
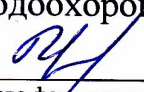


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Одеський державний екологічний університет

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні групи забезпечення  
спеціальності  
протокол № 1 від «31» 08 2020 року  
Голова групи  Герасимов О.І.

УЗГОДЖЕНО

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

## СИЛЛАБУС

навчальної дисципліни

Фізика складних, нелінійних, нерівноважних систем довкілля  
(назва навчальної дисципліни)

183 Технології захисту навколишнього середовища  
(шифр та назва спеціальності)

Технології захисту навколишнього середовища  
(назва освітньої програми)

бакалавр

(рівень вищої освіти)

денна

(форма навчання)

4

(рік навчання)

8

(семестр навчання)

4/120

(кількість кредитів ЄКТС/годин)

залік

(форма контролю)

загальної та теоретичної фізики

(кафедра)

Одеса, 2020 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 «\_31\_» \_08\_2020 року, протокол № \_\_1\_\_

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

\_\_\_\_\_  
(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	<p><b>K19.</b> 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.</p> <p><b>K20.</b> 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 убезпечення елементів довкілля.</p> <p><b>K21.</b> 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.</p>
Результат навчання	<p><b>ПР01.</b> 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.</p> <p><b>ПР15.</b> Вміти здійснювати фізичне моделювання кінетичних процесів у задачах довкілля, прогнозування характеру міграції забруднюючих речовин у біосфері.</p> <p><b>ПР16.</b> Вміти визначати на основі знань статистичних розподілів характер, критерії та параметри перерозподілу шкідливих речовин в об'єктах навколишнього середовища та описувати їх динаміку.</p>
Базові знання	<p><b>ЗМ-Л1</b> - Знати приклади появи дисипативних структур в навколишньому середовищі і методи оцінки їх стійкості.</p> <p><b>ЗМ-Л2</b> – Знати приклади складних нелінійних систем у нерівноважних станах.</p>
Базові вміння	<b>ЗМ-П1</b> – Вміти досліджувати системи з нестійкими та випадковими модами.
Базові навички	Практично використовувати методи нелінійного аналізу при побудові робочої моделі та пошуку її розв'язків, накопичувальний банк даних типових нелінійних моделей та сценаріїв.
Пов'язані силлабуси	немає
Попередня дисципліна	немає
Наступна дисципліна	немає
Кількість годин	лекції: 40 практичні заняття: 20 лабораторні заняття: немає семінарські заняття: немає самостійна робота студентів: 60

## 2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### 2.1. Лекційні модулі. Лекційний модуль №1 (8-ий семестр)

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-Л1	<b>Складні нерівноважні системи.</b>		
	<b>Тема 1.</b> Вступ. Складні системи. Приклади в навколишньому середовищі.	5	2
	<b>Тема 2.</b> Нерівноважні системи. Нестійкі системи. Просторово-часова ієрархія.	5	2
	<b>Тема 3.</b> Методи оцінки стійкості в прямому і в фазовому просторі. Аналіз дискретних і континуальних мод.	5	2
	<b>Тема 4.</b> Методи опису нерівноважних систем. Мікроскопічний рівень. Кінетичні рівняння. Макроскопічний рівень. Нерівноважна термодинаміка. Континуальний рівень.	5	2
	<b>Модульна тестова контрольна робота №1</b>		5
ЗМ-Л2	<b>Складні нелінійні системи в нерівноважних станах.</b>		
	<b>Тема 5.</b> Стійкість неевклідових систем. Гідродинамічні нестійкості. Модельні системи з нестійкими модами.	5	2
	<b>Тема 6.</b> Реальні системи в нерівноважних станах. Нелінійність і дисипація. Мультипараметричний характер стійкості складних систем.	5	4
	<b>Тема 7.</b> Системна класифікація та параметризація станів складних систем. Скейлінг. Зв'язок мікро і макропараметрів. Роль середніх значень.	5	4
	<b>Тема 8.</b> Системи з випадковими модами. Хаос. Динамічний хаос.		
	<b>Залікова тестова контрольна робота</b>		5
<b>Разом:</b>		40	30

## 2.2. Практичний модуль №1.

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-П1	<b>Тема 1.</b> Дослідження модельних систем із нестійкими модами (осцилятор Ван-дер-Поля).	5	6
	<b>Тема 2.</b> Розрахунки ентропії неідеальних газів.	5	8
	<b>Тема 3.</b> Функції розподілу мультимасштабних систем.	5	8
	<b>Тема 4.</b> Моделі середнього поля у застосуванні до складних систем. Неевклідові моделі систем та процесів.	5	8
	Разом:	20	30

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

## 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).	13	1-3 тиждень
ЗМ-П1	Підготовка до практичних занять. Підготовка до усного опитування (обов'язковий).	30	1-5 тиждень
ЗМ-Л2	Підготовка до лекційних занять. Підготовка до усного опитування (обов'язковий).	12	4-5 тиждень
	Підготовка до залікової тестової контрольної роботи	5	3-5 тиждень
	Разом:	60	

### 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 (60 балів та більше) для отримання позитивної оцінки, та не менше 50 балів за залікову контрольну роботу.

Білет ЗКР у формі тестів складається з 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 «Складні нерівноважні системи».

##### 3.1.1. Повчання

#### **Тема 1. Вступ. Складні системи.**

Приклади в навколишньому середовищі.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: гіпотеза суцільного середовища, (рівняння Нав'є-Стокса, рівняння теплопровідності, рівняння безперервності, граничні умови, автоколивання, авто хвилі, конвективні вали та комірки Бенара, плазма, полярні саява.

*Література* [1, 2]

#### **Тема 2. Нерівноважні системи.**

Нестійкі системи. Просторово-часова ієрархія.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: осцилятор Ван-дер-Поля, ентропія Шеннона, функція розподілу, стохастичне рівняння, зворотний зв'язок системи.

*Література* [1, 2]

#### **Тема 3. Методи оцінки стійкості в прямому і в фазовому просторі.**

Аналіз дискретних і континуальних мод.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: гідродинамічна нестійкість в зсувних течіях, тангенціальний розрив, стійкість площиннопаралельної течії нестиглої рідини, ріпплони, нестійкість течії між циліндрами, що обертаються, конвективна нестійкість нестислої рідини.

*Література* [1, 2, 3]

#### **Тема 4. Методи опису нерівноважних систем.**

Мікроскопічний рівень. Кінетичні рівняння. Макроскопічний рівень. Нерівноважна термодинаміка. Континуальний рівень.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: «задача Релея», модель Веландера-Лоренца, модель Лоренца, дивний атрактор, кореляційні нестійкості, конструювання детермінованих механічних структур в теорії динамічних дисипативних систем.

*Література* [1, 2, 3]

##### 3.1.2. Питання для самоперевірки:

- 1.\* Детерміновані моделі екологічних систем.
- 2.\* Стохастичні моделі екологічних систем.
- 3.\* Лінійні і нелінійні моделі екологічних систем.

4. На чому ґрунтується доведення Н-теорема Больцмана?
- 5.\* Чому виробництво ентропії в замкненій системі частинок, які взаємодіють між собою лише через зіткнення, пов'язане з необоротними процесами?
- 6.\* Як співвідносяться між собою другий початок термодинаміки, Н-теорема Больцмана та теорема Гіббса?
- 7.\* Як співвідносяться між собою ентропія Больцмана, ентропія Гіббса та ентропія Шеннона?
- 8.\* Класифікація задач, що розв'язуються методами математичного моделювання.
- 9.\* В яких випадках поняття еволюції та самоорганізації збігаються, а в яких – ні? Наведіть кілька прикладів.
- 10.\* Чи можна впливати на кінетику відкритих (нерівноважних) систем шляхом зміни зовнішніх параметрів?
11. Чим визначається швидкість і напрямок руху біжучого фронту в бістабільних середовищах?
- 12.\* Проаналізуйте застосовність понять фазової та групової швидкості до біжучих фронтів.
13. У чому відмінність між хвилею заселення та хвилею запалювання в бістабільному середовищі?
14. Від чого залежить ширина фронту хвилі запалювання?
15. Чому фронт лісової пожежі звичайно буває плоским?
- 16.\* Чи залежать біжучі фронти від початкових і граничних умов? Як саме?
17. Чому з трьох стаціонарних станів бістабільного середовища один виявляється нестійким?
- 18.\* Назвіть особливості автохвильових процесів порівняно з іншими типами хвиль.
- 19.\* Назвіть загальні властивості середовищ, у яких можуть мати місце автохвильові процеси.
- 20.\* Як пов'язані властивості середовищ із типами автохвильових процесів, що можливі в цих середовищах?
- 21.\* Які рівняння використовують для аналізу конвекції Релея – Бенара?
- 22.\* Чому без урахування залежності параметрів рідини від температури теорія передбачає стійкість лише для конвективних валів?
- 23.\* В якому наближенні вдається аналітично проаналізувати формування шестикутних комірок Бенара?
- 24.\* Чи пов'язані між собою розміри конвективних валів і шестикутних комірок для тієї самої системи?
- 25.\* Чи однозначно вводяться змінні дія-кут? Яка умова однозначно визначає їхню величину?
- 26.\* Чи можливий граничний перехід між резонансними та нерезонансними торами в інтегровній системі?
- 27.\* Дайте фізичну інтерпретацію теореми Ліувілля.

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



## **3.2. Модуль ЗМ-Л2 «Складні нелінійні системи в нерівноважних станах».**

### *3.2.1. Повчання*

#### **Тема 5. Стійкість неевклідових систем.**

Гідродинамічні нестійкості. Модельні системи з нестійкими модами.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: механічна рівновага нерівномірно нагрітої рідини, конвективна нестійкість рідини, яка обертається.

*Література* [1, 2]

#### **Тема 6. Реальні системи в нерівноважних станах.**

Нелінійність і дисипація. Мультипараметричний характер стійкості складних систем.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: стаціонарна осереднена турбулентна течія у прикордонному шарі, кінетика і кореляційна нестійкість фазових переходів, релаксація незберігаючогося поля упорядкування.

*Література* [1, 2]

#### **Тема 7. Системна класифікація та параметризація станів складних систем.**

Скейлінг. Зв'язок мікро і макропараметрів. Роль середніх значень.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: параметри порядку, керуючі параметри.

*Література* [1, 2, 3]

#### **Тема 8. Системи з випадковими модами.**

Хаос. Динамічний хаос.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: стохастичність руху, самоорганізація, динамічна рівновага, гомеостаз.

*Література* [1, 2, 3]

### *3.2.2. Питання для самоперевірки:*

1. \* Елементи теорії коливань. Лінійні коливання.
2. \* Найпростіші нелінійні коливання.
3. \* Дисипативні автоколивальні системи.
4. \* Що дозволяють отримувати асимптотичні методи?
5. \* У чому полягає основна ідея методу Ван-дер-Поля?
6. Хто провів математичне обґрунтування методу Ван-дер-Поля?
7. \* Рівняння якого виду дозволяє досліджувати метод Ван-дер-Поля?
8. \* Перед якими членами даного рівняння має перебувати малий параметр?
9. Чи можливе в принципі порушення умов стійкості класичної термодинаміки?
10. \* Який з можливих станів рівноваги системи називають термодинамічною гілкою? Наведіть кілька прикладів.
11. За яких умов термодинамічна гілка може стати нестійкою? Наведіть кілька прикладів.

- 12.\* До якого класу належать хімічні реакції, що протікають у бруселяторі? Які реальні аналоги бруселятора?
13. Порівняйте між собою характер втрати стійкості системи при біфуркації Андронова – Хопфа та при біфуркації Тюрінга.
- 14.\* В яких випадках поняття еволюції та самоорганізації збігаються, а в яких – ні? Наведіть кілька прикладів.
- 15.\* В якому сенсі можна говорити про статистичний ансамбль автогенераторів Ван-дер-Поля?
- 16.\* Наведіть кілька прикладів біфуркацій і вкажіть, які варіанти подальшого розвитку системи при цьому виникають.
- 17.\* Яку роль відіграють флуктуації при проходженні системи через біфуркаційну точку?
- 18.\* Утворення структур у первісно однорідному середовищі призводить до зменшення ентропії. Як це узгоджується з другим початком термодинаміки?
19. Порівняйте між собою рівняння неперервності в електродинаміці та рівняння балансу ентропії. Що в них спільне і що – відмінне?
- 20.\* Запишіть рівняння балансу ентропії в інтегральній формі.
21. Наведіть кілька прикладів систем, де має місце локальна рівновага. Наведіть кілька прикладів систем, де локальна рівновага порушується.
22. Чи застосовна формула для густини виробництва ентропії через узагальнені термодинамічні сили та відповідні потоки для великих відхилень від стану термодинамічної рівноваги?
- 23.\* Чому утворення дисипативних структур можливе тільки при значних відхиленнях від термодинамічної рівноваги?
- 24.\* Чому виробництво ентропії в замкненій системі частинок, які взаємодіють між собою лише через зіткнення, пов'язане з необоротними процесами?
25. Порівняйте між собою структури, що виникають у системах при низьких температурах, та дисипативні структури.

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

### 3.3. Модуль ЗМ-П1

#### 3.3.1. Повчання

**Тема 1.** Дослідження модельних систем із нестійкими модами (осцилятор Ван-дер-Поля).

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[3] Герасимов О.І., Кудашкіна Л.С. Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Фізика складних, нелінійних, нерівноважних систем довкілля». Одеса, ОДЕКУ, 2021, – с.5-8.

**Тема 2.** Розрахунки ентропії неідеальних газів.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[3] Герасимов О.І., Кудашкіна Л.С. Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Фізика складних, нелінійних, нерівноважних систем довкілля». Одеса, ОДЕКУ, 2021, – с.9-11.

### **Тема 3. Функції розподілу мультимасштабних систем.**

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[3] Герасимов О.І., Кудашкіна Л.С. Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Фізика складних, нелінійних, нерівноважних систем довкілля». Одеса, ОДЕКУ, 2021, – с.12-15.

### **Тема 4. Моделі середнього поля у застосуванні до складних систем.**

Неевклідові моделі систем та процесів.

Методичні вказівки та приклади розв'язування задач див.:

[3] Герасимов О.І., Кудашкіна Л.С. Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Фізика складних, нелінійних, нерівноважних систем довкілля». Одеса, ОДЕКУ, 2021, – с.16-21.

## **4. ПИТАННЯ ДО ЗАХОДІВ ПОТОЧНОГО, ПІДСУМКОВОГО ТА СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ**

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

1. В яких випадках рух інтегрованої гамільтонівської системи буде ергодичним?  
*Література [2,с.71-72]*
2. Як можна розрахувати розмір комірок Бенара?  
*Література [2,с.65]*
3. Які властивості комірок Бенара залежать від початкових умов, а які – ні?  
*Література [2,с.66]*
4. Які фактори спричиняють до формування шестикутних комірок Бенара?  
*Література [2,с.64-66]*
5. Що виступає аналогом фазового простору для систем із розподіленими параметрами?  
*Література [2,с.124]*
6. Що являє собою фазовий портрет дисипативної системи з розподіленими параметрами, яка здійснює турбулентний рух?  
*Література [2,с.125]*
7. Чому в деяких випадках турбулентну гідродинамічну течію вдається описати невеликою кількістю рівнянь у повних похідних?  
*Література [2,с.126]*
8. Який принцип лежить в основі експериментальних методів вимірювання розмірності вкладення?

*Література [2,с.127]*

9. В чому перевага методу Грассбергера – Прокаччіа порівняно з іншими методами вимірювання розмірності вкладення?

*Література [2,с.128]*

10. Оцініть фрактальну розмірність атратора Лоренца

*Література [2,с.128-129]*

11. Що таке розвинена гідродинамічна турбулентність?

*Література [2,с.129-130]*

12. Чому дисипація в рідині істотна тільки на малих масштабах?

*Література [2,с.130]*

13. Від чого залежать масштаби, на яких істотна дисипація в рідині?

*Література [2,с.131]*

14. Чим, на Вашу думку, визначається ширина колмогорівського спектру для течії в трубі?

*Література [2,с.132]*

15. Які міркування покладені в основу теорії Обухова – Колмогорова?

*Література [2,с.32-1331]*

16. Що таке ламінарний та турбулентний режими течії?

*Література [2,с.122]*

17. Чому при збільшенні числа Рейнольдса в турбулентній течії з'являються вихори все менших розмірів?

*Література [2,с.122]*

18. Який доданок у рівнянні Нав'є – Стокса породжує турбулентність?

*Література [2,с.123]*

19. Звідки виникає доданок у рівнянні Нав'є – Стокса, що породжує турбулентність?

*Література [2,с.123]*

20. Чому при великих швидкостях течії вихори починають відриватися від місця свого виникнення?

*Література [2,с.123-124]*

21. Виходячи з рівняння Нав'є - Стокса, спробуйте відповісти на питання, на скільки частин буде розпадатися вихор у дуже швидкій течії.

*Література [2,с.124-125]*

22. Опишіть, як виглядає фазовий портрет системи, описуваної рівняннями

$$\frac{dy}{d\tau} = -\Gamma y + \varepsilon \cos 2\pi x \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\tau - n) \quad \frac{dx}{d\tau} = \frac{\omega_0 T}{2\pi} (1 + \alpha y).$$

*Література [2,с.107]*

23. Як змінюватиметься фрактальна розмірність дивного атрактора, що відповідає стандартному дисипативному відображенню, при зміні параметра  $\Gamma$  від нуля до нескінченності?  
*Література [2,с.110-111]*
24. Чому в фазовому просторі дисипативних систем виникають атрактори?  
*Література [2,с.104]*
25. Порівняйте перемішування та його характеристики в гамільтонівських та дисипативних системах.  
*Література [2,с.101-103]*
26. Назвіть особливості хаотичної динаміки дисипативних систем у порівнянні з гамільтонівськими.  
*Література [2,с.102-104]*
27. Як, на вашу думку, виглядає граничний перехід між гамільтонівськими та дисипативними системами з хаотичною динамікою?  
*Література [2,с.102]*
28. Які властивості дивних атракторів у фазовому просторі дисипативних систем Вам відомі?  
*Література [2,с.105]*
29. Які геометричні властивості дивних атракторів Вам відомі?  
*Література [2,с.106]*

#### **4.2 Тестові питання до залікової контрольної роботи (підсумкова атестація)**

1. Які реальні системи можуть, бути описані моделлю універсального відображення?  
*Література [2,с.99]*
2. Який характер нелінійності має осцилятор, що відповідає моделі стандартного відображення?  
*Література [2,с.99-100]*
3. Що є причиною утворення острівців вищих порядків на фазовому портреті стандартного відображення?  
*Література [2,с.101]*
4. За яких умов час перемішування за дією для стандартного відображення буде значно меншим від часу перемішування за кутом?  
*Література [2,с.102-103]*
5. Що таке нерухома точка для точкового відображення?  
*Література [2,с.91]*
6. Коли нерухома точка для точкового відображення буде стійкою?  
*Література [2,с.91-92]*

7. Які фазові траєкторії у фазовому просторі відповідають нерухомій точці для точкового відображення?  
*Література [2,с.93]*
8. Що таке цикл кратності  $m$  для точкового відображення?  
*Література [2,с.94]*
9. Які фазові траєкторії у фазовому просторі відповідають циклу кратності  $m$  для точкового відображення?  
*Література [2,с.95]*
10. Коли цикл кратності  $m$  для точкового відображення буде стійким?  
*Література [2,с.95]*
11. Яке відображення відповідає нестійкому рухові системи?  
*Література [2,с.94-95]*
12. Як пов'язані між собою мультиплікатори та показники Ляпунова?  
*Література [2,с.86-88,96]*
13. Які біфуркації можливі в системах, описуваних монотонно зростаючими відображеннями?  
*Література [2,с.95-96]*
14. Які біфуркації можливі в системах, описуваних монотонно спадними відображеннями?  
*Література [2,с.96]*
15. Відображення має цикл кратності 12. Цикли ще якої кратності воно має?  
*Література [2,с.97-98,99]*
16. Чому в більярді Синая виникає нестійкість?  
*Література [2,с.97-98]*
17. За яких умов у гамільтонівських системах виникає глобальний хаос?  
*Література [2,с.83]*
18. Чи існує в гамільтонівських системах із глобальним хаосом мережа Арнольда?  
*Література [2,с.84]*
19. Чи залежить швидкість розбігання сусідніх зображувальних точок у фазовому просторі системи з локальною нестійкістю від їхнього взаємного розташування?  
*Література [2,с.84-85]*
20. Чи може бути гамільтонівською система з двома ступенями вільності, яка має чотири різних показники Ляпунова?  
*Література [2,с.86]*
21. Гамільтонівська система з двома ступенями вільності має показник Ляпунова  $\sigma_1=3$ . Якими будуть інші показники Ляпунова цієї системи?  
*Література [2,с.87]*

22. Який фізичний зміст часу розчеплення кореляцій для гамільтонівської системи?  
*Література [2,с.85]*
23. Для визначення огрубленого фазового об'єму користуються  $n$ -вимірними кубами з ребром  $\varepsilon$ . Характерний розмір фазової краплі в початковий момент часу –  $a$  ( $a \gg \varepsilon$ ). Через який час огрублений фазовий об'єм почне зростати?  
*Література [2,с.88]*
24. Чим визначається проміжок часу, на якому можна визначити КС-ентропію для гамільтонівської системи?  
*Література [2,с.88-89]*
25. Які висновки про рух гамільтонівської системи можна зробити, досліджуючи спектральну інтенсивність її руху?  
*Література [2,с.90]*
26. Чи може КС-ентропія бути від'ємною?  
*Література [2,с.90-91,98]*
27. Чому резонансні тори у фазовому просторі руйнуються при появі в гамільтоніані малої неінтегрованої частини?  
*Література [2,с.73-75]*
28. Чому мале неінтегровне збурення в гамільтоніані не змінює якісно поведінку фазових траєкторій на нерезонансних торах?  
*Література [2,с.74-76]*
29. Чи можливий у теорії КАМ граничний перехід від резонансних торів до нерезонансних?  
*Література [2,с.76-77]*
30. Чи є гамільтонівські системи, близькі до інтегровних, орбітально стійкими?  
*Література [2,с.73-74]*
31. Чи можлива дифузія Арнольда в системі з двома ступенями вільності?  
*Література [2,с.78]*
32. Чи справедлива теорема КАМ для системи автономних осциляторів?  
*Література [2,с.79]*
33. Чи справедлива теорема КАМ для системи зв'язаних лінійних осциляторів?  
*Література [2,с.80-81]*
34. Які магнітні поверхні магнітних пасток звичайно руйнуються в першу чергу?  
*Література [2,с.81-82]*

## 5. ЛІТЕРАТУРА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Основна література.

1. 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/>
2. Анісімов І.О. Синергетика. Навчальний посібник. Київ, 2006. 157 с.
3. Герасимов О.І., Кудашкіна Л.С. Методичні вказівки до практичних занять з навчальної дисципліни «Фізика складних, нелінійних, нерівноважних систем довкілля». Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2021. 25 с. <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/8897/>

Додаткова література.

4. Пригоровский А.Л., Сандалов В.М., Москова Е.С. Задачи по теории колебаний, устойчивости движения и качественной теории дифференциальных уравнений. Ч. 4. Метод Ван-дер-Поля. Метод Пуанкаре: Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2017. 24 с.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Механика. Теоретическая физика, т.1. Москва: Госиздат, 1958. 206 с.
6. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. М., 1986.