


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Одеський державний екологічний університет

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні групи  
забезпечення спеціальності  
183 «Технології захисту  
навколишнього середовища»  
від «12» вересня 2022 року  
протокол № 1  
Голова групи

 Герасимов О.І.

УЗГОДЖЕНО

Завідувач відділу аспірантури та  
докторантури

 Ільїна О.А.

**СИЛЛАБУС**

навчальної дисципліни

**«Теоретичні моделі систем захисту довкілля»**

(назва навчальної дисципліни)

**183 «Технології захисту навколишнього середовища»**

(шифр та назва спеціальності)

**Технології захисту навколишнього середовища**

(назва освітньої програми)

**Третій (освітньо-науковий) рівень (PhD)**

(рівень вищої освіти)

**денна**

(форма навчання)

**I**

(рік навчання)

**II**

(семестр навчання)

**5/150**

(кількість кредитів ЄКТС/годин)

**залік**

(форма контролю)

**Загальної та теоретичної фізики**

(кафедра)

Одеса, 2022 р.

Автори: Герасимов О.І., зав.кафедри загальної та теоретичної фізики, д.ф.-м.н., проф.; Сідлецька Л.М. зав.лаб. кафедри загальної та теоретичної фізики

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

Поточна редакція розглянута на засіданні кафедри (назва кафедри) від «31» серпня \_\_\_\_\_ 2022 року, протокол № 1 \_\_\_\_\_.

Викладач: Лекції - Герасимов О.І., зав.кафедри загальної та теоретичної фізики, д.ф.-м.н., проф

Практичні заняття – Герасимов О.І., зав.кафедри загальної та теоретичної фізики, д.ф.-м.н., проф.

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

Рецензент \_\_\_\_\_ Софронков О.Н. зав.каф.хімії навк.сер., д.т.н., проф.

(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 ознайомлення з теоретичними основами моделювання, які застосовуються для довгострокового прогнозування поведінки екологічних систем та оптимізації екологічного моніторингу навколишнього середовища, сформулювати уявлення про основні положення теорії динамічних систем та їх застосуванням на основі загальних фізичних принципів сучасних технологій захисту навколишнього середовища.
Компетентність	<p><b>СК08.</b> Здатність використовувати принципи та норми екологічного навантаження ( норм радіаційної безпеки) в задачах захисту навколишнього середовища</p> <p><b>СК09.</b> Здатність використовувати теорію, математичні методи та методи фізичного та чисельного моделювання у технологіях захисту навколишнього середовища.</p>
Результат навчання	<p><b>РН12.</b> Знання та розуміння фізичних явищ: наведена активність, радіаційно-хімічні та фізико- механічні ефекти дії радіації, фізичних процесів взаємодії іонізуючого випромінювання із речовиною в задачах схову та утилізації радіоактивних відходів</p> <p><b>РН13.</b> Здатність використовувати теорію та методи нелінійного аналізу при побудові моделі складних нерівноважних, нелінійних процесів у задачах захисту навколишнього середовища.</p>
Базові знання	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основних фізичних концепцій;</li> <li>- основ фізичної кінетики і методів їх застосування для вирішення проблем моделювання екосистем;</li> <li>- основ хімічної кінетики і методів моделювання фізико-хімічних процесів в задачах довкілля;</li> <li>- вплив зовнішніх збурень на об'єкти навколишнього середовища;</li> <li>- моделювання у задачах захисту об'єктів навколишнього середовища.</li> </ul>
Базові вміння	<ul style="list-style-type: none"> <li>- проводити моделювання складних динамічних систем;</li> <li>- оцінювати вплив середовища на кінетику фізико-хімічних процесів.</li> <li>- моделювання у задачах захисту об'єктів навколишнього середовища.</li> </ul>
Базові навички	Практично проводити кінетичні розрахунки складних динамічних систем та інтерпретувати їх результати,

	оцінювати вплив зовнішніх збурень на навколишнє середовище.
Пов'язані силлабуси	немає
Попередня дисципліна	Технології захисту природних систем
Наступна дисципліна	немає
Кількість годин	лекції: 15 практичні заняття: 15 лабораторні заняття: немає самостійна робота: 120

## 2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

### Лекційні модулі

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.	1	5
	<b>Тема 2.</b> Нерівноважні системи. Нестійкі системи. Просторово-часова ієрархія.	2	8
	<b>Тема 3.</b> Методи оцінки стійкості в прямому і в фазовому просторі. Аналіз дискретних і континуальних мод.	2	8
	<b>Тема 4.</b> Методи опису нерівноважних систем. Мікроскопічний рівень. Кінетичні рівняння. Макроскопічний рівень. Нерівноважна термодинаміка. Континуальний рівень.	2	8
	Підготовка до модульної контрольної роботи МКР1		5
ЗМ-Л2	<b>Складні нелінійні системи в нерівноважних станах.</b>		
	<b>Тема 1.</b> Стійкість неевклідових систем. Гідродинамічні нестійкості. Модельні системи з нестійкими модами.	2	8

	<b>Тема 2.</b> Реальні системи в нерівноважних станах. Нелінійність і дисипація. Мультипараметричний характер стійкості складних систем.	2	6
	<b>Тема 3.</b> Системна класифікація та параметризація станів складних систем. Скейлінг. Зв'язок мікро і макропараметрів. Роль середніх значень.	2	6
	<b>Тема 4.</b> Системи з випадковими модами. Хаос. Динамічний хаос.	2	6
	Підготовка до модульної контрольної роботи МКР2		5
	Разом:	15	65

Консультації: Герасимов О.І., зав.кафедри загальної та теоретичної фізики, д.ф.-м.н., проф понед. 11.30, ауд. 301

Прізвище і по батькові викладача, дні тижня та час за розкладом пар академічних годин, аудиторія.

### Практичні модулі

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
ЗМ-П1			
	<b>1.</b> Дослідження модельних систем із нестійкими модами (осцилятор Ван-дер-Поля).	4	12
	<b>2.</b> Розрахунки ентропії неідеальних газів.	3	11
	<b>3.</b> Функції розподілу мультимасштабних систем.	4	11
	<b>4.</b> Моделі середнього поля у застосуванні до складних систем. Неевклідові моделі систем та процесів.	4	11
	Разом:	15	45

Консультації: Герасимов О.І., зав.кафедри загальної та теоретичної фізики, д.ф.-м.н., проф понед. 11.30, ауд. 301

Прізвище і по батькові викладача, дні тижня та час за розкладом пар академічних годин, аудиторія.

### Самостійна робота аспіранта та контрольні заходи

Код модуля	Завдання на СРС та контрольні заходи	Кількість годин	Строк проведення
ЗМ-Л1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Підготовка до лекційних занять</li> <li>• ПМКР1 (обов'язковий)</li> </ul>	30 5	1-8 тиждень
ЗМ-Л2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Підготовка до лекційних занять</li> <li>• ПМКР2 (обов'язковий)</li> </ul>	30 5	8-14 тиждень
ЗМ-П1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Підготовка до практичних занять</li> <li>• УО (обов'язковий)</li> </ul>	45	1-14 тиждень
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Підготовка до ЗКР</li> </ul>	5	14 тиждень
Разом:		120	

Матеріал з дисципліни, що вивчається на протязі семестру, розбивається на 2 теоретичні модулі та 1 практичний.

Теоретичні модулі оцінюються згідно результатів контрольних робіт. метою яких є також перевірка знань аспірантів.

Максимальна сума балів, яку може отримати аспірант, склавши всі теоретичні та практичний модулі на протязі семестру, береться рівною 100 балів. Пропонується рівне співвідношення ваги теоретичної та практичної частин курсу фізики в підсумковій оцінці: 50 балів відведено на теоретичну частину і 50 балів – на практичну частину.

### Теоретичні та практичні модулі

№	Характер модуля	Назва модуля	Вид контролю (обов'язковий)	Макс. кількість балів	Викладач, що веде контроль
1	Теоретичний	ЗМ-Л1	КР-1 (обов'язковий)	25	Викладач, що веде заняття.
2	Теоретичний	ЗМ-Л2	КР-2 (обов'язковий)	25	Викладач, що веде заняття.
3	Практичний	ЗМ-П1	УО (обов'язковий)	50	Викладач, що веде заняття.

Фактична сума балів, яку отримає аспірант за кожний модуль складається із підсумків виконання запланованих контрольних заходів, враховуючи своєчасність виконання аспірантом графіку навчального процесу. Якщо аспірант без поважних причин пропустив контрольний захід, або отримав незадовільну оцінку, то він має право скласти його у тижневий термін з максимальною сумою балів, яка дорівнює оцінці "задовільно".

### **1.Методика проведення та оцінювання контрольного заходу ЗМ-Л1.**

Модульна контрольна робота МКР1 проводиться у тестовому форматі по завершенню опрацювання матеріалів лекційних занять. Модульна контрольна робота складається з 25 тестових завдань, які охоплюють всі теми даного модуля навчальної дисципліни. Максимальна оцінка за виконання модульної контрольної роботи дорівнює 25 балам.

### **2. Методика проведення та оцінювання контрольного заходу ЗМ-Л2.**

Модульна контрольна робота МКР2 проводиться у тестовому форматі по завершенню опрацювання матеріалів лекційних занять. Модульна контрольна робота складається з 25 тестових завдань, які охоплюють всі теми даного модуля навчальної дисципліни. Максимальна оцінка за виконання модульної контрольної роботи дорівнює 25 балам.

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

Виконання завдань модуля проводиться у вигляді опрацювання та виконання завдань у вигляді розв'язування задач. Оцінка за виконання задач кожної теми -5 балів.

Максимальна оцінка за виконання модуля ЗМ-П1 дорівнює 50 балам.

### **4. 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 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.

Аспірант, 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 20-питань, в які входять теми лекційних та практичних модулів. Максимальна можлива оцінка 100 балів еквівалентна 100% правильних відповідей.

### **3. РЕКОМЕНДАЦІ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ АСПІРАНТІВ**

#### **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 сніжки).

*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, рипплони, нестійкість течії між циліндрами, що обертаються, конвективна нестійкість нестиглої 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 брюсселяторі? Які реальні аналоги брюсселятора?
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 завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМЛ-1**

1. В яких випадках рух інтегрованої гамільтонівської системи буде ергодичним?  
*Література* [1]- с. 25; [2]- с.31 ; [3]- с.40 .
2. Як можна розрахувати розмір комірок Бенара?  
*Література* [1]- с.23; [2]- с.35 ; [3]- с.31 .
3. Які властивості комірок Бенара залежать від початкових умов, а які – ні?  
*Література* [1]- с. 81; [2]- с. 21; [3]- с. 209.
4. Які фактори спричиняють до формування шестикутних комірок Бенара?  
*Література* [1]- с. 81; [2]- с. 21; [3]- с. 209.
5. Що виступає аналогом фазового простору для систем із розподіленими параметрами?  
*Література* [1]- с. 25; [2]- с.31 ; [3]- с.40 .
6. Що являє собою фазовий портрет дисипативної системи з розподіленими параметрами, яка здійснює турбулентний рух?  
*Література* [1]- с.23; [2]- с.35 ; [3]- с.31 .
7. Чому в деяких випадках турбулентну гідродинамічну течію вдається описати невеликою кількістю рівнянь у повних похідних?

*Література* [1]- с. 22; [2]- с.78; [3]- с. 83.

8. Який принцип лежить в основі експериментальних методів вимірювання розмірності вкладення?

*Література* [1]- с. 226; [2]- с.23; [3]- с 200.

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

*Література* [1]- с. 22; [2]- с.78; [3]- с. 83.

10. Оцініть фрактальну розмірність атратора Лоренца

*Література* [1]- с. 226; [2]- с.23; [3]- с 200.

11. Що таке розвинена гідродинамічна турбулентність?

*Література* [1]- с. 226; [2]- с.23; [3]- с 200.

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

*Література* [1]- с. 5; [2]- с.70; [3]- с.57.

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

*Література* [1]- с. 226; [2]- с.23; [3]- с 200.

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

*Література* [1]- с. 81; [2]- с. 21; [3]- с. 209.

15. Які процеси у термодинаміці називають зворотними та незворотними?

*Література:* [1]- с.20-50; [2]- с.20-37; [3]- с.5 -26

16. Що означає дисипації енергії? *Література:* [1]- с.20-50; [2]- с.20-37; [3]- с.5 -26; [

17. Які термодинамічні системи називаються дисипативними?

*Література:* [1]- с.20-50; [2]- с.20-37; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

18. Чи впливає дисипації енергії на незворотність процесів?

[1]- с. 81; [2]- с. 21; [3]- с. 209.

19. Що означають у термодинаміці поняття відкриті системи?

*Література:* [1]- с.20-50; [2]- с.20-37; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

20. Чи можуть дисипативні системи бути рівноважними?

*Література:* [1]- с.20-50; [2]- с.20-37; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

21. Який фізичний процес називається стохастичним?

*Література:* [1]- с.50-150; [2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

22. Який зміст має рівняння Ланжевєна?

*Література:* [1]- с.50-150; [2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

23. Що означає поняття стохастичності системи?

Література: [1]- с.50-150;[2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

24. Як нормується функція ймовірності?

Література: [1]- с.50-150;[2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

25. Що називається ймовірністю?

Література: [1]- с.50-150;[2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

26. Який рух у механіці описує закон Ейнштейна?

Література: [1]- с.50-150;[2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

27. Як у законі Ейнштейна зміщення броунівської частинки пов'язане із коефіцієнтом дифузії?

Література: [1]- с.50-150;[2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

28. Який зміст має рівняння Фоккера-Планка?

Література: [1]- с.50-150;[2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

29. Який процес описує рівняння Фур'є?

Література: [1]- с.50-150;[2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

30. Який порядок має диференціальне рівняння Фур'є?

Література: [1]- с.50-150;[2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52. 24

31. Які фізичні процеси називаються фазовими переходами 1-го роду?

Література: [2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

32. Навести приклади фазових переходів 1-го роду.

Література: [2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

33. Яка фізична величина має розрив при фазових переходах 1-го роду?

Література: [2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

34. Які фізичні процеси називаються фазовими переходами 2-го роду?

Література: [2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

35. Яка фізична величина має розрив при фазових переходах 2-го роду?

Література: [2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

36. Навести приклади фазових переходів 2-го роду.

Література: [2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

37. Що називають топологічними процесами?

Література: [2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

38. Навести приклади топологічних фазових переходів.

Література: [2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

39. Кипіння – що це за фазовий перехід?

Література: [2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.

40. Конденсація - що це за фазовий перехід?  
Література: [2]- с.40-50; [3]- с.5 -26; [4]- с.8-52.
41. Які фізичні процеси називається хвильовими?  
Література: [1]- с.71; [2]- с.8-32; [3]- с.5 -2; [4]- с.8-52.
42. Навести приклади хвильових процесів у довкіллі.  
Література: [1]- с.71; [2]- с.8-32; [3]- с.5 -2; [4]- с.8-52..
43. Як записується рівняння хвилі?  
Література: [1]- с.71; [2]- с.8-32; [3]- с.5 -2; [4]- с.8-52..
44. Як екранувати шкідливі випромінювання застосовуючи гранульовані системи?  
Література: [1]- с.71; [2]- с.8-32; [3]- с.5 -2; [4]- с.8-52..
45. Які системи називають гранульованими?  
Література: [1]- с.71; [2]- с.8-32; [3]- с.5 -2; [4]- с.8-52..
46. Які критерії характеризують проходження або розсіяння хвиль у дискретній та континуальній границі?  
Література: [1]- с.71; [2]- с.8-32; [3]- с.5 -2; [4]- с.8-52..
47. Чи має значення довжина хвилі у процесі розсіяння хвиль?  
Література: [1]- с.71; [2]- с.8-32; [3]- с.5 -2; [4]- с.8-52..
48. Що називають хвильовим числом?  
Література: [1]- с.71; [2]- с.8-32; [3]- с.5 -2; [4]- с.8-52..
49. Що показує хвильовий вектор? Література: [1]- с.71; [2]- с.8-32; [3]- с.5 -2; [4]- с.8-52.. 25
50. Моделювання диференційних рівнянь та їх систем Література: [1]- с.71; [2]- с.8-32; [3]- с.5 -2; [4]- с.8-52.

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

1. Що таке ламінарний та турбулентний режими течії?  
*Література [2, с.122]*
2. Чому при збільшенні числа Рейнольдса в турбулентній течії з'являються вихори все менших розмірів?  
*Література [2, с.122]*
3. Який доданок у рівнянні Нав'є – Стокса породжує турбулентність?  
*Література [1]- с. 22; [2]- с.78; [3]- с. 83.*
4. Звідки виникає доданок у рівнянні Нав'є – Стокса, що породжує турбулентність?

*Література [2,с.123]*

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

*Література [2,с.123-124]*

6. 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]*

7. 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 [1]- с. 22; [2]- с.78; [3]- с. 83.*

8. Як змінюватиметься фрактальна розмірність дивного атрактора, що відповідає стандартному дисипативному відображенню, при зміні параметра  $\Gamma$  від нуля до нескінченності?

*Література [2,с.110-111]*

9. Чому в фазовому просторі дисипативних систем виникають атрактори?

*Література [2,с.104]*

10. Порівняйте перемішування та його характеристики в гамільтонівських та дисипативних системах.

*Література [2,с.101-103]*

11. Назвіть особливості хаотичної динаміки дисипативних систем у порівнянні з гамільтонівськими.

*Література [2,с.102-104]*

12. Як, на вашу думку, виглядає граничний перехід між гамільтонівськими та дисипативними системами з хаотичною динамікою?

*Література [1]- с. 226; [2]- с.23; [3]- с 200.*

13. Які властивості дивних атракторів у фазовому просторі дисипативних систем Вам відомі?

*Література [1]- с. 226; [2]- с.23; [3]- с 200. Які геометричні властивості дивних атракторів Вам відомі?*

*Література [1]- с. 22; [2]- с.78; [3]- с. 83.*

14. Що називається ітераціями у чисельному моделюванні?

*Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57; [4]- с. 100.*

15. Що дозволяє моделювати метод Рунге-Кутта?

*Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57; [4]- с. 100.*

16. Що дозволяє розв'язати метод молекулярної динаміки?

*Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57;*



17. Які недоліки методу Ейлера?  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57;
18. Що називають кластерними системами?  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57;
19. Яким методом можна розрахувати кластер?  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57;
20. Похибка методів моделювання.  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57;
21. Чи має стохастичний характер рух брунівської частинки?  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -36, с.57-83;
22. Чи є стохастичність у природних процесів?  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -36, с.57-83; [4]- с.53.
23. Що являють собою ітерації у чисельному моделюванні?  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -36, с.57-83; [4]- с.53.
24. Що дозволяє моделювати метод Монте-Карло?  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -36, с.57-83; [4]- с.53.
25. Яке відношення має ймовірність до методу Монте-Карло?  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -36, с.57-83;
26. Яким методом можна розрахувати стохастичний процес?  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -36, с.57-83;.
27. Наведіть приклади стохастичних процесів.  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -36, с.57-83;
28. Що дає при розрахунках використання методу Монте-Карло?  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -36, с.57-83;
29. Що означають коефіцієнти теплопровідності та теплопередачі та у які рівняння вони входять?  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -36, с.57-83; [4]- с.52.
30. Чому при підвищенні температури дифузія відбувається швидше?  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -36, с.57-83; [4]- с.52.
31. Який фізичний процес називається біфуркаційним?  
Література: [1]- с.69-83; [2]- с.3-27; [4]- с. 52.

32. Що означає точка біфуркації?  
Література: [1]- с.69-83; [2]- с.3-27; [4]- с. 52.
33. Що називається фракталом?  
Література: [1]- с.69-83; [2]- с.3-27; [4]- с. 52.
34. Які приклади фрактальних об'єктів?  
Література: [1]- с.69-83; [2]- с.3-27; [4]- с. 52.
35. Яка суть методів моделювання біфуркаційних процесів?  
Література: [1]- с.69-83; [2]- с.3-27; [4]- с. 52-100.
36. Чим відрізняється розмірний масштаб фрактального об'єкту?  
Література: [1]- с.69-83; [2]- с.3-27;
37. Як розрахувати розмірний масштаб фрактального об'єкту?  
Література: [1]- с.69-83; [2]- с.3-27; [4]- с. 100.
38. Чи має стохастичний характер рух брунівської частинки?  
Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -36, с.57-83;
39. Якою командою здійснюється виведення графіка у вікно (частина екрана) (1. plotplot, 2.subplot, 3. plot, 4.print)  
Література: [1]- с.69-83; [2]- с.3-27; [4]- с. 52-53.
40. Модель Лоренца Література: [1]- с.69-83; [2]- с.3-27;
41. Що являють собою методи стереологічного аналізу?  
Література: [1]- с.69-83; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -60;
42. Що являє собою фігура Вороного?  
Література: [1]- с.69-83; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -60; [4]- с. 52.
43. Що називається тріангуляцією Делоне?  
Література: [1]- с.69-83; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -60;
44. Яку особливість має розподіл фігур Пуасона – Вороного для впорядкованих структур?  
Література: [1]- с.69-83; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -60; [4]- с. 52.
45. Як залежить дисперсія розподілу фігур Пуасона – Вороного від ступеня (радіуса) впорядкування структур?  
Література: [1]- с.69-83; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -60; [4]- с. 52.

46. Знайти товщину залізного екрану від бетта-випромінювання ?

Література: [1]- с.69-83; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -60; [4]- с. 52.

47. Як визначити період напіврозпаду за даними вимірювання питомої активності ізотопів?

Література: [1]- с.69-83; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -60; [4]- с. 52.

48. Яка частина  $\gamma$ -випромінювання пройде через екран зі свинцю завтовшки  $d = 1$  см, якщо коефіцієнт поглинання випромінювання  $\mu = 0.50$  1/см?

Література: [1]- с.69-83; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -60; [4]- с. 52.

49. Закон поглинання  $\gamma$ -випромінювання.

Література: [1]- с.69-83; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -60; [4]- с. 52.

50. Записати рівняння хвилі.

Література: [1]- с.69-83; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -60; [4]- с. 52.

#### **4.3 Тестові питання до залікової контрольної роботи (підсумкова атестація - залік)**

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 –  $a \gg \epsilon$ ). 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]*

35. Навести приклади фізичних моделей.

Література: [1]- с.6-69; [2]- с.8-37; [4]- с.8-52.

36. Як записується рівняння руху матеріальної точки?

Література: [1]- с.6-69; [2]- с.8-37; [4]- с.8-52.

37. Який критерій подібності описує перехід течії з ламінарного у турбулентний?

Література: [1]- с.6-69; [2]- с.8-37; [4]- с.8-52.

38. Які критерії характеризують тепло-масообмінні процеси?

Література: [1]- с.6-69; [2]- с.8-37; [4]- с.8-52.

39. Які методи символічного моделювання Ви знаєте?

Література: [1]- с.6-69; [2]- с.8-37; [4]- с.8-52.

40. Які процеси описує рівняння дифузії?

Література: [1]- с.6-69; [2]- с.8-37; [4]- с.8-52.

41. Який геометричний зміст методу Ейлера?

Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57; [4]- с. 52-53.

42. Назвіть декілька відомих Вам методів моделювання?

Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57; [4]- с. 52-53..

43. Що є основним джерелом похибки обчислень за методом Ейлера?

Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57; [4]- с. 52-53.

44. Що називається ітераціями у чисельному моделюванні?

Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57; [4]- с. 52-53.

45. Що дозволяє моделювати метод Рунге-Кутта?

Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57; [4]- с. 52-53.

46. Що дозволяє розв'язати метод молекулярної динаміки?

Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57; [4]- с. 52-53.

47. Які недоліки методу Ейлера?

Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57; [4]- с. 52-53.

48. Що називають кластерними системами?

Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57; [4]- с. 52-53.

49. Яким методом можна розрахувати кластер?

Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37, с.39-57; [4]- с. 52-53.

50. Чи має стохастичний характер рух брунівської частинки?

Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -36, с.57-83; [4]- с.52-53.

51. Що дозволяє моделювати метод Монте-Карло?

Література: [1]- с.38-71; [2]- с.8-37; [3]- с.8 -36, с.57-83; [4]- с.52-53.

52. Що означає точка біфуркації?

Література: [1]- с.6 -24;[2]- с.8-20 [3]- с.8 -12

## 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.odetu.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, ОДЕКУ, 2021, 25с.  
<http://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/8897/>
4. Худинцев М.М., Співак А.Я. Чисельне моделювання фізичних процесів. Конспект лекцій. Одеса: ОДЕКУ, 2014. 103с

Додаткова література.

5. 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.
6. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.. Механика. Теоретическая физика, т.1 (1958), Москва: Госиздат., 206 с.