного газу. Ідеальний Фермі-газ при низьких температурах. Електронний газ у металі.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: статистичний інтеграл замінюється у квантовій статистиці статистичною сумою, частинки одного сорту не просто однакові за своїми властивостями, а зовсім не відрізняються одна від одної, принцип Паулі, як розрізняються ферміони і бозони, енергія Фермі, «сходінка» Фермі.

Література [1, 2]

3.1.2. Питання для самоперевірки

- 1.* Чи можливо самоперетинання фазової траєкторії консервативної механічної системи?
- 2.* Якісно зобразити рух спочатку круглої фазовою краплі для одновимірного вільного руху матеріальної частинки.
- 3.* Що таке статистична вага макроскопічного стану?
- 4.* Що таке Γ -простір?
- 5.* Як розуміти оборотність рівняння Ліувілля?
- 6.* Яке альтернативне формулювання теореми Ліувілля?
7. Які системи називаються ергодичними?
- 8.* Що таке статистичний ансамбль?
- 9.* На якій поверхні лежить фазова траєкторія?
- 10.* Записати вираз для повної функції розподілу.
11. У чому полягає принцип еквівалентності рівноважних ансамблів?
- 12.* Як зв'язані вільна енергія і статистичний інтеграл?
13. Як зв'язані термодинамічний потенціал і статистичний інтеграл?
- 14.* Як зв'язані хімічний потенціал і енергія?
- 15.* Яким рівнянням задається мікроканонічний розподіл?
16. Яким рівнянням задається канонічний розподіл?
- 17.* Записати вираз для великого канонічного розподілу.
- 18.* Який розподіл треба вибрати для визначення термодинамічних властивостей тіла?
- 19.* Записати умову з якої визначається термодинамічний потенціал.
- 20.* Що враховує і що не враховує канонічний розподіл?
- 21.* Чому внутрішня енергія ядер атомів не позначається на термодинамічні характеристики ідеального газу?
- 22.* Що описує барометрична формула?
- 23.* Записати розподіл Максвелла для числа частинок, що припадають на одиницю об'єму.
24. Записати розподіл Больцмана.
25. Що характеризує розподіл Максвелла-Больцмана?

- 26.* Чим відрізняється ідеальний газ від реального?
27. Чому дорівнює повна енергія реального газу?
- 28.* Яке рівняння називають рівнянням стану системи?
- 29* На підставі якого виразу виводиться рівняння стану неідеального газу?
- 30.* Що описує рівняння Ван-дер-Ваальса?
- 31.* У чому полягає фізичний зміст поправок у рівнянні Ван-дер-Ваальса?
- 32.* Який характерний вигляд має потенціал міжатомної взаємодії для одноатомного газу?
- 33.* Записати статистичний інтеграл для неідеального газу.
- 34.* Яке головне припущення ми робимо щодо взаємодії атомів газу?
- 35.* Записати вираз для вільної енергії.
- 36.* Сформулювати теорему про рівномірний розподіл енергії за ступенями свободи.
- 37.* Сформулювати теорему про віріал.
- 38.* Яким розподілом ми користуємось для доведення теореми про рівномірний розподіл енергії за ступенями свободи?
- 39.* Якою функцією потрібна бути потенційна енергія взаємодії частинок?
- 40.* Що треба враховувати при підсумовуванні по всім частинкам крім їх взаємодії?
- 41.* Яку важливу особливість щодо енергії мають квантові системи?
42. Яким розподілом описується квантова система?
- 43.* У чому полягає принцип тождних мікрочастинок, що не розрізняються?
- 44.* Що таке принцип Паулі?
- 45.* Чим розрізняються ферміони і бозони?
- 46.* Що полягає в основі статистики Фермі?
47. За якими умовами статистики Фермі і Бозе переходять у статистику Больцмана?
- 48.* Записати вираз для статистики Фермі.
- 49.* Записати вираз для статистики Бозе.
- 50.* Записати вираз для термодинамічного потенціалу статистики Фермі і Бозе.

(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання - знань, вмінь, навичок).

3.2. Модуль ЗМ-Л2

3.2.1. Повчання

Тема 4. Системи багатьох частинок. Фазові переходи другого роду.

Розчини. Осмотична теорія розчинів. Правило фаз Гіббса. Фазові переходи. Теорія Ландау фазових переходів другого роду.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: число незалежних компонент системи, фазові рівноваги, термодинамічні ступені свободи системи, осмотичний тиск, формула Вант-Гоффа, точка Кюрі, параметр порядку, критичні індекси.

Література [1, 2, 3, 4, 9]

Тема 5. Кінетичні рівняння та рівняння переносу.

Принцип симетрії Онзагера. кінетичних коефіцієнтів. Термодинамічний потенціал. Лінійні співвідношення між потоками і термодинамічними силами. Кінетичне рівняння Больцмана та методи його розв'язання Н-теорема.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: термодинамічні сили і термодинамічні потоки, спряжені термодинамічні процеси, термомеханічний ефект, теплота перенесення, інтеграл зіткнень, рівняння переносу, фізичні значення моментів функції розподілу, число Кнудсена, метод Енскога-Чепмена.

Література [1, 2]

3.2.2. Питання для самоперевірки:

- 1.* Що називається розчином?
- 2.* Яка система називається гомогенною, а яка – гетерогенною?
- 3.* Що називається фазою?
- 4.* Який вигляд має потенціал суміші?
- 5.* Записати розподіл Гіббса для систем, що складаються із різних частинок.
- 6.* Записати умови рівноваги фаз.
7. Сформулювати правило фаз Гіббса.
- 8.* Що таке осмотичний тиск?
- 9.* Записати та пояснити формулу Вант-Гоффа.
- 10.* Як можна охарактеризувати фазові переходи першого та другого роду?
11. Яке трактування фазових переходів запропонував Ландау?
- 12.* Що таке параметр порядку?
13. Якому виразу пропорційний параметр порядку поблизу точки переходу?
- 14.* Яка характеристика має стрибок поблизу точки переходу?
- 15.* Що таке критичні індекси?
16. Який вигляд має рівняння хімічної реакції?
- 17.* Як виглядає умова хімічної рівноваги?
- 18.* Які бувають термодинамічні сили?
- 19.* Якщо в системі протікає одночасно кілька термодинамічних процесів, то від чого залежатиме швидкість кожного з них?
- 20.* Як можна описати процеси згідно з принципом Онзагера?
- 21.* Записати рівняння взаємності Онзагера.
22. Коли можна застосовувати рівняння взаємності Онзагера?
- 23.* Яке співвідношення існує між коефіцієнтами Онзагера?
24. Що таке термомеханічний ефект?
25. Записати вираз для теплоти перенесення.
- 26.* Що дає можливість перейти від опису нерівноважного стану функцією розподілу частинок по всіх координатах q та імпульсах p до спрощеного опису на основі одночастинкової функції розподілу однієї частинки за її координатами та імпульсами?
27. Що є основним методом фізичної кінетики?
- 28.* Які елементи входять до складу кінетичного рівняння Больцмана?
- 29* Що визначає інтеграл зіткнень?
- 30.* Записати вираз для диференціального перерізу розсіяння.

- 31.* Від чого додатково залежить функція розподілу для двоатомних молекул?
- 32.* Як називають різні узагальнення кінетичного рівняння Больцмана?
- 33.* Записати вираз для інтегралу зіткнень.
- 34.* Яким буде рішення кінетичного рівняння Больцмана для системи у рівновазі?
- 35.* У чому полягає гіпотеза про молекулярний хаос? Що вона порушує?
- 36.* Що називають Н-теоремою Больцмана?
- 37.* Записати Н-функцію та її похідну за часом.
- 38.* Чому еквівалентна Н-теоремою Больцмана?
- 39.* Записати моменти нульового, першого та другого порядку для функції розподілу та пояснити їх фізичний зміст.
- 40.* Дати скорочену характеристику одному з методів розв'язання кінетичного рівняння Больцмана.

(* - питання для самоперевірки базових результатів навчання - знань, вмінь, навичок).

3.3. Модуль ЗМ-П1

3.3.1. Повчання

Тема 1. Рух в фазовому просторі, ергодичність та стохастичність. Зв'язок розподілу Гіббса з максимумом інформаційної ентропії. Осцилятор в термостаті. Статистичні оператори комплексів частинок. Демон Максвелла та його вигнання.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[1] Герасимов О.І., Кудашкіна Л.С. Додаткові глави статистичної фізики. Конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2017 – с.27-42. [4] Герасимов О.І., Андріанова І.С. Фізика в задачах. Підручник. Харків, 2017 – задачі з розділу 8, 10-13.

Тема 2. Магнетизм електронного газу. Вироджений майже ідеальний бозе-газ. Фонони в Бозе-рідині. Електронна Фермі-рідина метал. Квантові кінетичні рівняння.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[1] Герасимов О.І., Кудашкіна Л.С. Додаткові глави статистичної фізики. Конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2017 – с. 46-52. [2] Герасимов О.І. Фізична кінетика в задачах та прикладах. Одеса, ОГМІ, 1998 – с. 20-22; 28; 34.

4. ПИТАННЯ ДО ЗАХОДІВ ПОТОЧНОГО, ПІДСУМКОВОГО ТА СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ

4.1. Тестові питання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л1

1. Хімічний потенціал μ це –
Література [1,с.35]
2. Рівняння стану ідеального газу –
Література [1,с.18]
3. Яка величина змінюється при фазовому переході першого роду? –
Література [1,с.37]
4. Н-теорема Больцмана – це теорема про –

- Література* [1,с.50]
5. Фазовий простір це –
Література [1,с.4]
 6. Згідно з принципом Кюрі лінійний закон може зв'язувати термодинамічні сили та потоки –
Література [1,с.43-44]
 7. Точка фазового простору характеризує –
Література [1,с.5]
 8. Рівняння всіх процесів перенесення можуть бути виведені з –
Література [1,с.48]
 9. Метод Енскога – Чепмена застосовується для розв'язання –
Література [1,с.52]
 10. Яка величина змінюється при фазовому переході другого роду? –
Література [1,с.37]
 11. Г-простір це –
Література [1,с.7]
 12. Альтернативне формулювання теореми Ліувілля –
 13. Фазова траєкторія лежить на –
Література [1,с.5]
 14. Статистичний ансамбль це –
Література [1,с.6]
 15. Яке рівняння називають рівнянням стану системи?
Література [1,с.18]
 16. Потенціал міжатомної взаємодії для одноатомного газу має характерний вигляд –
Література [1,с.21]
 17. Вираз для вільної енергії ϵ –
Література [1,с.14]
 18. Вираз для повної функції розподілу –
Література [1,с.5-6]
 19. Рівняння стану неідеального газу виводиться на підставі виразу –
Література [1,с.19-21]
 20. Яку важливу особливість щодо енергії мають квантові системи?
Література [1,с.28]
 21. Принцип Паулі це –
Література [1,с.28]
 22. Принцип еквівалентності рівноважних ансамблів полягає –
Література [1,с.9]
 23. Не флюктують в мікроканонічному ансамблі величини –
Література [3,с.42]
 24. Розподіл Максвелла – Больцмана характеризує –
Література [1,с.18-19]
 25. Термостатом називають систему, яка –
Література [1,с.10]

26. Квантовий об'єм ідеального газу це –
Література [3,с.75]
27. Бозе-конденсація це –
Література [1,с.31]
28. Умова, за якої визначається термодинамічний потенціал –
Література [1,с.16]
29. Барометрична формула це –
Література [1,с.19]
30. Формула Ейнштейна для ймовірності флуктуації в замкненій системі –
Література [3,с.31]

4.2. Тестові питання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л2

1. Які основні властивості кристалічних речовин в статистичній фізиці? –
Література [1,с.25]
2. Як визначається ентропія у статистичній фізиці у макроскопічному виразі? –
Література [1,с.27]
3. Які основні принципи обміну частинками в статистичній фізиці? –
Література [1,с.29]
4. Які головні властивості ферміонних та бозонних систем в статистичній фізиці? –
Література [1,с.31]
5. Яким чином визначається середня енергія фермі-газу при нульовій температурі? –
Література [1,с.35]
6. Які основні властивості критичної точки у фазовому просторі? –
Література [1,с.35]
7. Які головні результати отримані за допомогою моделі Ізінга в статистичній фізиці? –
Література [1,с.42]
8. Які основні принципи квантової статистики та які вони відрізняються від класичної статистики? –
Література [1,с.45]
9. Що таке розподіл Бозе-Ейнштейна та розподіл Фермі-Дірака? –
Література [1,с. 46]
10. Яким чином визначається рівняння стану квантового газу? –
Література [1,с.49]
11. Як виглядає формула для рівняння стану фермі-газу при нульовій температурі? –
Література [1,с.39]

12. Як визначається середня кількість частинок в стані з енергією E в фермі-газу? –
Література [1,с.32]
13. Які основні формули використовуються для опису поведінки системи в околі критичної точки? –
Література [1,с.52]
14. Як виглядає формула для теплоємності при низьких температурах для системи з низькими енергетичними рівнями? –
Література [1,с.56]
15. Як визначається середня енергія системи, яка описується розподілом Бозе-Ейнштейна? –
Література [1,с.57]
16. Як виглядає розподіл Фермі-Дірака для опису стану електронів у твердих тілах? –
Література [1,с.58]
17. Як визначається хімічний потенціал для системи електронів за розподілом Фермі-Дірака? –
Література [1,с.59]
18. Як виглядає формула для концентрації частинок у газі, що описується розподілом Бозе-Ейнштейна? –
Література [2,с.22]
19. Як визначається тиск у газі, який описується розподілом Бозе-Ейнштейна? –
Література [2,с.24]
20. Як виглядає формула для рівняння стану квантового газу у вигляді розкладу у ряд його параметрів? –
Література [2,с.25]
21. Як визначається кількість можливих мікростанів системи в статистичній фізиці? –
Література [2,с.27]
22. Як виглядає формула для енергії системи, яка описується розподілом Фермі-Дірака? –
Література [2,с.40]
23. Як визначається середня енергія системи частинок, що описуються розподілом Бозе-Ейнштейна? –
Література [2,с.42]
24. Запишіть вираз для середньої кінетичної енергії частинки у газі за допомогою температури (T) та маси частинки (m). –
Література [3,с.25]
25. Як визначається енергія Гельмгольца (F) системи у термодинамічних одиницях за допомогою ентропії (S) та енергії (U)? –
Література [3,с.29]

26. Як визначається теплоємність (C_V) у вигляді похідної енергії системи (U) за відношенням до температури (T)? –
Література [2,с.41]
27. Запишіть вираз для середньої кількості частинок (N) у фермі-газі за допомогою константи Больцмана (k), температури (T) та хімічного потенціалу (μ). –
Література [2,с.42]
28. Запишіть вираз для температури Дебая (Θ) для твердих тіл, виходячи з параметрів кристалічної ґратки. –
Література [2,с.44]
29. Як визначається хімічний потенціал (μ) для ідеального фермі-газу у функціональній формі? –
Література [2,с.45]
30. Як виглядає формула для ентропії системи у ферміонному або бозонному газі за допомогою статистичного сумування станів? –
Література [2,с.51]

4.3 Тестові питання до залікової контрольної роботи (підсумкова атестація)

1. Яким розподілом ми користуємось для доведення теореми про рівномірний розподіл енергії за ступенями свободи? –
Література [1,с.25]
2. Час кореляції це –
Література [3,с.35]
3. На якій поверхні лежить фазова траєкторія? –
Література [1,с.5]
4. Що треба враховувати при підсумуванні по всім частинкам, крім їх взаємодії? –
Література [1,с.27]
5. Чим розрізняються ферміони і бозони? –
Література [1,с.29]
6. Фізичний зміст поправок у рівнянні Ван-дер-Ваальса полягає –
Література [1,с.24]
7. Що таке статистичний ансамбль? –
Література [1,с.6]
8. У чому полягає принцип еквівалентності рівноважних ансамблів? –
Література [1,с.8-9]
9. Як зв'язані вільна енергія і статистичний інтеграл? –
Література [1,с.15]
10. За якими умовами статистики Фермі і Бозе переходять у статистику Больцмана?
Література [1,с.30]
11. Що описує барометрична формула? –
Література [1,с.19]

12. За якими умовами статистики Фермі і Бозе переходять у статистику Больцмана? –
Література [1,с.30]
13. Вираз для термодинамічного потенціалу статистики Фермі і Бозе –
Література [1,с.31]
14. Γ – простір це –
Література [1,с.7]
15. Термомеханічний ефект це –
Література [1,с.45]
16. Основним методом фізичної кінетики є –
Література [1,с.46]
17. До складу кінетичного рівняння Больцмана входять елементи –
Література [1,с.46-47]
18. Значення $f(\epsilon)$ на рівні Фермі дорівнює –
Література [3,с.45-46]
19. Електронний газ описується статистикою –
Література [1,с.33]
20. Умови рівноваги двох фаз для двокомпонентної системи –
Література [3,с.17-18]
21. Молекулярне поле в магнітних речовинах є –
Література [3,с.20]
22. Приклади параметрів порядку при фазових переходах другого роду –
Література [3,с.22-23]
23. Кінетичні коефіцієнти це –
Література [3,с.36]
24. Теорема Онзагера це –
Література [3,с.38]
25. Потенціал суміші має вигляд –
Література [1,с.35]
26. Осмотичний тиск це –
Література [1,с.37]
27. В основі принципу детальної рівноваги лежить –
Література [3,с.48]
28. Рівняння стану повністю виродженого фермі-газу
Література [1,с.33]
29. Рівняннями Власова описуються системи –
Література [3,с.49]
30. Формула Ейнштейна для коефіцієнтів дифузії –
Література [3,с.51]
31. Перейти від опису не рівноважного стану функцією розподілу частинок по всіх координатах q та імпульсах p до спрощеного опису на основі одностинкової функції розподілу однієї частинки за її координатами та імпульсами дає можливість –
Література [1,с.46-47]

32. Фізичний зміст моментів нульового, першого та другого порядку для функції розподілу –
Література [1,с.54]

5. ЛІТЕРАТУРА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Основна література

1. Герасимов О.І., Кудашкіна Л.С. Додаткові глави статистичної фізики. Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2017. 62с.
2. Герасимов О.І. Фізична кінетика в задачах та прикладах. Одеса: ОГМІ, 1998. 89с.
3. Герасимов, О. І. Функції розподілу груп частинок у статистичній фізиці. монографія. Одеса: Екологія, 2008. 85с. ISBN 978-966-8740-46-6
4. Герасимов О.І., Андріанова І.С. Фізика в задачах. Підручник. Харків: ФОП Панов А.М., 2017. 564с.
5. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/1270/>

Додаткова література.

6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. Теоретическая физика, т.1. Москва: Госиздат. 1958. 206 с.
7. Аминов Л.К. Термодинамика и статистическая физика. Конспекты лекций и задачи. Казань: Казан. ун-т, 2015. 180с.
8. Базаров И.П., Геворкян Э.В., Николаев П.Н. Задачи по термодинамике и статистической физике. М., 1997. 352 с.
9. Пикулин В.П., Похожаев С.И. Практический курс по уравнениям математической физики. 2-е изд. М.: МЦНМО, 2004. 208 с.
10. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/1271/>