

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЗАТВЕРДЖЕНО

на засіданні групи забезпечення
спеціальності
протокол №3 від «02» 11 2021 року
Голова групи О.І. Герасимов

УЗГОДЖЕНО

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

СИЛЛАБУС
навчальної дисципліни

«Методи математичної і теоретичної фізики в екологічних дослідженнях»
(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)

(семестр навчання)

8/240
(кількість кредитів СКТС/годин)

іспит
(форма контролю)

Загальної та теоретичної фізики
(кафедра)

Одеса, 2021 р.

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

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

Поточна редакція розглянута на засіданні кафедри Загальної та теоретичної фізики від «_13_» _жовтня___ 2021 року, протокол №_3_ .

Викладачі: лекційний модуль – Герасимов О.І., зав. каф. Загальної та теоретичної фізики, доктор ф.-м. наук, професор;
практичний модуль – 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	Основна мета дисципліни «Методи математичної і теоретичної фізики в екологічних дослідженнях» – сформулювати уявлення про фізичні концепції в моделюванні процесів у довкіллі, фізичні концепції у довкіллі в екології та елементи фізичного базису, що використовується в моделюванні оточуючого середовища у напрямку використання отриманих раніше фундаментальних знань для вирішення конкретних наукових або практичних проблем, вивчення наведених моделей за допомогою методів диференціальних рівнянь, та на їх основі - навчання студентів початковому мінімуму класичних засобів і прийомів математичної фізики, у застосуванні до виділених проблем довкілля.
Компетентність	ЗК01. Здатність застосовувати знання в практичних ситуаціях. КВ03. Здатність використовувати теорію та методи нелінійного аналізу при побудові моделі складних нерівноважних, нелінійних процесів та пошуку її розв'язку. КВ04. Знання принципів теоретичного описання властивостей систем з великою кількістю елементів, володіння типовими методами сучасної математичної фізики, застосовуючи їх до розгляду типових рівнянь у задачах вивчення структури та кінетики домішок у довкіллі, радіоекологічного моніторингу та ін.
Результат навчання	ПР01. Аналізувати складні системи, розуміти їх взаємозв'язки та організаційну структуру. Р031В. Вміти визначати процеси структуроутворення в нелінійних дисипативних екосистемах. Здатність використовувати теорію та методи нелінійного аналізу при оптимізації екологічно безпечного стану довкілля. Р041В. Здатність застосовувати алгебру та топологію статистичних розподілів до розгляду типових рівнянь у задачах вивчення структури та кінетики домішок у довкіллі, радіоекологічного моніторингу та ін. Р042В. Знання та застосування перетворення Фур'є у задачах захисту навколишнього середовища. Володіння спеціальними функціями математичної фізики.
Базові знання	1) окремі фундаментальні принципи математичної фізики та застосування їх до розв'язання типових задач складних систем з багатьох компонентів, 2) відомості про інтеграли та ряди, 3) функцій розподілу, Фур'є- та Лаплас- перетворення
Базові вміння	1) 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	1) застосовувати методи математичної фізики до кінетичних рівнянь
Пов'язані ссиллабуси	немає
Попередня дисципліна	немає
Наступна дисципліна	немає
Кількість годин	лекції – 2 год. практичні заняття – немає. лабораторні заняття – немає консультації – 8 год самостійна робота студентів –230 год.

2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Лекційний модуль

Код	Назва модуля та тем	Кількість годин	
		аудиторні	СРС
	Лекційний модуль №1		
ЗМ-Л1	Алгебра та топологія розподілів. Перетворення Фурь'є. Тема 1. Функції які задають за допомогою рядів та інтегралів. Тема 2. Визначення розподілів. Тема 3. Аналіз розподілів. Тема 4. Фурь'є аналіз. Тема 5. Ряди та інтеграли Фурь'є.	1	6 6 6 6 6
ЗМ-Л2	Уявлення про спеціальні функції математичної фізики. Тема 1. Γ – функція. Тема 2. Функції Бесселя.		7 7
	Модульна тестова контрольна робота №1		5
	Лекційний модуль №2		
ЗМ-Л3	Термодинаміка у відкритих системах. Тема 1. Термодинамічне спряжіння процесів. Швидкість-визначаюча та швидкість-лімітуюча стадії. Тема 2. Зміна ентропії відкритої системи. Термодинамічна форма запису кінетичних рівнянь. Тема 3. Умови кінетичної необерненості хімічної реакції. Обчислення енергії активації бруто-процесу. Тема 4. Зв'язок між стаціонарною швидкістю бруто-процесу та термодинамічними силами. Співвідношення Озагера. Тема 5. Критерії еволюції Пригожина. Біологічні додатки. Термомеханічний ефект. Тема 6. Просторові, часові та просторово-часові дисипативні структури. Приклади появи дисипативних структур в каталітичних системах. Тема 7. Зміни умов співіснування фаз в ході хімічної реакції.	1	6 6 6 6 6 6 6
ЗМ-Л4	Ентропія та інформація, фазовий простір. Тема 1. Рецепція та виникнення інформації. Фазовий портрет. Тема 2. Внутрішні резонанси. Перевертання фронту хвилі. Тема 3. Структурна стійкість. Граничні цикли. Топологічна еквівалентність. Тема 4. Тангенціальна біфуркація. Зміна стійкості. Тема 5. Біфуркація подвоєння. Біфуркація Пуанкаре-Андропова-Хопфа. Тема 6. К-систем. Ентропія Колмогорова-Синая. Локальна нестійкість. Тема 7. Сильна турбулентність. Ергодичність та змішування. Тема 8. Міра в фазовому просторі. Фінітність руху. Модель Лоренца (дивний аттрактор).		6 6 7 7 7 7 7 7
	Модульна тестова контрольна робота №2		5
	Іспит		20
	Разом:	2	170

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

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

На настановній лекції студентам доводяться загальний огляд та особливості вивчення навчальної дисципліни, огляд програми навчальної дисципліни, в т.ч. графік її вивчення, перелік базових знань та 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 – 8 годин:

Викладач: Герасимов О.І. (gerasymovoleg@gmail.com)

Дні тижня: понеділок з 16.05 (ауд.301 (2)).

Викладач: Кудашкіна Лариса Сергіївна (kuda2003@ukr.net)

Дні тижня: п'ятниця з 16.05.

Аудиторія 303 (НЛК №2)

2.2. Практичний модуль

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

Якщо результати опанування навчальної дисципліни протягом самостійної роботи студентом є незадовільними, викладач рекомендує такому студенту взяти участь у консультаційній сесії, під час якої викладач може планувати будь-які види навчальної роботи, які дозволяють студентам якісніше опанувати матеріал навчальної дисципліни та підвищити рівень своєї практичної підготовки з цієї дисципліни. В цих сесіях беруть участь студенти, які не мають можливості самостійно опанувати завданнями на самостійну роботу або мають бажання виконати практичну частину самостійної роботи під керівництвом викладача.

В Zoom форматі (з попереднім узгодженням часу зустрічі викладача зі студентами):
<https://us04web.zoom.us/j/4432077055?pwd=cnNIYkR4QTlNQVR2NjNPdXluempQUT09>.

Під час самостійної роботи студент має можливості спілкування з викладачем університету, який викладає цю навчальну дисципліну, за допомогою засобів електронного (e-mail: kuda2003@ukr.net) і мобільного зв'язку та/або у системі Е-навчання

<http://dpt12s.odku.edu.ua/course/view.php?id=9>

Неучасть студента у консультаційних сесіях не позначається на оцінюванні його навчальних досягнень виконання навчального плану.

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. Назва контрольного заходу (обов'язковий): - Тестові питання до зміст. лекц. модуля 1 (ЗМ-Л1)	30	Листопад-грудень
ЗМ-Л2	Підготовка до поточного контролю з теоретичної частини дисципліни: Назва контрольного заходу (обов'язковий): - модульна контрольна робота (МКР-1)	35	Грудень-січень
ЗМ-П1	Підготовка до практичних занять. Розв'язування задач (обов'язковий).	30	січень
ЗМ-Л3	Підготовка до лекційних занять. Назва контрольного заходу (обов'язковий): Тестові питання до зміст. лекц. модуля 3 (ЗМ-Л3)	40	Січень-лютий
ЗМ-Л4	Підготовка до поточного контролю з теоретичної частини дисципліни: Назва контрольного заходу (обов'язковий): - модульна контрольна робота (МКР-2)	45	Лютий-березень
ЗМ-П2	Підготовка до практичних занять. Розв'язування задач (обов'язковий).	30	Березень
	Підготовка до іспиту	20	заліково-екзаменаційна сесія
	Разом:	230	

2.4. 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 – 20 балів,
 - ЗМ-Л2 (МКР-1) – 20 балів,
 - ЗМ-Л3 – 20 балів,
 - ЗМ-Л4 (МКР-2) – 20 балів.
- Разом – **80 балів.**

2.5. 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**.

2.6. Методика проведення та оцінювання підсумкового заходу з дисципліни

Формою підсумкового семестрового контролюючого заходу з навчальної дисципліни «Методи математичної та теоретичної фізики в екологічних дослідженнях» 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 «Додаткові глави фізики» 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 математичної і теоретичної фізики в екологічних дослідженнях», 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 «Алгебра та топологія розподілів. Перетворення Фурь'є».

3.1.1. Повчання

Тема 1. 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 2. Визначення розподілів.

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

Література [1, 2, 3]

Тема 3. Аналіз розподілів.

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

Література [1, 2, 3]

Тема 4. Фурь'є аналіз.

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

Література [1, 2]

Тема 5. 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]

3.1.2. 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).

3.2. Модуль ЗМ-Л2 «Уявлення про спеціальні функції математичної фізики».

3.2.1. Повчання

Тема 1. Γ – функція.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: властивості Γ – функції, застосування Γ – функції.

Література [1, 2, 3]

Тема 2. Функції Бесселя.

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

Література [1, 2, 3]

3.2.2. 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).

3.3. Модуль ЗМ-ЛЗ «Термодинаміка у відкритих системах».

3.3.1. 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. 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]

Тема 5. 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 напряму еволюції системи.

Література [1, 2, 3]

Тема 6. 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 7. Зміни умов співіснування фаз в ході хімічної реакції.

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

Література [1, 2, 3]

3.3.2. 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 електропровідники.
- 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).

3.4. Модуль ЗМ-Л4 «Ентропія та інформація, фазовий простір».

3.4.1. Повчання

Тема 1. Рецепція та виникнення інформації. Фазовий портрет.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: дисипативні властивості інформаційних систем, приклади рецепції, статистична і динамічна підсистеми, типи збурень у системі.

Література [1, 2, 3]

Тема 2. Внутрішні резонанси. Перевертання фронту хвилі.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: умови резонансу, сумірність частот за ступенями свободи, еволюція збурень у часі.

Література [1, 2, 3]

Тема 3. Структурна стійкість. Граничні цикли. Топологічна еквівалентність.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: класифікація особливих точок, фазові криві в околиці особливих точок, умови топологічної еквівалентності.

Література [1, 2, 3]

Тема 4. Тангенціальна біфуркація. Зміна стійкості.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: граничні цикли, точки біфуркації, структурна стійкість, індекси Пуанкаре, показники Ляпунова.

Література [1, 2, 3]

Тема 5. Біфуркація подвоєння. Біфуркація Пуанкаре-Андропова-Хопфа.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: причина появи хаотичних режимів і системі, переріз та відображення Пуанкаре.

Література [1, 2, 3]

Тема 6. К-систем. Ентропія Колмогорова-Синая. Локальна нестійкість.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: критерій виникнення хаосу, локальна рівновага, локальна нестійкість траєкторій, заплутування, умова стохастичності, приклади виникнення стохастичної динаміки.

Література [1, 2, 3]

Тема 7. Сильна турбулентність. Ергодичність та змішування.

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: одночасткова динамічна система, ергодичні властивості, лінеаризація, особливості виникнення сильної турбулентності, неупорядковані структури.

Література [1, 2, 3]

Тема 8. Міра в фазовому просторі. Фінітність руху. Модель Лоренца (дивний аттрактор).

При вивченні теми звернути увагу на такі питання: прості та дивні аттрактори, їх характеристики та властивості.

Література [1, 2, 3]

3.4.2. 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 терії бифуркацій. Бифуркація систем на площині.
- 9.* Моделі з дискретним часом. Бифуркація у дискретних системах. Теорема Шарковського.
- 10.* Дослідження атрактора Лоренца. Чисельне дослідження рівнянь Лоренца. Бифуркації в моделі Лоренца.
- 11.* Фрактальні множини. Умови самоподібність.
12. Приклади моделей, що призводять до хаосу
13. Теорія катастроф. Її суть.
- 14.* Бифуркація. Основні поняття
- 15.* Невизначена бифуркаційна 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 нелінійністю
- 21.* Умова існування центра для системи з квадратичною нелінійністю
- 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 інаявності 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).

3.5. Модуль ЗМ-П1

3.5.1. 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.

3.6. Модуль ЗМ-П2

3.6.1. 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; [12] 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 аттрактора. Визначення структури аттрактора 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.:

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

4. ПИТАННЯ ДО ЗАХОДІВ ПОТОЧНОГО ТА ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

4.1. Тестові питання до змістовного лекційного модуля 1 (ЗМ-Л1).

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 λ 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 –

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]

4.2 Тестові питання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л2 (МКР-1).

1. Функція Бесселя 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 $|x| > 1$, 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 $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \rho \vec{v} = 0$ 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]

4.3 Тестові питання до змістовного лекційного модуля 3 (ЗМ-Л3).

1. Мета використання математичних методів у природоохоронних дослідженнях –
Література [1, с.7]
2. За способом отримання моделі поділяються на –
Література [1, с.7]
3. Диференціальні рівняння у частинних похідних гіперболічного типу описують –
Література [1, с. 9-10]
4. Рівняння Лапласа $\Delta U = 0$ (де U, наприклад, - потенціал гравітаційного поля) відноситься до диференціальних рівнянь –
Література [1, с. 9-10]
5. Рівняння $\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \vec{v}) = 0$ має назву рівняння –
Література [1, с.10-11]
6. Моделювання процесу дифузії в неоднорідному середовищі виконується за допомогою рівняння вигляду –

Література [1,с.51-53]

7. 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]

8. У випадку одновимірної дифузії вздовж осі ОХ початкова умова записується у вигляді –

Література [1,с.12-13]

9. 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]

10. Фізична кінетика це –

Література [1,с.91]

11. Якщо реакція відбувається за схемою $A + X \leftrightarrow AX \rightarrow X + X$ (як, скажимо, реакція омилення ефіру $CH_3COOC_2H_5 + H_2O \xrightarrow{H^+} CH_3COOH + C_2H_5OH$), то чи є вона автокаталітичною? –

Література [1,с.7]

12. Хаос у динамічній системі це –

Література [1,с.7]

13. Точка фазового простору відповідає –

Література [1,с.7]

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

Література [1,с.7]

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

Література [1,с. 9-10]

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

Література [1,с.9-10]

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

Література [1,с.43]

18. Вектор густини конвективного потоку домішкових частинок надає вираз –

Література [1,с.7]

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

Література [1,с.12-14]

20. Графіки автомодельних розв'язків одновимірного рівняння дифузії

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

Література [1,с.60-61]

21. Умови $\rho|_{x=0} = 0$, $\rho|_{x=l} = 0$, які записані для випадку одновимірної дифузії на відрізку є граничними умовами –

Література [1,с.70-71]

22. Рішення стохастичних рівнянь описують –

Література [1,с.7]

23. Релаксаційні коливання мають форму –

Література [3,с.43-45]

24. Гліколіз це –

Література [1,с.7]

25. Критерій Ляпунова визначає –

Література [1,с.7]

26. Формула Дебая-Хюккеля дається співвідношенням –

Література [1,с.7]

27. Правило Олсона-Сімонсона полягає у твердженні, що –

Література [1,с.7]

28. Фрактал це –

Література [1,с.7]

29. Рівняння дифузії $\frac{\partial \rho}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \rho}{\partial x^2}$ належить до диференціальних рівнянь –

Література [1,с. 9-10]

30. Рівнянням Лапласа є рівняння –

Література [1,с. 9-10]

31. Рівняння Больцмана це –

Література [1,с. 9-10]

32. Морські хвилі та поверхневі хвилі при землетрусах описують

диференціальні рівняння у частинних похідних –

Література [1,с.13-14]

33.Елементарне виведення рівняння дифузії базується на законі –

Література [1,с.39-42]

34.За належністю до ієрархічного рівня моделі поділяються на –

Література [1,с.7]

35.Хвильове рівняння $\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^2 u$, де C – швидкість розповсюдження хвилі, відноситься до рівнянь –

Література [1,с.12]

36.Рівнянням Пуассона є рівняння –

Література [1,с. 9-10]

37.У випадку стаціонарної дифузії диференціальне рівняння має вигляд–

Література [1,с.79-81]

38.В узагальненому рівнянні дифузії у правій частині рівняння

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\text{div}(\bar{v}(\bar{r}, t)n(\bar{r}, t)) + \text{div}(D(\bar{r}) \text{grad}n(\bar{r}, t)) + f(n(\bar{r}, t), \bar{r}, t)$$

дифузійну частину потоку домішкових частинок ураховує –

Література [1,с.42]

39.Рівняння Кортвега де Вриза має вигляд –

Література [1,с.7]

4.4 Тестові питання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л4 (МКР-2).

1. Що таке стан термодинамічної системи? Виразіть в математичній формі, використовуючи просторову координат і час, різні стани гомогенної термодинамічної системи –
Література [11,с.17]
2. Що таке термодинамічний процес? Дайте визначення позитивних, негативних, нерівноважних і рівноважних процесів –
Література [11,с.18]
3. Що означає термін "втрачена робота"? Який її знак при протіканні позитивних і негативних нерівноважних процесів? –
Література [11,с.19]
4. У чому відмінність термінів "перетворення і дисипація енергії"? –
Література [11,с.20]

5. При наявності рівноваги термодинамічні функції застосовують для всієї системи в цілому. Чи можна аналогічним чином поступати в разі нерівноважних систем? –
Література [11,с.20]
6. Що називають фізично нескінченно малою величиною? –
Література [11,с.21]
7. Що таке локальні макроскопічні величини? –
Література [11,с.21]
8. Що являє собою локальна термодинамічна рівновага? –
Література [11,с.21]
9. Який порядок величини часу встановлення локальної рівноваги? –
Література [11,с.21]
10. Яка область застосовності гіпотези про локальної рівновазі? –
Література [11,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 [11,с.22]
12. Які типи нерівноважних систем вивчає термодинаміка? –
Література [11,с.23]
13. Поясніть поняття узагальнена координата, узагальнена сила, узагальнена робота, корисна робота. –
Література [11,с.24]
14. Чому за допомогою єдиної функції - ентропії вдається охарактеризувати всю різноманітність нерівноважних процесів? –
Література [11,с.26]
15. 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 [11,с.21]
16. У яких випадках некомпенсована теплота Клаузиуса виявляється рівною зміні внутрішньої енергії, ентальпії, енергії Гельмгольца, енергії Гіббса? –
Література [11,с.28]
17. Яким чином в нерівноважну термодинаміку вводять нову змінну - час? –

Література [11,с.29]

18.Що можна сказати про зміну ентропії в часі в стаціонарному стані? –

Література [11,с.29]

19.Що таке локальна функція дисипації і локальна швидкість виникнення ентропії? Яка між ними зв'язок? –

Література [11,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 [11,с.30]

22.Виведіть співвідношення де Донді, що зв'язує функцію дисипації з потоками і силами. –

Література [11,с.31]

23.Які наслідки про можливість перебігу процесу дає співвідношення де Донді? –

Література [11,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 [11,с.33]

25.Як записати в загальному вигляді взаємозв'язок потоків і сил? Що називають лінійної термодинаміки нарівновесних процесів? –

Література [11,с.34]

26. У чому відмінність між рухливістю і провідність? –

Література [11,с.35]

27. Сформулюйте принцип Кюрі. Яка його роль в нерівноважної термодинаміки? –

Література [11,с.35]

28.Що таке співвідношення взаємності Онсагера? –

Література [11,с.38]

29. Наведіть приклади перехресних процесів. –

Література [11,с.38]

30. Наведіть доказ співвідношення взаємності на прикладі послідовно протікають реакцій. –

Література [11,с.39]

31. Які основні постулати лінійної термодинаміки нерівноважних процесів? Чи можна їх вважати законами природи? –

Література [11,с.42]

32. Який знак повинен бути у прямих і перехресних феноменологічних коефіцієнтів?

Література [11,с.43]

33. Чи існує можливість при описі нерівноважних явищ використовувати різні вирази для потоків і сил? –

Література [11,с.44]

34. Нерівність Клаузіуса має вигляд $TdS \geq \delta Q$. Чи можна встановити знак рівності, якщо врахувати тільки теплообмін з навколишнім середовищем, тобто написати $Td_e S = \delta_e Q$? –

Література [11,с.45]

35. Що може встановити нерівноважна термодинаміка і молекулярно-кінетична теорія при описі явищ переносу в реальних фізичних середовищах? –

Література [11,с.46]

36. Що таке узагальнена нерівноважна термодинаміка і нерівноважна термодинаміка граничних умов? –

Література [11,с.46]

4.5 Тестові завдання до іспиту

1. Який стан термодинамічної системи називається рівноважним?

Література [12,с. 62]

2. Які контакти з зовнішнім середовищем може мати ізольована термодинамічна система?

Література [13,с. 7]

3. Оберіть вірне визначення оборотного термодинамічного процесу

Література [13,с. 18]

4. Однією із властивостей, загальною для усіх інформаційних систем є

Література [13,с. 235]

5. В ієрархії часових масштабів кінетична і гідродинамічна стадії нерівноважної системи визначаються функцією розподілу

Література [13,с. 15]

6. У випадку локальної рівноваги системи, що має характерний розмір l , її параметри α_i задовольняють умови (нерівності)

Література [13,с. 14-15]

7. Брутто-процес – це

Література [13,с. 15-16]

8. Швидкість реакції дорівнює

Література [13,с. 57]

9. Загальна зміна ентропії відкритої системи дорівнює

Література [13,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 [13,с. 28]

11. При стаціонарному перебігу хімічних процесів значення хімічного потенціалу інтермедіатів

Література [13,с. 43]

12. Реакція Білоусова – Жаботинського описує

Література [13,с. 220]

13. Однією із властивостей, загальною для усіх систем, в яких можливі дивні аттрактори є

Література [12,с. 78]

14. Індекс Пуанкаре для центра дорівнює
Література [12,с. 85]
15. Для топологічної еквівалентності двох лінійних систем А і В необхідно та достатньо, щоб виконувалась умова
Література [12,с. 83]
16. Фазовий портрет маятника з загасанням, має особливу точку, яка є
Література [12,с. 17]
17. Вказати простіший атрактор
Література [12,с. 144]
18. Мимовільні процеси завжди йдуть у напрямку
Література [13,с. 19]
19. При спонтанній еволюції системи відбувається:
Література [13,с. 20]
20. Брутто-процес іноді можливо розглядати як одну ефективну елементарну реакцію
Література [13,с. 39]
21. Індекс Пуанкаре кривої дорівнює числу
Література [12,с. 85]
22. Вибрати вираз, який визначає топологічну еквівалентність двох систем
Література [12,с. 83]
23. Системи з відхиляючим аргументом описуються
Література [12,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 [13,с. 198]
25. Вказати вираз для теплоти перенесення

Література [11,с. 62]

26. Системи з розподіленими параметрами описуються

Література [13,с. 159]

27. Вказати вираз для дисипативної функції Релея-Онзагера

Література [13,с. 107]

28. Обмін ентропії із зовнішнім середовищем можна виразити через

Література [13,с. 19]

29. Які з перерахованих нижче процесів є термодинамічно незворотними?

Література [13,с. 36]

30. Індекс Пуанкаре для сідла дорівнює

Література [13,с. 85]

31. Різні типи траєкторій на фазовій площині розділяються

Література [13,с. 17]

32. Відкриті термодинамічні системи можуть обмінюватися із зовнішнім середовищем

Література [13,с. 17]

33. Індекс Пуанкаре для вузла дорівнює

Література [13,с. 85]

34. Вказати випадок, коли у системі встановлюється стаціонарний стан

Література [13,с. 138]

35. Системи з зосередженими параметрами описуються

Література [13,с. 158]

5. ЛІТЕРАТУРА ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Основна література.

1. Методи теоретичної і математичної фізики в задачах забезпечення довкілля : навч. посібник / О.І. Герасимов, І.С. Андріанова, В.А. Настасюк; Одеськ. держ. еколог. ун-т. Одеса: Видавничий дім "Гельветика", 2020. 160с.
<http://eprints.library.odeku.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.odeku.edu.ua/id/eprint/547/>
4. Герасимов О.І., Кудашкіна Л.С. Додаткові глави статистичної фізики. Конспект лекцій, ОДЕКУ, 2017, 62 с.
<http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/1270/>
5. Герасимов О.І., Андріанова І.С. Фізика в задачах. Ч.ІІ. Молекулярна фізика і термодинаміка. Навч. посібник. Одеса: «Екологія», 2013. 150с.

Додаткова література.

6. Anatole Katok and Boris Hasselblatt (1996). Introduction to the modern theory of dynamical systems. Cambridge. ISBN 0-521-57557-5.
7. Lorenz, E. N. (1963). «Deterministic nonperiodic flow». J. Atmos. Sci. 20: 130–141.
8. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. – М.,1986.
9. Пригожин И. От существующего к возникающему. – М., 1985.
10. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М.. Механика. Теоретическая физика, т.1 (1958), Москва: Госиздат., 206 с.
11. Агеев Е. П. Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах: Учебное издание для студентов, аспирантов и преподавателей химических специальностей. - М.: Эдиториал УРСС, 2001, 136с. ISBN 5-8360-0396-3
12. Заславський Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику: от маятника до турбулентности и хаоса. М.: Наука, 1988, 368с.
13. Пармон В. Н. Лекции по термодинамике неравновесных процессов для химиков: Учеб. пособие / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2004, 296с.

Е-курс «Фізика складних, нелінійних, нерівноважних систем довкілля» містить лекційний матеріал, задачі та методичні вказівки для їх розв'язання. Курс доступний за посиланням: <http://dpt12s.odeku.edu.ua/course/view.php?id=9>