

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні групи забезпечення  
спеціальності  
протокол № 6 від «17» 06 2021 року  
Голова групи Герасимов О.І.

УЗГОДЖЕНО

Декан факультету магістерської підготовки  
Боровська Г. О.  
(назва факультету, прізвище, ініціали)

**СИЛЛАБУС**  
навчальної дисципліни

«Окремі розділи фізики - 3»  
(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>денна</u> (форма навчання)
<u>2</u> (рік навчання)	<u>3</u> (семестр навчання)	<u>6/180</u> (кількість кредитів ЄКТС/годин)
		<u>залік</u> (форма контролю)

Загальної та теоретичної фізики  
(кафедра)

Одеса, 2021 р.

Автори: Герасимов О.І., зав. каф. Загальної та теоретичної фізики, доктор ф.-м. наук, професор  
(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

Кудашкіна Л.С., доцент кафедри Загальної та теоретичної фізики, кандидат ф.-м. наук, доцент  
(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

Поточна редакція розглянута на засіданні кафедри загальної та теоретичної фізики від «\_9\_»\_\_06\_\_\_\_\_2021 року, протокол №\_11\_\_.

Викладачі: Кудашкіна Л.С., доцент кафедри Загальної та теоретичної фізики, к.ф.-м.н, доцент  
(вид навчального заняття: прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

Андріанова І.С., доцент кафедри загальної та теоретичної фізики,  
(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчене звання)

к.ф.-м.н, доцент.

практичні та лабораторні заняття: Андріанова І.С., доцент кафедри загальної та теоретичної фізики, к.ф.-м.н, доцент;  
(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчене звання)

та теоретичної фізики, к.ф.-м.н, доцент;

Кудашкіна Л.С., доцент кафедри загальної та теоретичної фізики, к.ф.-м.н, доцент.

### Перелік попередніх редакцій

Прізвища та ініціали авторів	Дата, № протоколу	Дата набуття чинності

## 1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета	Формування у студентів системи знань та навичок зі спеціальних розділів статистичної фізики на шляху дослідження складних динамічних систем різної природи, таких, зокрема, як 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	<b>СК02.</b> Здатність використовувати науково-обґрунтовані методи обробки результатів досліджень в галузі технологій захисту навколишнього середовища. <b>КВ03.</b> Здатність використовувати теорію та методи нелінійного аналізу при побудові моделі складних нерівноважних, нелінійних процесів та пошуку її розв'язку. □
Результат навчання	<b>ПР13.</b> Вміти визначати на основі знань статистичних розподілів характер, критерії та параметри перерозподілу шкідливих речовин в об'єктах навколишнього середовища та описувати їх динаміку. <b>Р031В.</b> Вміти визначати процеси структуроутворення в нелінійних дисипативних екосистемах. Здатність використовувати теорію та методи нелінійного аналізу при оптимізації екологічно безпечного стану довкілля.
Базові знання	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	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	Окремі розділи фізики-1,2
Попередня дисципліна	немає
Наступна дисципліна	немає □
Кількість годин	лекції: 28 год. практичні заняття: 28 год. лабораторні заняття: немає семінарські заняття: немає самостійна робота студентів: 124 год.

## 2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (Третій семестр)

### 2.1. Лекційні модулі. Лекційний модуль №1

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-Л1	<b>Тема 1. Основні принципи статистики, класичні та квантові функції розподілу.</b>		
	1.1. Функції розподілу. Статистична незалежність. Теорема Ліувілля. Роля енергії, мікроканонічний розподіл. Матриця густини.	2	4
	1.2. Канонічний розподіл Гіббса. Розподіл Максвелла. Вільна енергія в розподілі Гіббса. Розподіл Гіббса зі змінним числом частинок. Вивід термодинамічних співвідношень з розподіла Гіббса.	2	4
	1.3. Розподіл Больцмана. Нерівноважний ідеальний газ. Зіткнення молекул. Вільна енергія больцманського ідеального газу. Рівняння стану ідеального газу. Ідеальний газ з постійною теплоємністю. Закон розподілу. Одноатомний ідеальний газ.	2	4
	<b>Тема 2. Відхилення газів від ідеальності.</b>		
	2.1. Формула Ван-дер-Вальса. Термодинамічні величини класичної плазми.	2	4
	2.2. Теорема про рівномірний розподіл енергії за ступенями свободи і теорема про віріал.	2	4
	<b>Тема 3. Розподіли Фермі і Бозе.</b>		
	3.1. Фермі- та Бозе-гази. Вироджений Електронний газ. Перехід до статистичного розподілу Больцмана.	2	4
	3.2. Ідеальний Бозе-газ при низьких температурах. Рівняння стану для виродженого бозонного газу.	2	4
3.3. Ідеальний Фермі-газ при низьких температурах. Електронний газ у металі.	2	4	
	<b>Модульна тестова контрольна робота №1</b>		5
ЗМ-Л2	<b>Тема 4. Системи багатьох частинок. Фазові переходи другого роду.</b>		
	4.1. Розчини. Осмотична теорія розчинів.	2	4
	4.2. Правило фаз Гібса. Фазові переходи. Теорія Ландау фазових переходів другого роду.	4	4
	<b>Тема 5. Кінетичні рівняння та рівняння переносу.</b>		
	5.1. Принцип симетрії Онсагера кінетичних коефіцієнтів.	2	4
5.2. Термодинамічний потенціал. Лінійні співвідношення між потоками і термодинамічними силами.	2	4	
5.3. Кінетичне рівняння Больцмана та методи його розв'язання Н-теорема.	2	4	
	<b>Залікова тестова контрольна робота</b>		5
	<b>Разом:</b>	28	62

Консультації: Андріанова І.С., згідно з графіком консультацій, затвердженим на засіданні кафедри: вівторок з 16.05 (ауд.301 (2)).

Консультації: Кудашкіна Л.С., згідно з графіком консультацій, затвердженим на засіданні кафедри: вівторок з 16.05 (ауд.303 (2)).

## 2.2. Практичний модуль №1.

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-П1	<b>Тема 1.</b> 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.	14	31
	<b>Тема 2.</b> Магнетизм електронного газу. Вироджений майже ідеальний бозе-газ. Фонони в Бозе-рідині. Електронна Фермі-рідина метал. Квантові кінетичні рівняння.	14	31
Разом:		28	62

## 2.3. Самостійна робота студента та контрольні заходи

Код модуля	Завдання на СРС та контрольні заходи	Кількість годин	Строк проведення
ЗМ-Л1	Підготовка до лекційних занять. Виконання модульної тестової контрольної роботи (обов'язковий).	46	1-3 тиждень
ЗМ-П1	Підготовка до практичних занять. Підготовка до усного опитування (обов'язковий).	28	1-6 тиждень
ЗМ-Л2	Підготовка до лекційних занять. Підготовка до усного опитування (обов'язковий).	45	4-6 тиждень
	Підготовка до залікової тестової контрольної роботи	5	3-7 тиждень
Разом:		124	

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

Організація контролю знань студентів побудована за накопичувально-модульним принципом згідно вимог діючого в університеті Положення «Про проведення підсумкового контролю знань студентів».

З *теоретичного* курсу навчальної дисципліни студент повинен бути готовим відповідати на усні запитання лектора під час лекційних занять.

Формами контролю засвоєння теоретичних знань є усне опитування під час лекційних занять (поточний контроль), модульні контрольні роботи за кожним змістовним модулем (внутрішньо семестровий контроль), складання заліку (підсумкова атестація).

Модульна контрольна робота проводиться у тестовому форматі по завершенню опрацювання матеріалів лекційних занять. Модульна контрольна робота складається з 10 тестових питань, які охоплюють всі теми даного

модуля навчальної дисципліни. Максимальна оцінка за виконання модульної контрольної роботи дорівнює ЗМ-Л1-40 балів, ЗМ-Л2-20 балів.

Максимальна кількість балів, яку студент може отримати з лекційної частини, складає **60 балів**.

### ***2.3.2. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для ЗМ-П1***

Формою контролю практичного модулю ЗМ-П1 є усне опитування та розв'язування задач під час проведення практичних занять за темами лекційного курсу. Всього за практичні заняття студент може отримати **40 балів**. До цієї оцінки входить окрім опитування оцінювання роботи під час розв'язування задач, систематичність підготовки до занять, систематичність відвідування.

### ***2.3.3. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для семестрового заліку***

Допуск до семестрового заліку за підсумками модульного накопичувального контролю регламентуються п. 2.4 Положення про проведення підсумкового контролю знань студентів, а саме, студент вважається допущеним до підсумкового семестрового контролю з навчальної дисципліни, якщо він виконав всі види робіт, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни і набрав за модульною системою суму балів не менше 50 балів від максимально можливої за теоретичну та практичну частину (для заліку). Якщо дисципліна закінчується заліком, то студент пише залікову контрольну роботу, а інтегральна оцінка (В) по дисципліні розраховується за формулою

$$B = 0,75 \times OЗ + 0,25 \times OЗКР,$$

де ОЗ – кількісна оцінка (у відсотках від максимально можливої) за змістовними модулями;

ОЗКР – кількісна оцінка (у відсотках від максимально можливої) залікової контрольної роботи.

Студент, який не має на початок заліково-екзаменаційної сесії заборгованості по дисципліні, що завершується заліком, отримує якісну оцінку («зараховано» або «не зараховано»), якщо має на останній день семестру інтегральну суму балів поточного контролю, достатню (60балів та більше) для отримання позитивної оцінки, та не менше 50 балів за залікову контрольну роботу.

Залікова контрольна робота представляє собою тестові завдання, кожне з яких містить 10 питань, в які входять теми лекційних та практичних модулів. Максимальна можлива оцінка 100 балів еквівалентна 100% правильних відповідей.

### 3. РЕКОМЕНДАЦІ 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 розподіла Гіббса. Розподіл Больцмана. Нерівноважний ідеальний газ. Зіткнення молекул. Вільна енергія больцманського 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-Вальса. 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 статистичної 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  $\Gamma$ -простір?
- 5.\* Як розуміти оборотність рівняння Ліувіля?
- 6.\* Яке альтернативне формулювання теореми Ліувіля?
7. Які системи називаються ергодичними?
- 8.\* Що таке статистичний ансамбль?
- 9.\* На який 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 тотожних 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 Гібса. 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 Гібса для систем, що складаються із різних частинок.
- 6.\* Записати умови рівноваги фаз.
7. Сформулювати правило фаз Гібса.
- 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 одночастинної 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-теорема 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. [3] 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  $\mu$  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 Кюри 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.  $G$ -простір це –  
*Література* [1,с.7]
12. Альтернативне формулювання теореми Ліувіля –
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  $\epsilon$  –  
*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 флюктуують 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.131]

#### **4.2 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.135]
3. На який 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. Г – 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.117-118]
21. Молекулярне поле в магнітних речовинах є –  
*Література* [3,с.120]
22. Приклади параметрів порядку при фазових переходах другого роду –  
*Література* [3,с.122-123]
23. Кінетичні коефіцієнти це –  
*Література* [3,с.136]
24. Теорема Онзагера це –  
*Література* [3,с.138]
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.148]
28. Рівняння стану повністю виродженого фермі-газу  
*Література* [1,с.33]
29. Рівняннями Власова описуються системи –  
*Література* [3,с.149]
30. Формула Ейнштейна для коефіцієнтів дифузії –  
*Література* [3,с.151]
31. Перейти від опису нерівноважного 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.51]

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