

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні групи забезпечення  
спеціальності 183 «Технології захисту  
навколишнього середовища»  
протокол № 6 від «18» 12 2023 року  
Голова групи Г Герасимов О.І.

УЗГОДЖЕНО

Декан природоохоронного ф-ту  
А Колісник А.В.  
(назва факультету, прізвище, ініціали)

СИЛЛАБУС  
навчальної дисципліни

«Методи нелінійної динаміки та аналізу систем  
навколишнього середовища»  
(назва навчальної дисципліни)

183 Технології захисту навколишнього середовища  
(шифр та назва спеціальності)

Технології захисту навколишнього середовища  
(назва освітньої програми)

магістр

(рівень вищої освіти)

заочна

(форма навчання)

1

(рік навчання)

9/270

(семестр навчання)

(кількість кредитів ЄКТС/годин)

іспит

(форма контролю)

Фізика та ТЗНС

(кафедра)

Одеса, 2023 р.

Автори: Герасимов О.І., завідувач кафедри фізики та технологій захисту навколишнього середовища, д-р фіз.-мат. наук, професор  
(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

Кудашкіна Л.С., доцент кафедри фізики та технологій захисту навколишнього середовища, канд. фіз.-мат. наук, доцент  
(прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

Рецензент: Софронков О.Н., д-р техн. наук, професор каф. Фізики та ТЗНС

Поточна редакція розглянута на засіданні кафедри Фізики та ТЗНС від «18» грудня 2023 року, протокол № 6

Викладачі: лекційний модуль – Герасимов О.І., зав. каф. Фізики та ТЗНС, д-р фіз.-мат. наук, професор  
(вид навчального заняття: прізвище, ініціали, посада, науковий ступінь, вчена звання)

лекційний модуль, практичний модуль – Кудашкіна Л.С., каф. Фізики та ТЗНС, канд. фіз.-мат. наук, 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	Метою дисципліни є дати основні уявлення про нерівноважні та нелінійні процеси, що відбуваються у довкіллі, методи їх опису та застосування в задачах моделювання станів та переходів поміж ними.
Компетентність	Здатність використовувати фізичні принципи в екології та закони теоретичного опису властивостей систем із складною морфологією, володіння методичною базою екологічної фізики, застосовуючи її до розв'язання задач захисту навколишнього середовища. Здатність застосовувати теоретичні концепції, що базуються на досягненнях фундаментальних наук до моделювання динаміки станів систем довкілля, оцінки та прогнозування наслідків впливу зовнішніх факторів з метою вибору адекватних заходів забезпечення елементів довкілля. Здатність застосовувати методи статистичного аналізу до даних спостережень. Володіння методами статистичної фізики, молекулярної фізики та термодинаміки для опису та прогнозування міграції забруднюючих речовин у навколишньому середовищі.
Результат навчання	Знати сучасні теорії, підходи, принципи екологічної політики, фундаментальні положення з біології, хімії, фізики, математики, біотехнології та фахових і прикладних інженерно-технологічних дисциплін для моделювання та вирішення конкретних природоохоронних задач у виробничій сфері. Вміти здійснювати фізичне моделювання кінетичних процесів у задачах довкілля, прогнозування характеру міграції забруднюючих речовин у біосфері. Вміти визначати на основі знань статистичних розподілів характер, критерії та параметри перерозподілу шкідливих речовин в об'єктах навколишнього середовища та описувати їх динаміку. Аналізувати складні системи, розуміти їх взаємозв'язки та організаційну структуру. Вміти визначати процеси структуроутворення в нелінійних дисипативних екосистемах. Здатність використовувати теорію та методи нелінійного аналізу при оптимізації екологічно безпечного стану довкілля.
Базові знання	<b>ЗМ-Л1</b> – Знати приклади появи дисипативних структур в навколишньому середовищі і методи оцінки їх стійкості. <b>ЗМ-Л2</b> – Знати приклади складних нелінійних систем у нерівноважних станах. <b>ЗМ-Л3</b> – Знати окремі фундаментальні принципи математичної фізики та застосування їх до розв'язання типових задач складних систем з багатьох компонентів. <b>ЗМ-Л4</b> – Знати основні відомості про інтеграли та ряди, функцій розподілу, Фур'є- та Лаплас- перетворення
Базові вміння	<b>ЗМ-П1</b> – Вміти досліджувати системи з нестійкими та випадковими модами. <b>ЗМ-П2</b> – Вміти користуватись відповідними методами сучасної математичної фізики, застосовуючи їх до розгляду типових рівнянь, які стосуються структури та кінетики домішок у довкіллі, екологічного моніторингу та ін.
Базові навички	Практично використовувати методи нелінійного аналізу при побудові робочої моделі та пошуку її розв'язків, накопичувальний банк даних типових нелінійних моделей та сценаріїв, застосовувати методи

	математичної фізики до кінетичних рівнянь
Пов'язані силлабуси	немає
Попередня дисципліна	немає
Наступна дисципліна	немає
Кількість годин	лекції: 2 год. консультації: 8 практичні заняття: немає лабораторні заняття: немає самостійна робота студентів: 260 год.

## 2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 2.1. Лекційний модуль

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-Л1	<b>Термодинаміка у відкритих системах: рухомі сили та швидкості не обернених процесів</b>	0,5	
	<b>Тема 1.</b> Термодинамічне спряження процесів. Зміна ентропії відкритої системи.		10
	<b>Тема 2.</b> Термодинамічна форма запису кінетичних рівнянь.		10
	<b>Тема 3.</b> Умови кінетичної не оберненості хімічної реакції.		10
	<b>Тема 4.</b> Обчислення енергії активації бруто-процесу. Швидкість-визначаюча та швидкість-лімітуюча стадії.		10
	<b>Тема 5.</b> Зв'язок між стаціонарною швидкістю бруто-процесу та термодинамічними силами.		10
	<b>Тема 6.</b> Співвідношення Онсагера.		10
	<b>Модульна тестова контрольна робота 1</b>		5
ЗМ-Л2	<b>Термодинаміка у відкритих системах: нелінійна термодинаміка</b>	0,5	
	<b>Тема 7.</b> Критерії еволюції Пригожина.		10
	<b>Тема 8.</b> Біологічні додатки. Термомеханічний ефект.		10
	<b>Тема 9.</b> Просторові, часові та просторово-часові дисипативні структури.		10
	<b>Тема 10.</b> Зміни умов співіснування фаз в ході хімічної реакції.		10
	<b>Модульна тестова контрольна робота 2</b>		5
ЗМ-Л3	<b>Алгебра та топологія розподілів. Перетворення Фурь'є.</b>	0,5	
	<b>Тема 11.</b> Функції які задають за допомогою рядів та інтегралів.		10
	<b>Тема 12.</b> Визначення розподілів.		10

	<b>Тема 13.</b> Аналіз розподілів. <b>Тема 14.</b> Фурь'є аналіз. <b>Тема 15.</b> Ряди та інтеграли Фурь'є.		8 8 8
	<b>Модульна тестова контрольна робота 3</b>		5
ЗМ-Л4	<b>Уявлення про спеціальні функції.</b> <b>Тема 16.</b> $\Gamma$ – функція. <b>Тема 17.</b> Функції Бесселя.	0,5	8 8
	<b>Модульна тестова контрольна робота 4</b>		5
	<b>Іспит</b>		20
Разом:		2	200

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

Викладач: 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 вмінь (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: Герасимов О.І., згідно з графіком консультацій, затвердженим на засіданні кафедри: понеділок з 16.05 (ауд.301 (2)); [gerasymovoleg@gmail.com](mailto:gerasymovoleg@gmail.com)

Консультації: Кудашкіна Л.С., згідно з графіком консультацій, затвердженим на засіданні кафедри: п'ятниця з 16.05 (ауд.303 (2)). [kuda2003@ukr.net](mailto:kuda2003@ukr.net)

## 2.2. Практичний модуль

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-П1	<b>Тема 1.</b> Елементи динаміки частинок.		5
	<b>Тема 2.</b> Методи розв'язання рівнянь руху Гамільтонівських систем.		5
	<b>Тема 3.</b> Основні властивості хаосу як особливого стану динамічних систем.		5
	<b>Тема 4.</b> Виявлення локальної нестійкості.		5
	<b>Тема 5.</b> Рух стохастичного атрактора.		5
	<b>Тема 6.</b> Визначення структури атрактора у конкретних випадках.		5
	<b>Тема 7.</b> Побудова фракталів.		5
	<b>Тема 8.</b> Урахування Хаусдорфової вимірності.		5
ЗМ-П2	<b>Тема 1.</b> Застосування методів Фурь'є і Лапласа до розв'язків рівнянь хвильових процесів, дифузії та теплопровідності.		10
	<b>Тема 2.</b> Задачі Коші та її розв'язок.		10
Разом:			60

## 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 контрольної роботи 1 <b>(обов'язковий)</b>	60 5	Листопад-грудень
ЗМ-П1	Підготовка до практичних занять. Розв'язування задач <b>(обов'язковий)</b> .	40	Грудень-січень
ЗМ-Л2	Підготовка до лекційних занять. Виконання модульної контрольної роботи 2 <b>(обов'язковий)</b>	40 5	січень
ЗМ-Л3	Підготовка до лекційних занять. Виконання модульної контрольної роботи 3 <b>(обов'язковий)</b>	44 5	Січень-лютий
ЗМ-Л4	Підготовка до лекційних занять. Виконання модульної контрольної роботи 4 <b>(обов'язковий)</b>	16 5	Лютий-березень
ЗМ-П2	Підготовка до практичних занять. Розв'язування задач <b>(обов'язковий)</b> .	20	Березень
	<b>Підготовка до іспиту</b>	20	заліково-екзаменаційна сесія
Разом:		260	

### **2.3.1. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для лекційних модулів (ЗМ-Л1, ЗМ-Л2, ЗМ-Л3, ЗМ-Л4).**

*Методи контролю:*

виконання тестових запитань і модульних контрольних робіт.

*Оцінювання:* тестовий контроль та модульні контрольні роботи проводяться у тестовому форматі за допомогою системи е-навчання. Контрольні роботи складається з 10 тестових питань кожна, які охоплюють всі теми даних модулів навчальної дисципліни.

Максимальна оцінка за виконання тестових запитань і модульних тестових контрольних робіт дорівнює:

ЗМ-Л1 (МКР-1) – 20 балів,

ЗМ-Л2 (МКР-2) – 20 балів,

ЗМ-Л3 (МКР-3) – 20 балів,

ЗМ-Л4 (МКР-4) – 20 балів.

Разом – **80 балів**.

### **2.3.2. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу для практичних модулів (ЗМ-П1, ЗМ-П2) та самостійної роботи студента.**

*Методи контролю:*

розв'язування задач протягом семестру контролюється викладачем за графіком, наведеним у табл. 2.3, з використанням системи е-навчання, впровадженої в університеті.

*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 **10 балів** за кожний практичний модуль. Разом – **20 балів**.

### **2.3.3. Методика проведення та оцінювання підсумкового заходу з дисципліни**

Формою підсумкового семестрового контролюючого заходу з навчальної дисципліни «Методи нелінійної динаміки та аналізу систем навколишнього середовища» є іспит.

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 (іспит) 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 4-х бальною системою відповідно до наступної шкали - за правильну відповідь:

на 18-20 тестів, це 90-100 балів (90-100%) – «відмінно»;

на 15-17 тестів, це 75-85 балів (74-89%) – «добре»;

на 12-14 тестів, це 70-60 балів (60-73%) – «задовільно»;

на менш ніж 12 тестів, це менше 60 балів (< 60%) – «незадовільно».

Інтегральна оцінка поточного контролю знань та вмінь студентів із навчальної дисципліни «Методи нелінійної динаміки та аналізу систем навколишнього середовища» заочної форми навчання складається з оцінок обов'язкових контролюючих заходів теоретичного матеріалу та практичних завдань (ЗМ-Л, ЗМ-П) вказаних в табл. 2.3 (Самостійна робота студента та контрольні заходи) і будуть підставою для допуску до семестрового контролюючого заходу – іспит.

Студент вважається допущеним до підсумкового семестрового контролю - іспит, якщо він виконав усі види робіт, передбачені робочою навчальною програмою дисципліни «Методи нелінійної динаміки та аналізу систем навколишнього середовища», і набрав за модульною системою суму балів не менше 50% від максимально можливої за практичну частину дисципліни: **10 балів** у сумі за змістовні модулі ЗМ-П1 та ЗМ-П2.

### 3. РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

#### 3.1. Модуль ЗМ-Л1 «Термодинаміка у відкритих системах».

##### 3.1.1. Повчання

**Тема 1.** Термодинамічне спряжиння процесів. Швидкість-визначаюча та швидкість-лімітуюча стадії.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: фізично малі частини системи, елементарні хімічні перетворення, реакційна група, термодинамічні потоки і термодинамічні сили, швидкість виробництва ентропії.

*Література* [1, 2, 3]

**Тема 2.** Зміна ентропії відкритої системи. Термодинамічна форма запису кінетичних рівнянь.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: загальна зміна ентропії відкритої системи, інтермедіати.

*Література* [1, 2, 3]

**Тема 3.** Умови кінетичної необерненості хімічної реакції. Обчислення енергії активації бруто-процесу.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: бруто-процес, енергія активації, складні реакції, швидкості не обернених процесів.

*Література* [1, 2, 3]

**Тема 4-6.** Зв'язок між стаціонарною швидкістю бруто-процесу та термодинамічними силами. Співвідношення Онзагера.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: системи поблизу рівноваги, інтенсивні та екстенсивні параметри одночасний перебіг декілька процесів.

*Література* [1, 2, 3]

### 3.1.2. Питання для самоперевірки:

- 1.\* Які додаткові (по відношенню до трьох «початків» класичної рівноважної термодинаміки) постулати використовуються в побудові теорії термодинаміки нерівноважних процесів?
- 2.\* Коли застосування методів термодинаміки нерівноважних процесів (тобто кінетики-термодинамічної аналізу) є кращим, ніж застосування методів традиційного "чисто кінетичного" опису? Чому?
- 3.\* Як віддаленість від термодинамічної стану проявляється в хімічній кінетиці?
- 4.\* У чому сенс поділу хімічних процесів на бруто-процес і елементарні стадії і реагентів на вихідні реагенти, кінцеві продукти і проміжні продукти-інтермедіати?
- 5.\* Показати, що швидкість приросту ентропії термодинамічної системи за рахунок протікання хімічної реакції дорівнює добутку швидкості реакції на хімічне спорідненість, поділене на температуру, де  $A$  і  $v$  - спорідненість і швидкість хімічної реакції, відповідно.
- 6.\* Дати визначення потоку термодинамічної параметра і термодинамічної сили, що відповідає цьому потоку. Чому дорівнює термодинамічна сила для дифузії речовини?
- 7.\* Дати визначення потоку термодинамічної параметра і термодинамічної сили, що відповідає цьому потоку.
- 8.\* Чому дорівнює термодинамічна сила для перенесення теплоти теплопровідністю?
9. Вивести вираз для термодинамічної сили, що викликає явища теплопровідності в суцільному середовищі без конвекції, і для швидкості виробництва ентропії, викликаного цим явищем у відповідній системі.
10. Виведіть вираз термодинамічної сили, що викликає дифузію речовини.
11. Виведіть рівняння термодинамічної сили для протікання електричного струму через електропровідниками.
- 12.\* Чому при спільному кінетико-термодинамічному аналізі складних хімічних процесів бажано виділити стехіометричну бруто-реакцію і перетворення інтермедіатів?

- 13.\* Скільки кінетично необоротних стадій може бути в стаціонарній бруто-реакції зі спорідненістю 10 кДж / моль?
14. Виведіть вираз термодинамічної сили для протікання хімічної реакції. У яких випадках можна використовувати поняття такої термодинамічної сили?
- 15.\* У чому полягає особливість "термодинамічної форми" записи кінетичних рівнянь? Що являють собою параметри, які використовуються для такого запису і як вони пов'язані з традиційними параметрами, використовуваними в хімічній кінетиці? Коли така форма кінетичних рівнянь є особливо корисною?
- 16.\* Для деякої складної кінетичної схеми необхідно розрахувати залежність від часу концентрацій реагентів, що беруть участь в хімічних перетвореннях. Чи можуть при цьому бути корисними методи термодинаміки нерівноважних процесів? Чому?
- 17.\* У чому сенс теореми Пригожина про мінімум швидкості виробництва ентропії? Які умови застосовності цієї теореми?
- 18.\* Що називають дисипативними структурами? У чому полягає відмінність звичайного стаціонарного стану і дисипативної структури?
- 19.\* Елементи теорії коливань. Лінійні коливання.
- 20.\* Найпростіші нелінійні коливання.
- 21.\* Дисипативні автоколивальні системи.

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

## 3.2. Модуль ЗМ-Л2 «Ентропія та інформація, фазовий простір».

### 3.2.1. Повчання

**Тема 7-8.** Критерії еволюції Пригожина. Біологічні додатки. Термомеханічний ефект.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: швидкість дисипації енергії, стаціонарний стан, умови стаціонарності, кількісний критерій для визначення напрямку еволюції системи.

*Література* [1, 2, 3]

**Тема 9.** Просторові, часові та просторово-часові дисипативні структури. Приклади появи дисипативних структур в каталітичних системах.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: кінетичні фазові переходи, ячейки Бенара, реакція Білоусова-Жаботинського.

*Література* [1, 2, 3]

**Тема 10.** Зміни умов співіснування фаз в ході хімічної реакції.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: теплота переносу, каталітичні реакції.

*Література* [1, 2, 3]

### 3.2.2. Питання для самоперевірки

- 1.\* Коливальні системи. Існування періодичних розв'язків таких систем.
2. Дослідити нелінійне коливальне рівняння
- 3.\* Дослідження окремих рівнянь Лагранжа та Гамільтона
- 4.\* Системи першої та другої ступенів грубості
- 5.\* Критерії існування періодичних розв'язків.
- 6.\* Грубі системи. Загальні визначення. Необхідні умови грубості в системах на площині.
7. «Кількість» грубих систем.
- 8.\* Основи теорії біфуркацій. Біфуркація систем на площині.
- 9.\* Моделі з дискретним часом. Біфуркація у дискретних системах. Теорема Шарковського.
- 10.\* Дослідження атрактору Лоренца. Чисельне дослідження рівнянь Лоренца. Біфуркації в моделі Лоренца.
- 11.\* Фрактальні множини. Умови самоподібність.
12. Приклади моделей, що призводять до хаосу
13. Теорія катастроф. Її суть.
- 14.\* Біфуркація. Основні поняття
- 15.\* Невизначена біфуркаційна задача. Приклад
- 16.\* Хаос у динамічних системах. Критерій виникнення хаосу.
17. Побудувати фазовий портрет нелінійного рівняння коливання.
18. Особливі точки, періодичні рухи, стійкі многовиди
- 19.\* Побудувати фазовий портрет визначеної лінійної стаціонарної системи на площині.
- 20.\* Умова існування центра для системи з квадратичною не лінійністю
- 21.\* Умова існування центра для системи з квадратичною не лінійністю
- 22.\* Обчислення індексу Пуанкаре для особливих точок на площині
23. Геометрична інтерпретація в системах диференціальних рівнянь. Основні поняття та визначення.
24. \*Особі точки лінійних стаціонарних систем на площині. Вузол, сідло, фокус, центр.
- 25.\* Вироджені стани рівноваги.
- 26.\* Можливий характер траєкторій на площині. Стійкі та орбітно-стійкі траєкторії. Граничні точки та граничні множини.
- 27.\* Траєкторії на торі. Відображення тору на площину.
28. Приклади систем диференціальних рівнянь на торі.
- 29.\* Однорідні диференціальні рівняння на площині. Види траєкторій для однорідних рівнянь на площині.
- 30.\* Проблема центра-фокуса. Умови існування центру.
- 31.\* Умови існування центру при наявності лінійних членів.
- 32.\* Побудувати фазовий портрет заданої системи на площині.

33. Побудувати фазовий портрет системи з квадратичною правою частиною на площині.
- 34.\* Перевірити умови існування центру для заданої системи диференціальних рівнянь.
- 35.\* Обчислити індекс Пуанкаре для вузла, сідла та фокуса.

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

### 3.3. Модуль ЗМ-ЛЗ «Алгебра та топологія розподілів. Перетворення Фурь'є».

#### 3.3.1. Повчання

**Тема 11.** Функції які задають за допомогою рядів та інтегралів.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: відомості про ряди, інтеграл Лебега, вимірні функції.

*Література* [1, 2, 3]

**Тема 12.** Визначення розподілів.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: лінійний функціонал, білінійна форма,  $\delta$ -розподіл Дірака, функція Хевісайда.

*Література* [1, 2, 3]

**Тема 13.** Аналіз розподілів.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: диференціювання розподілів.

*Література* [1, 2, 3]

**Тема 14.** Фурь'є аналіз.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: гармонійний аналіз, тригонометричні ряди, коефіцієнти Фурь'є.

*Література* [1, 2]

**Тема 15.** Ряди та інтеграли Фурь'є.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: образ Фурь'є, перетворення Фурь'є, перетворення Лапласа.

*Література* [1, 2, 3]

#### 3.3.2. Питання для самоперевірки:

- 1.\* Детерміновані моделі екологічних систем
- 2.\* Стохастичні моделі екологічних систем
- 3.\* Лінійні і нелінійні моделі екологічних систем
- 4.\* Класифікація задач, що розв'язуються метода математичного моделювання.

5. \*Закони збереження при виведенні рівняння коливань струни.
6. \* Стаціонарна теплопередача та її рівняння.
7. \*Класифікація диференціальних рівнянь у частинних похідних.
8. \*Що описують еліптичні, параболічні та гіперболічні рівняння?
9. \* Крайові задачі.
10. \* Граничні умови.
11. \* Задача Коші для хвильового рівняння.
12. \*Власні значення і власні функції у задачі Штурма-Ліувілля.
13. Змішана крайова задача для хвильового рівняння.
14. Власні функції крайової задачі.
15. \* Формула Даламбера для задачі про вільні коливання нескінченної струни.
16. \*Рівняння теплопровідності стрижня з джерелом тепла.
17. \*Рівняння Пуассона.
18. \*Рівняння теплопровідності стрижня без джерела тепла з нульовою температурою на кінцях.
19. \*Задача про вимушені коливання струни, що закріплена тільки на лівому боці.
20. \*Тригонометричні ряди та гармонійний аналіз.
21. \* Перетворення Фурь'є.
22. Які функції називаються ортогональними?
23. Ортогональність сферичних функцій.

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

### 3.4. Модуль ЗМ-Л4 «Уявлення про спеціальні функції».

#### 3.4.1. Повчання

##### **Тема 16.** $\Gamma$ – функція.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: властивості  $\Gamma$  – функції, застосування  $\Gamma$  – функції.

*Література* [1, 2, 3]

##### **Тема 17.** Функції Бесселя.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: властивості функцій Бесселя, застосування функцій Бесселя.

*Література* [1, 2, 3]

#### 3.4.2. Питання для самоперевірки:

- 1.\* Визначення гамма-функції.
- 2.\* Основні властивості гамма-функцій.
- 3.\* Визначення та властивості функції  $B(p, q)$ .

- 4.\* Основна ідея розв'язання лінійних рівнянь другого порядку.
5. Визначення гіпергеометричного ряду. За яких умов він збіжний?
6. Властивості рекурентних перетворень у гіпергеометричних рядах.
- 7.\* Визначення рівняння Лапласа.
- 8.\* Схема розв'язання рівняння Лапласа методом Фур'є.
- 9.\* Визначення функції Бесселя 1-го роду.
- 10.\* Визначення функції Бесселя напівцілого порядку.
- 11.\* Визначення функції Бесселя 2-го роду, або функції Неймана. Властивості функцій Неймана.
12. Визначення функції Бесселя 3-го роду, або функції Ханкеля.
- 13.\* Визначення функції Бесселя від уявного аргумента. Ортогональність функцій Бесселя. Твірна функція функцій Бесселя.
- 14.\* Інтеграл Бесселя і Пуассона та їх властивості.
15. Асимптотичне зображення функцій Бесселя.
- 16.\* Застосування функцій Бесселя.
- 17.\* Визначення сферичних функцій.
- 18.\* Розкладання в ряд за сферичними функціями.
- 19.\* Формула Родрига.
- 20.\* Поліноми Лежандра.
- 21.\* Ортогональність поліномів Лежандра.
22. Як визначається норма полінома Лежандра?
- 23.\* Рекурентні співвідношення для поліномів Лежандра.
24. Рекурентні співвідношення для приєднаних поліномів Лежандра.
- 25.\* Розкладання функцій у ряд за поліномами Лежандра.
- 26.\* Інтеграл Лапласа.

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

### 3.5. Модуль ЗМ-П1

#### 3.5.1. Повчання

**Тема 1.** Елементи динаміки частинок. Методи розв'язання рівнянь руху Гамільтонівських систем.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[3] Герасимов О.І., Співак А.Я. Механіка суцільних середовищ. Конспект лекцій. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2008 – с. 6-7; [6] Заславський Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988 – с.9-15.

**Тема 2.** Основні властивості хаосу як особливого стану динамічних систем. Виявлення локальної нестійкості.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[3] Герасимов О.І., Співак А.Я. Механіка суцільних середовищ. Конспект лекцій. Одеса:

Одеський державний екологічний університет, 2008 – с. 26-30.

**Тема 3.** Рух стохастичного атрактора. Визначення структури атрактора у конкретних випадках.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[3] Герасимов О.І., Співак А.Я. Механіка суцільних середовищ. Конспект лекцій. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2008 – с. 30-35..

**Тема 4.** Побудова фракталів. Урахування Хаусдорфової вимірності.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[6] Заславський Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988 – с.177-178.

### 3.6. Модуль ЗМ-П2

#### 3.3.1. Повчання

**Тема 1.** Застосування методів Фурь'є і Лапласа до розв'язків рівнянь хвильових процесів, дифузії та теплопровідності.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[1] Герасимов, О. І., Андріанова, І. С., Настасюк, В. А. (2019) Методи математичної і теоретичної фізики в задачах забезпечення довкілля: навчальний посібник. ОДЕКУ, Одеса – с. 39-43; [3] Герасимов О.І., Співак А.Я. Механіка суцільних середовищ. Конспект лекцій. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2008 – с. 6-7.

**Тема 2.** Задачі Коші та її розв'язок.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[1] Герасимов, О. І., Андріанова, І. С., Настасюк, В. А. (2019) Методи математичної і теоретичної фізики в задачах забезпечення довкілля: навчальний посібник. ОДЕКУ, Одеса – с. 53-55; [2] Герасимов О.І. Методи математичної і теоретичної фізики в радіоекологічних дослідженнях. Конспект лекцій. ОДЕКУ, Одеса, 2013 – с. 29-33.

## 4. ПИТАННЯ ДО ЗАХОДІВ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

### 4.1. Тестові питання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л1 (МКР-1).



1. Що таке стан термодинамічної системи? Виразіть в математичній формі, використовуючи просторову координат і час, різні стани гомогенної термодинамічної системи –  
*Література [5,с.17]*
2. Що таке термодинамічний процес? Дайте визначення позитивних, негативних, нерівноважних і рівноважних процесів –  
*Література [5,с.18]*
3. Що означає термін "втрачена робота"? Який її знак при протіканні позитивних і негативних нерівноважних процесів? –  
*Література [5,с.19]*
4. У чому відмінність термінів "перетворення і дисипація енергії"? –  
*Література [5,с.20]*
5. При наявності рівноваги термодинамічні функції застосовують для всієї системи в цілому. Чи можна аналогічним чином поступати в разі нерівноважних систем? –  
*Література [5,с.20]*
6. Що називають фізично нескінченно малою величиною? –  
*Література [5,с.21]*
7. Що таке локальні макроскопічні величини? –  
*Література [5,с.21]*
8. Що являє собою локальна термодинамічна рівновага? –  
*Література [5,с.21]*
9. Який порядок величини часу встановлення локальної рівноваги? –  
*Література [5,с.21]*
10. Яка область застосовності гіпотези про локальної рівновазі? –  
*Література [5,с.22]*
11. Чому рівні екстенсивні термодинамічні функції локально рівноважних систем? Чи має місце в цих системах статистична кореляція між флуктуаціями термодинамічних величин в різних елементах об'єму? –  
*Література [5,с.22]*
12. Які типи нерівноважних систем вивчає термодинаміка? –  
*Література [5,с.23]*
13. Поясніть поняття узагальнена координата, узагальнена сила, узагальнена робота, корисна робота. –  
*Література [5,с.24]*
14. Чому за допомогою єдиної функції - ентропії вдається охарактеризувати всю різноманітність нерівноважних процесів? –  
*Література [5,с.26]*

15. Як записати в диференціальному вигляді для закритої системи вираз для першого закону термодинаміки і об'єднане вираз для першого і другого закону в разі протікання рівноважних і нерівноважних процесів? –  
*Література [5,с.21]*
16. У яких випадках некомпенсована теплота Клаузиуса виявляється рівною зміни внутрішньої енергії, ентальпії, енергії Гельмгольца, енергії Гіббса? –  
*Література [5,с.28]*
17. Яким чином в нерівноважну термодинаміку вводять нову змінну - час? –  
*Література [5,с.29]*
18. Що можна сказати про зміну ентропії в часі в стаціонарному стані? –  
*Література [5,с.29]*
19. Що таке локальна функція дисипації і локальна швидкість виникнення ентропії? Яка між ними зв'язок? –  
*Література [5,с.29]*
20. Як розрахувати повну швидкість виникнення ентропії, тобто швидкість, віднесену до системи в цілому? –  
*Література [5,с.30]*
21. Що називається узагальненою щільністю потоку і узагальненої термодинамічної силою? –  
*Література [5,с.30]*
22. Виведіть співвідношення де Донді, що зв'язує функцію дисипації з потоками і силами. –  
*Література [5,с.31]*
23. Які наслідки про можливість перебігу процесу дає співвідношення де Донді? –  
*Література [5,с.31]*
24. Що можна сказати про взаємозв'язок потоків і сил? Дайте визначення самовільного і вимушеного потоків. Що таке ефект захоплення одних узагальнених координат іншими? –  
*Література [5,с.33]*
25. Як записати в загальному вигляді взаємозв'язок потоків і сил? Що називають лінійної термодинаміки нерівноважних процесів? –  
*Література [5,с.34]*
26. У чому відмінність між рухливістю і провідністю? –  
*Література [5,с.35]*

27. Сформулюйте принцип Кюрі. Яка його роль в нерівноважній термодинаміці? –  
*Література [5,с.35]*
- 28.Що таке співвідношення взаємності Онсагера? –  
*Література [5,с.38]*
- 29.Наведіть приклади перехресних процесів. –  
*Література [5,с.38]*
- 30.Наведіть доказ співвідношення взаємності на прикладі послідовно протікають реакцій. –  
*Література [5,с.39]*

#### **4.2. Тестові питання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л2 (МКР-2).**

1. Фундаментальне рівняння Гіббса в ентропійному поданні в локальному вигляді, де екстенсивні змінні віднесені до одиниці маси і до одиниці об'єму  
*Література [5,с. 56]*
2. Використовуючи закон збереження Умова вкажіть рівняння балансу ентропії для системи, в якій протікає нерівноважний процес при відсутності зовнішніх сил, хімічної реакції і конвективного переносу  
*Література [5,с. 57]*
3. Вказати в рівнянні балансу ентропії потік ентропії, функцію дисипації і термодинамічні сили?  
*Література [5,с. 58]*
4. На прикладі дифузії і теплопровідності покажіть, що поєднання двох нерівноважних процесів призводить до зростання ентропії, пов'язаної з їх взаємним впливом один на одного  
*Література [5,с. 60]*
5. Чому дорівнює втрачена робота і швидкість виникнення ентропії в нерівноважному процесі, що протікає в закритій системі при  $(P, T) = \text{const}$ ?  
*Література [5,с. 60]*
6. Які змінні можуть змінюватися в мимовільному нерівноважному процесі, що протікає в закритій системі при  $(P, T) = \text{const}$ ? Наведіть приклад такого процесу.  
*Література [5,с. 61]*

7. Який загальний алгоритм розрахунку зміни ентропії в нерівноважному нестационарному процесі, якщо відома її локальна швидкість виникнення і щільність потоку через контрольну поверхню?  
*Література [5,с. 62]*
8. Розгляньте процес теплообміну в переривану системі. Вираз для узагальненої сили в цьому процесі  
*Література [5,с. 63]*
9. Рівняння балансу для скалярної екстенсивної величини у перервних системах?  
*Література [5,с. 64]*
10. Які контакти з зовнішнім середовищем може мати замкнена система?  
*Література [5,с. 7]*
11. Рівняння  $\eta = \text{const} \cdot \xi^{v_2/v_1}$  визначає траєкторії у фазовому просторі. Якщо корені рівняння  $v_1, v_2$  комплексні, траєкторіями є.  
*Література [5,с. 198]*
12. Рівняння  $\eta = \text{const} \cdot \xi^{v_2/v_1}$  визначає траєкторії у фазовому просторі. Якщо корені рівняння  $v_1, v_2$  різних знаків, траєкторіями є  
*Література [5,с. 198]*
13. Хімічний потенціал  $\mu$  – це віднесене до однієї частинки значення  
*Література [5,с. 16]*
14. У випадку локальної рівноваги системи, що має характерний розмір  $l$ , її параметри  $\alpha_i$  задовольняють умові (нерівності)  
*Література [5,с. 14]*
15. Поблизу особливої точки фазового портрету, яка представляє собою сідло, фазові траєкторії динамічної системи мають форму  
*Література [5,с. 196-197]*
16. На фазовому портреті динамічної системи фазовим траєкторіям, що виходять з однієї точки відповідає  
*Література [5,с. 200]*
17. На фазовому портреті динамічної системи особлива точка, поблизу якої фазова траєкторія має вигляд спіралі, що розгортається, є  
*Література [5,с. 201]*
18. Фазовий портрет маятника з утратами, що залежать від швидкості, має особливу точку, яка є  
*Література [2,с. 16-18]*

19. Рух рідини називають стійким, якщо  
*Література [2, с. 37-40]*
20. Фазова крива, що розділяє фінітні та інфінітні фазові траєкторії маятника, має назву  
*Література [2, с. 18-20]*
21. На фазовому портреті динамічної системи фазовим траєкторіям, що сходяться в одній точці відповідає  
*Література [5, с. 200]*
22. Граничний цикл є характерним для фазового портрету  
*Література [2, с. 80]*
23. Лінійний закон термодинаміки необоротних процесів  $J_i = \sum_{k=1}^N L_{ik} X_k$   
виконується  
*Література [5, с. 105]*
24. Структурно стійкою називають систему, для якої малі збурення параметра  $\mu$ , що входить в рівняння руху системи  
*Література [2, с. 38]*
25. Стани динамічної системи є топологічно еквівалентними між двома  
*Література [2, с. 83]*
26. На фазовому портреті динамічної системи особлива точка, поблизу якої фазова траєкторія має вигляд спіралі, що згортається, є  
*Література [2, с. 81-82]*
27. Рух рідини називають нестійким, якщо  
*Література [2, с. 37-40]*
28. Як ознака біфуркації на фазовій площині трактується особлива точка, яка представляє собою  
*Література [5, с. 195]*
29. Атрактор – це  
*Література [5, с. 144]*
30. Вказати дивні атрактори  
*Література [5, с. 146]*

#### **4.3. Тестові питання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-ЛЗ (МКР-3).**

1. Необоротні процеси в середовищах описуються –  
*Література [1,с.36]*
2. Геофізичні поля характеризуються параметрами –  
*Література [1,с.130-132]*
3. Мета використання математичних методів у природоохоронних дослідженнях –  
*Література [1,с.7]*
4. Морські хвилі та поверхневі хвилі при землетрусах описують диференціальні рівняння у частинних похідних–  
*Література [1,с.9-10, 133]*
5. З лінійності та однорідності рівняння дифузії впливає–  
*Література [1,с.44]*
6. Моделювання дифузії в неоднорідному середовищі відбувається за допомогою рівняння вигляду–  
*Література [1,с.51-53, 93]*
7. Окремі розв'язки рівняння, які не змінюються при масштабних перетвореннях та при поворотах відносно координатних осей на довільні кути, називають–  
*Література [1,с.54-55]*
8. Вказати, яка із запропонованих математичних моделей відповідає системі частинок, що дифундують в циліндрі довжиною  $l$  з початковим розподілом  $f(x)=e^{-5x}$  коли у циліндра один кінець ( $x = 0$ ) закритий, а другий ( $x = l$ ) відкритий–  
*Література [1,с.82]*
9. Рівняння дифузії пов'язує потік частинок  $J_n$  з–  
*Література [1,с.39-40]*
10. Для струни довжиною  $l$ , що виконує вільні коливання і має закріплений правий кінець та вільний лівий, належними граничними умовами будуть умиви вигляду–  
*Література [1,с.20-23]*
11. Хвилю з якими значеннями параметрів, довжина  $\lambda$  і висота  $h$  можна вважати лінійною? –  
*Література [1,с.18-19]*
12. Закон збереження речовини виражає рівняння–  
*Література [1,с.43]*
13. Диференціальні рівняння у частинних похідних еліптичного типу описують–  
*Література [1,с.9-10]*
14. Вкажіть власні функції граничної задачі  $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - 9 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0$ ;  $u(0,y)=u(1,y)=0$  –  
*Література [1,с.37]*

15. Моделювання поширення хвиль у неоднорідному середовищі виконується за допомогою рівняння–  
*Література [1, с.14-15]*
16. У разі одновимірної дифузії вздовж осі  $Ox$  початкова умова записується у вигляді –  
*Література [1, с.37-38]*
17. Вкажіть формулу Д'Аламбера для задачі про вільні коливання нескінченної струни–  
*Література [1, с.18]*
18. Рівняння Пуассона належить до диференціальних рівнянь–  
*Література [1, с. 9-10]*
19. Вкажіть тип диференціального рівняння  $3 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} - 5 \sin 4x = 0$ –  
*Література [1, с. 9-10]*
20. Рівняння, яке має своїм розв'язком поодинокую хвилю виглядає як–  
*Література [1, с.127]*
21. Диференціальні рівняння у частинних похідних еліптичного типу описують–  
*Література [1, с. 9-10]*
22. Що являє собою локальна термодинамічна рівновага? –  
*Література [5, с.21]*
23. Який порядок величини часу встановлення локальної рівноваги? –  
*Література [5, с.21]*
24. Яка область застосовності гіпотези про локальної рівновазі? –  
*Література [5, с.22]*
25. Чому рівні екстенсивні термодинамічні функції локально рівноважних систем? Чи має місце в цих системах статистична кореляція між флуктуаціями термодинамічних величин в різних елементах об'єму? –  
*Література [5, с.22]*
26. Які типи нерівноважних систем вивчає термодинаміка? –  
*Література [5, с.23]*
27. Поясніть поняття узагальнена координата, узагальнена сила, узагальнена робота, корисна робота. –  
*Література [5, с.24]*
28. Чому за допомогою єдиної функції - ентропії вдається охарактеризувати всю різноманітність нерівноважних процесів? –  
*Література [5, с.26]*
29. Як записати в диференціальному вигляді для закритої системи вираження для першого закону термодинаміки і об'єднане вираження для

першого і другого закону в разі протікання рівноважних і нерівноважних процесів? –

*Література [5,с.21]*

30. У яких випадках некомпенсована теплота Клаузиуса виявляється рівною зміни внутрішньої енергії, ентальпії, енергії Гельмгольца, енергії Гіббса? –

*Література [5,с.28]*

#### 4.4. Тестові питання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л4

1. Функція Беселя є розв'язком рівняння –  
*Література [1,с.65-66, 149-150]*
2. Рекурентним співвідношенням для функцій Беселя цілого порядку є –  
*Література [1,с.67, 152]*
3. Правильними формулами диференціювання функцій Беселя є такі –  
*Література [1,с.68, 155-156]*
4. Лаплас-зображенням функції  $\sin \omega t$  є функція –  
*Література [1,с.136-137]*
5. Фур'є-образом функції  $f(x)$ , яка дорівнює самому аргументові при  $|x| \leq 1$  та нулю при  $|x| > 0$ , є –  
*Література [1,с.138-139]*
6. Диференціювання Лаплас-зображення  $F(p)$  деякої функції  $f(t)$  зводиться до –  
*Література [1,с.141-143]*
7. Інтеграл від Лаплас-образа деякої функції  $f(t)$ ,  $\int_0^{\infty} F(p) dp$ , коли збігається слугує зображенням функції –  
*Література [1,с.142]*
8. Нехай  $f(t)$  і  $g(t)$  мають своїми зображеннями функції  $F(p)$  та  $G(p)$ . Тоді зображенням добутку  $f(t)g(t)$  є –  
*Література [1,с.144-145]*
9. Лаплас-образом дельта-функції  $\delta(t-\tau)$  є –  
*Література [1,с.140]*
10. Задачі математичного моделювання у природоохоронних дослідженнях –  
*Література [1,с.7]*
11. У виразі для конвективної частини потоку домішкових частинок вектор швидкості стосується –  
*Література [1,с.70]*
12. Випадкові (марківські) процеси описуються такими параметрами –  
*Література [1,с.7]*
13. Диференціальні рівняння у частинних похідних параболічного типу



- описують–  
*Література [1,с. 9-10]*
- 14.Рівняння Лапласа  $\Delta U=0$  (де, наприклад,  $U$  – потенціал гравітаційного поля) належить до диференціальних рівнянь–  
*Література [1,с. 9-10]*
- 15.Запис  $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div} \rho \vec{v} = 0$  має назву рівняння–  
*Література [1,с.10-11]*
- 16.За способом отримання моделі поділяються на–  
*Література [1,с.7]*
- 17.Моделювання процесу дифузії в неоднорідному середовищі виконується за допомогою рівняння вигляду–  
*Література [1,с. 51-53, 93]*
- 18.Кореляційна функція визначає–  
*Література [3,с.40-41]*
- 19.Функція розподілу–  
*Література [2,с.27-29]*
- 20.Рівнянням Смолуховського є–  
*Література [1,с.7]*
- 21.Солітон це–  
*Література [1,с.7]*
- 22.Вказати в рівнянні балансу ентропії потік ентропії, функцію дисипації і термодинамічні сили?  
*Література [5,с. 58]*
- 23.На прикладі дифузії і теплопровідності покажіть, що поєднання двох нерівноважних процесів призводить до зростання ентропії, пов'язаної з їх взаємним впливом один на одного  
*Література [5,с. 60]*
- 24.Чому дорівнює втрачена робота і швидкість виникнення ентропії в нерівноважному процесі, що протікає в закритій системі при  $(P, T)=\text{const}$ ?  
*Література [5,с. 60]*
- 25.Які змінні можуть змінюватися в мимовільному нерівноважному процесі, що протікає в закритій системі при  $(P, T) = \text{const}$ ? Наведіть приклад такого процесу.  
*Література [5,с. 61]*
- 26.Який загальний алгоритм розрахунку зміни ентропії в нерівноважному нестационарному процесі, якщо відома її локальна швидкість виникнення і щільність потоку через контрольну поверхню?  
*Література [5,с. 62]*

27. Розгляньте процес теплообміну в переривану системі. Вираз для узагальненої сили в цьому процесі  
*Література [5, с. 63]*
28. Рівняння балансу для скалярної екстенсивної величини у перервних системах?  
*Література [5, с. 64]*
29. Які контакти з зовнішнім середовищем може мати замкнена система?  
*Література [5, с. 7]*
30. Рівняння  $\eta = \text{const} \cdot \xi^{v_2/v_1}$  визначає траєкторії у фазовому просторі. Якщо корені рівняння  $v_1, v_2$  комплексні, траєкторіями є.  
*Література [5, с. 198]*

#### 4.5. Тестові завдання до екзаменаційної роботи

1. Який стан термодинамічної системи називається рівноважним?  
*Література [2, с. 62]*
2. Які контакти з зовнішнім середовищем може мати ізольована термодинамічна система?  
*Література [2, с. 7]*
3. Оберіть вірне визначення оборотного термодинамічного процесу  
*Література [2, с. 18]*
4. Однією із властивостей, загальною для усіх інформаційних систем є  
*Література [2, с. 235]*
5. В ієрархії часових масштабів кінетична і гідродинамічна стадії нерівноважної системи визначаються функцією розподілу  
*Література [2, с. 15]*
6. У випадку локальної рівноваги системи, що має характерний розмір  $l$ , її параметри  $\alpha_i$  задовольняють умови (нерівності)  
*Література [2, с. 14-15]*
7. Брутто-процес – це  
*Література [2, с. 15-16]*
8. Швидкість реакції дорівнює  
*Література [2, с. 57]*
9. Загальна зміна ентропії відкритої системи дорівнює  
*Література [5, с. 137]*

10. Виробництву ентропії у необоротному процесі можна надати виду  $\sigma = \sum J_i X_i$ , де  $X_i$  та  $J_i$  – термодинамічні сили і відповідні потоки, що виражені у канонічній формі. У разі наявності в системі градієнту температури внесок у виробництво ентропії дає термодинамічна сила  
*Література [5,с. 28]*
11. При стаціонарному перебігу хімічних процесів значення хімічного потенціалу інтермедіатів  
*Література [2,с. 43]*
12. Реакція Білоусова – Жаботинського описує  
*Література [5,с. 220]*
13. Однією із властивостей, загальною для усіх систем, в яких можливі дивні атрактори є  
*Література [5,с. 78]*
14. Індекс Пуанкаре для центра дорівнює  
*Література [5,с. 85]*
15. Для топологічної еквівалентності двох лінійних систем А і В необхідно та достатньо, щоб виконувалась умова  
*Література [5,с. 83]*
16. Фазовий портрет маятника з загасанням, має особливу точку, яка є  
*Література [5,с. 17]*
17. Вказати простіший атрактор  
*Література [5,с. 144]*
18. Мимовільні процеси завжди йдуть у напрямку  
*Література [5,с. 19]*
19. При спонтанній еволюції системи відбувається:  
*Література [5,с. 20]*
20. Брутто-процес іноді можливо розглядати як одну ефективну елементарну реакцію  
*Література [2,с. 39]*
21. Індекс Пуанкаре кривої дорівнює числу  
*Література [2,с. 85]*
22. Вибрати вираз, який визначає топологічну еквівалентність двох систем  
*Література [2,с. 83]*
23. Системи з відхиляючим аргументом описуються  
*Література [5,с. 158]*
24. Рівняння  $\eta = const \cdot \xi^{v_2/v_1}$  визначає траєкторії у фазовому просторі. Якщо корені рівняння  $v_1, v_2$  комплексні, траєкторіями є

- Література* [5,с. 198]
25. Вказати вираз для теплоти перенесення  
*Література* [5,с. 62]
26. Системи з розподіленими параметрами описуються  
*Література* [5,с. 159]
27. Вказати вираз для дисипативної функції Релея-Онзагера  
*Література* [5,с. 107]
28. Обмін ентропії із зовнішнім середовищем можна виразити через  
*Література* [5,с. 19]
29. Які з перерахованих нижче процесів є термодинамічно незворотними?  
*Література* [5,с. 36]
30. Індекс Пуанкаре для сідла дорівнює  
*Література* [5,с. 85]
31. Різні типи траєкторій на фазовій площині розділяються  
*Література* [5,с. 17]
32. Відкриті термодинамічні системи можуть обмінюватися із зовнішнім середовищем  
*Література* [5,с. 17]
33. Індекс Пуанкаре для вузла дорівнює  
*Література* [5,с. 85]
34. Вказати випадок, коли у системі встановлюється стаціонарний стан  
*Література* [5,с. 138]
35. Системи з зосередженими параметрами описуються  
*Література* [5,с. 158]
36. Мета використання математичних методів у природоохоронних дослідженнях –  
*Література* [1,с.7]
37. За способом отримання моделі поділяються на –  
*Література* [1,с.7]
38. Диференціальні рівняння у частинних похідних гіперболічного типу описують –  
*Література* [1,с. 9-10]
39. Рівняння Лапласа  $\Delta U = 0$  (де  $U$ , наприклад, - потенціал гравітаційного поля) відноситься до диференціальних рівнянь –  
*Література* [1,с. 9-10]
40. Рівняння  $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0$  має назву рівняння –  
*Література* [1,с.10-11]

41. Моделювання процесу дифузії в неоднорідному середовищі виконується за допомогою рівняння вигляду –

*Література* [1,с.51-53]

42. Окремі розв'язки рівняння  $\frac{\partial u}{\partial t} = a^2 \Delta u$ , які не змінюються при масштабних перетвореннях координатних осей на довільні кути називають –

*Література* [1,с.54-55]

43. У випадку одновимірної дифузії вздовж осі OX початкова умова записується у вигляді –

*Література* [1,с.12-13]

44. Гранична умова  $D \frac{\partial \rho}{\partial x} \Big|_{x=0} = b \rho \Big|_{x=0}$ , яка записана для випадку одновимірної дифузії на відріжку є граничною умовою –

*Література* [1,с.11-12]

45. Фізична кінетика це –

*Література* [1,с.91]

46. Якщо реакція відбувається за схемою  $A + X \leftrightarrow AX \rightarrow X + X$  (як, скажимо, реакція омилення ефіру  $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O} + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_3\text{COO}^- + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{H}^+$ ), то чи є вона автокаталітичною? –

*Література* [1,с.7]

47. Хаос у динамічній системі це –

*Література* [1,с.7]

48. Точка фазового простору відповідає –

*Література* [1,с.7]

49. За характером відображених властивостей об'єкту моделі поділяються на –

*Література* [1,с.7]

50. Рівняння Пуассона  $\Delta U = -4\pi G \rho$  належить до диференціальних рівнянь –

*Література* [1,с. 9-10]

51. Рівняння  $\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \Delta \rho$  має назву рівняння –

*Література* [1,с.9-10]

52. Рівняння теплопровідності пов'язує потік тепла  $\vec{J}_q$  з –

*Література* [1,с.43]

53. Вектор густини конвективного потоку домішкових частинок надає вираз –

*Література* [1,с.7]

54. Моделювання розповсюдження хвиль у неоднорідному середовищі виконується за допомогою рівняння виду –

*Література* [1,с.12-14]

55. Графіки автотомельних розв'язків одновимірного рівняння дифузії

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2} -$$

*Література* [1,с.60-61]

56. Умови  $\rho|_{x=0} = 0$ ,  $\rho|_{x=l} = 0$ , які записані для випадку одновимірної дифузії на відріжку є граничними умовами –  
Література [1,с.70-71]
57. Рішення стохастичних рівнянь описують–  
Література [1,с.7]
58. Релаксаційні коливання мають форму–  
Література [3,с.43-45]
59. Гліколіз це –  
Література [1,с.7]
60. Критерій Ляпунова визначає –  
Література [1,с.7]

## 5. ЛІТЕРАТУРА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

### Основна література.

1. Герасимов, О. І., Андріанова, І. С., Настасюк, В. А. (2019) Методи математичної і теоретичної фізики в задачах забезпечення довкілля: навчальний посібник. ОДЕКУ, Одеса, 159с.  
<http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/6855/>
2. Герасимов О. І., Зеленін С.В. Методи математичної і теоретичної фізики в радіоекологічних дослідженнях. Конспект лекцій. ОДЕКУ, Одеса, 2013, 37 с.
3. Герасимов О.І., Співак А.Я. Механіка суцільних середовищ. Конспект лекцій. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2008, 63 с.  
<http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/547/>
4. Г. П. Чуйко, О. В. Дворник, О. М. Яремчук. Математичне моделювання систем і процесів : навчальний посібник. Миколаїв : Вид-во ЧДУ імені Петра Могили, 2015. – 244 с.
5. Хусаїнов Д. Я., Шатирко А. В. Основи нелінійної динаміки. К.: Видавничо-поліграфічний центр "Київський університет", 2017. – 159 с.

### Додаткова література.

6. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988, 368с.
7. Пармон В. Н. Лекции по термодинамике неравновесных процессов для химиков: Учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2004, 296с. Anatole Katok and Boris Hasselblatt (1996). Introduction to the modern theory of dynamical systems. Cambridge. ISBN 0-521-57557-5.

8. Lorenz, E. N. (1963). «Deterministic nonperiodic flow». J. Atmos. Sci. 20: 130–141.
9. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. – М., 1986.
10. Пригожин И. От существующего к возникающему. – М., 1985.