

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Волинський національний університет імені Лесі Українки
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ
КАФЕДРА ТЕОРЕТИЧНОЇ ТА КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ
ІМЕНІ А.В. СВДЗИНСЬКОГО

СИЛАБУС
вибіркового освітнього компонента

НЕЛІНІЙНІ ДИНАМІЧНІ СИСТЕМИ

підготовки

Магістра

Луцьк – 2026

Силабус освітнього компонента «НЕЛІНІЙНІ ДИНАМІЧНІ СИСТЕМИ»
підготовки магістра.

Розробник: Трохимчук Петро Павлович, доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної фізики імені А. В. Свідзинського, кандидат фізико-математичних наук, доцент.

Погоджено

Гарант освітньо-професійної програми:



доц. Сахнюк В.Є.

Силабус освітнього компонента затверджено на засіданні кафедри теоретичної та комп'ютерної фізики імені А. В. Свідзинського
протокол № 6 від 10 лютого 2026 р.

Завідувач кафедри



доц. Сахнюк В.Є.

I. Опис освітнього компонента

| Найменування показників | Галузь знань, спеціальність, освітня програма, освітній рівень | Характеристика освітнього компонента |
|--|--|--------------------------------------|
| Денна очна форма навчання | Е Природничі науки, Е5 Фізика та астрономія, Фізика та астрономія Другий (магістерський) рівень | Нормативна |
| Кількість годин/кредитів 120/4 | | Рік навчання 1 |
| ІНДЗ: <u>немає</u> | | Семестр 2-ий |
| | | Лекції 10 год. |
| | | Практичні (семінари) 14 год. |
| | | Самостійна робота 88 год. |
| | | Консультації 8 год. |
| Форма контролю: залік | | |
| Мова навчання | українська | |

II. Інформація про викладача

| | |
|---|---|
| Прізвище, ім'я та по батькові | Трохимчук Петро Павлович |
| Науковий ступінь | кандидат фізико-математичних наук |
| Вчене звання | доцент |
| Посада | Доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної фізики імені А.В. Свідзинського |
| e-mail | Trokhimchuck.Petro@vnu.edu.ua |
| Дні занять (посилання на електронний розклад) | http://94.130.69.82/cgi-bin/timetable.cgi |

III. Опис освітнього компонента

1. Анотація курсу.

В зв'язку з розвитком нелінійної динаміки її методи використовуються для розв'язання проблем різних наук починаючи з механіки та закінчуючи економікою. Ознайомлення та освоєння таких методів як задача про брахістохрону, елементів теорії народонаселення та демографії, рівняння Лотка-Вольтерри, фейгенбаумівська динаміка, автоколивні системи, основи синергетики та теорії катастроф, елементи теорії фракталів, ефект Бенара,

проблеми стійкості різних динамічних систем значно розширить арсенал методів, якими мають володіти сучасні фізики теоретики.

Поза сумнівом, що велику користь від цієї системи можуть мати для себе і студенти при виконанні рутинних математичних розрахунків, що виникають в процесі дослідження різноманітних математичних моделей різних систем.

2. Мета і завдання освітнього компонента.

Метою викладання освітнього компонента є формування у студентів-магістрів стійких навичок при моделюванні різноманітних динамічних систем. Курс спрямований на поглиблення знань з фізики через освоєння основних методів нелінійної динаміки та вміння їх професійного застосування.

Завдання освітнього компонента:

- Вивчення основних методів нелінійного моделювання динамічних систем.
- Набуття навичок розв'язування нелінійних диференціальних рівнянь, обчислення інтегралів.
- Розробка ефективних алгоритмів для моделювання різноманітних динамічних проблем.
- Освоєння основ синергетики та теорії катастроф та їх застосування для моделювання нелінійних динамічних систем.
- Вивчення елементів теорії фракталів та їх використання в нелінійній динаміці.
- Створення моделей для дослідження та аналізу гармонічних та ангармонічних коливань, а також автоколивних систем.
- Розв'язування задач лазерної фізики, фізики фазових переходів, фізичної хімії, екології, генетики та т.п. методами нелінійної динаміки.

3. Soft skills

Після вивчення освітнього компонента «Нелінійні динамічні системи» здобувач освіти розвине такі *soft skills*:

Критичне та аналітичне мислення (здатність оцінювати фізичну адекватність нелінійних динамічних теорій та моделей, верифікувати отримані результати та виявляти помилки обчислень).

Розв'язання комплексних проблем (уміння розділяти складні фізичні задачі на алгоритмічні етапи та знаходити ефективні шляхи їх розв'язання),

Креативність та інноваційність (розробка підходів до рішення конкретних задач для відповідних процесів та явищ),

Інформаційна грамотність (навичка формалізації динамічних явищ та процесів фізичних за допомогою потрібних теорій та моделей, робота з технічною документацією та адаптація методів під власні дослідження).

Комунікаційні навички (здатність аргументовано захищати обрані методи моделювання та чітко їх пояснювати колегам).

Адаптивність та гнучкість (готовність до швидкого освоєння нових методів моделювання нелінійних динамічних систем)).

Самоорганізація та тайм-менеджмент (ефективне планування часу для виконання моделювання нелінійних динамічних систем та самостійного опрацювання матеріалу).

4. Структура освітнього компонента.

| Назви змістових модулів і тем | Усього | Лек. | Практ. | Сам. Роб. | Конс. | *Форма контролю/ Бали |
|--|------------|-----------|-----------|-----------|----------|-----------------------|
| ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 1. Нелінійні динамічні системи I | | | | | | |
| Тема 1. Основні поняття нелінійних динамічних систем. | 14 | 2 | | 11 | 1 | ДС,ПР/ |
| Тема 2. Елементи теорії народонаселення та математичної генетики. Рівняння Вольтерри та Лотка-Вольтерри | 16 | 2 | 2 | 11 | 1 | ДС,ПР/ 10 |
| Тема 3. Нелінійний математичний маятник. Автоколивні системи. | 16 | 2 | 2 | 11 | 1 | ДС,ПР/ 10 |
| Разом за модулем 1 | 46 | 6 | 4 | 33 | 3 | 20 |
| ЗМІСТОВИЙ МОДУЛЬ 2. Нелінійні динамічні системи II | | | | | | |
| Тема 4. Деякі задачі когерентності та термодинаміки. Хімічні реакції. | 15 | 1 | 2 | 11 | 1 | ДС, ПР /10 |
| Тема 5. Елементи синергетики та теорії катастроф. Відображення. | 15 | 1 | 2 | 11 | 1 | ДС, ПР /10 |
| Тема 6. Відображення. Елементи теорії фракталів. | 15 | 1 | 2 | 11 | 1 | ДС, ПР /10 |
| Тема 7. Деякі оптичні задачі. Застосування методів нелінійної динаміки в теорії фазових переходів, квантовій електроніці та релаксаційній оптиці. | 14 | | 2 | 11 | 1 | ДС, ПР /10 |
| Тема 8. Деякі інші моделі нелінійних динамічних систем. Деякі динамічні моделі релаксаційної оптики | 15 | 1 | 2 | 11 | 1 | ДС, ПР /10 |
| Разом за модулем 2 | 74 | 4 | 10 | 55 | 5 | 50 |
| Контрольна робота | | | | | | 30 |
| Всього годин/Балів | 120 | 10 | 14 | 88 | 8 | |
| Всього балів | | | | | | 100 |

*Форма контролю: ДС – дискусія, ПР – практична робота.

Самостійна робота студента над засвоєнням матеріалу з освітньої компоненти передбачає: опрацювання лекційного матеріалу, опрацювання рекомендованої літератури, підготовку до практичних робіт, виконання домашніх завдань, підготовку до контрольної роботи.

IV. Політика оцінювання

Політика оцінювання результатів навчання здобувачів освіти регламентується положенням про поточне та підсумкове оцінювання знань здобувачів вищої освіти Волинського національного університету імені Лесі Українки від 26 червня 2025 року (<https://ed.vnu.edu.ua/wp-content/uploads/2025/06/2025.-Про-поточне-і-підсумк.оцінювання.pdf>).

Відвідування лекцій студентом не оцінюється. Однак, для засвоєння студентам рекомендується відвідувати лекційні заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для розв'язування задач на практичних заняттях, виконання домашніх завдань та завдань, що пропонуються на контрольних заходах. Відвідування практичних занять є обов'язковим.

Поточна оцінка формується з:

- 1) оцінювання виконання завдань на практичних заняттях: 10 балів;
- 2) оцінки за контрольну роботу (на контрольній пропонується п'ять завдання типових до тих, що виконувались на практичних заняттях, кожне завдання оцінюється у 6 балів).

Завдання практичного заняття вважаються виконаними вчасно, якщо здобувач освіти надав викладачу звіт з їх виконання не пізніше наступної практичної роботи.

У випадку пропуску практичних занять (з поважних причин) здобувач освіти має право відпрацювати пропущені заняття на консультаціях та добрати ту кількість балів, яку було визначено на пропущені теми.

Згідно Порядку визнання результатів навчання, отриманих у формальній, неформальній та/або інформальній освіті у Волинському національному університеті імені Лесі Українки (https://ed.vnu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/09/2024_Viznannya_rezultativ_VNU_im_L.U._red.pdf) студентіві можуть бути зарахованими результати навчання, які отримані у формальній, неформальній та/або інформальній освіті.

Викладач та всі здобувачі, що вивчають цей курс, зобов'язуються дотримуватись положень Кодексу академічної доброчесності Волинського національного університету імені Лесі Українки (<http://ra.vnu.edu.ua/wp-content/uploads/2023/06/Kodeks-akademichnoyi-dobrochesnosti.pdf>), і розуміють, що за його порушення несуть особисту відповідальність.

V. Підсумковий контроль

Формою підсумкового семестрового контролю є залік. Оцінювання здійснюється за накопичувальною шкалою.

Залік виставляється за результатами поточної роботи за умови, що здобувач освіти виконав ті види навчальної роботи, які визначено силабусом. У дату складання заліку записується у відомість сума поточних балів, які здобувач освіти набрав під час поточної роботи.

У випадку, якщо здобувач освіти протягом поточної роботи набрав менше як 60 балів, він складає залік під час ліквідації академічної заборгованості. У цьому випадку бали, набрані під час поточного оцінювання анулюються. Максимальна кількість балів на залік під час ліквідації академічної заборгованості 100 балів. Під час ліквідації академічної заборгованості студенту необхідно виконати п'ять завдань, типові до тих, що виконувались на практичних роботах. При цьому кожне завдання оцінюється максимум у 20 балів.

У день складання заліку за основною сесією заборонено проводити додаткові опитування здобувача освіти, а також здобувач освіти не має права доздавати будь-який вид робіт, передбачений силабусом освітнього компоненту.

Перелік питань на залік

1. Задача про брахістохрону.
2. Теорія Вишнеградського регулятора Ватта.
3. Принцип максимуму Понтрягіна.
4. Рівняння Белмана.
5. Елементи теорії стійкості Ляпунова.
6. Вільний рух лінійного гармонійного осцилятора з тертям.
7. Теорія Мальтуса.
8. Рівняння Вергалста.
9. Закон Гарді-Вайнберга.
10. Проблеми моделювання техніко-економічних систем.
11. Два види, що їдять одну їжу.
12. Два види, один з яких поїдає інший (хижак і жертва).
13. Слабко нелінійний математичний маятник. Теорія збурень у формі Пуассона.
14. Метод усереднення Крилова-Боголюбова.
15. Метод усереднення.
16. Метод подвоєння змінних.
17. Розв'язання канонічних рівнянь методом усереднення.
18. Адіабатичні інваріанти.
19. Когерентність та нелінійна динаміка.
20. Основні поняття нерівноважної термодинаміки.
21. Виведення нелінійного рівняння автогенератора Ван дер Поля.

22. Умови самозбудження автогенератора.
23. Рівняння Релея: якісний аналіз розв'язку.
24. Режим майже гармонічних коливань.
25. Фазовий портрет генератора майже гармонічних коливань.
26. Автогенератор із жорстким режимом самозбудження.
27. Режим релаксаційних коливань.
28. Проблема опису кінетики хімічних реакцій.
29. Реакції Белоусова-Жаботинського та теорія брюсселятора.
30. Динамічні краудіони, одновимірна модель Френкеля-Конторової.
31. Реакції між точковими дефектами у твердому тілі. Утворення вторинних радіаційних дефектів.
32. Еволюція кластерів традиційних дефектів, обумовлена їх тепловим рухом.
33. Вивід формули Саха з хімічної термодинаміки.
34. Дисипативні структури. Основні поняття синергетики. Метод адіабатичного виключення змінних.
35. Градієнтні системи. Елементи теорії катастроф. Елементарні катастрофи Р.Тома.
36. Застосування методу Хакена для отримання розв'язків системи рівнянь Вольтерри.
37. Геометрія катастроф складки та збірки.
38. Точкові відображення.
39. Монотонні відображення.
40. Ітеровані відображення.
41. Стійкість циклічних точок.
42. Унімодальні відображення.
43. Відображення Фейгенбаума.
44. Каскад біфуркацій подвоєння періоду.
45. Універсальна границя ітерацій гладких відображень.
46. Стохастичні коливання.
47. Ієрархія циклів.
48. Народження циклів із хаосу.
49. Рівняння Перрона-Фробеніуса.
50. Елементи теорії фракталів.
51. Самофокусування світла.
52. Ефект самоіндукованої прозорості.
53. Основні поняття поліметричного аналізу. Гібридна теорія систем.
54. Кінетично-енергетична класифікація явищ та процесів релаксаційної оптики.
55. Тензорно-електромагнітна класифікація явищ нелінійної та релаксаційної оптики.
56. Аналогія теорії фазових переходів та лазерного ефекту.
57. Каскадна модель поетапного збудження відповідного типу хімічних зв'язків в релаксаційній оптиці.
58. Ефект Бенара. Основи теорії Чандрасекара.

59. Рівняння Свіфта-Хоенберга та його узагальнення.
60. Кінетичне моделювання лазерно-індукованих структур.

Перелік задач та вправ на залік

1. Які системи називаються нелінійними динамічними? Сформулюйте основні ознаки та наведіть приклади.
2. Знайти закон руху математичного маятника (при довільному його відхиленні від вертикалі) [89].
3. Представити період коливань математичного маятника у вигляді еліптичного інтегралу першого роду. Знайти залежність періоду малих коливань маятника та його частоти від амплітуди коливань [89].
4. Знайти закон руху математичного маятника для випадку малих коливань методом Крилова-Боголюбова [89].
5. Знайти закон руху математичного маятника, що знаходиться під впливом сили тяжіння та сили кулонівського тертя (для малих кутів відхилення) [89].
6. Математичний маятник, що рухався в середовищі з опором, один раз за період коливань збуджується імпульсом p_0 при значенні кута φ_0 . Знайти умови виникнення стаціонарного режиму лінійних коливань [89].
7. Спочатку супутник рухався в полі Землі по коловій орбіті. Потім пройшла незначна зміна орбіти, в результаті чого супутник почав здійснювати малі радіальні коливання по відношенню до початкової орбіти. Знайти залежність частоти радіальних коливань супутника від амплітуди його коливань [89].
8. Отримайте розв'язок та побудуйте фазовий портрет одновимірного гармонійного осцилятора з тертям, що прямо пропорційне швидкості [89].
9. Знайдіть функцію Гріна для одновимірного гармонійного осцилятора [89].
10. Розв'яжіть рівняння одновимірного гармонійного осцилятора, на який діє сила, що залежить від часу, використовуючи теорію функцій комплексних змінних [89].
11. Населення планети в 1830 році оцінювалось 1 млрд. осіб. До кінця 1999 року воно досягло : 6 млрд. осіб. Оцінити швидкість експоненційного росту, яка б могла дати такий результат. Який при цьому час подвоєння чисельності населення? [21].
12. Чисельність лабораторної популяції найпростіших росте експоненціально. В початковий момент ця чисельність рівна 50 осіб, а через годину досягає 150 осіб. Знайдіть швидкість росту для цієї популяції та період подвоєння [21].
13. Доказати, що максимально стійка віддача ϵ , коли популяція досягає половини потенціальної ємності N_∞ (використайте рівняння Вергалста) [21].

14. В ставок запустили 50 коропів та помітили, що спочатку популяція подвоювалась кожен рік, а потім через деякий час стабілізувалась на рівні 4000 риб, що відповідає потенціальній ємності ставка. Використовуючи результати попередньої задачі, знайти максимально стійку віддачу ставка [21].
15. Статистичні дані по Індії в 1996 році були такі: населення – 950 млн. осіб, коефіцієнти народжуваності 34, смертності 13, дитячої смертності 118 відповідно. Знайти долю дитячої смертності. Якщо динаміка людської популяції в Індії збережеться на рівні 1996 р., то через скільки років чисельність її населення подвоїться? [21].
16. Розглянемо спрощену вікову структуру, що ділить популяцію країни на три групи: у віці від 0 до 24 років – 2,5 млн. осіб; від 25 до 49 – 1,5 млн. осіб; від 50 до 74 – 1 млн осіб. Покладемо, що всі жінки народжують безпосередньо перед 25 днем народження та всі смерті приходяться на 75 років. Коефіцієнт повного приросту на потязі перших 25 років складає 4, а надалі 2. Зобразити графічно динаміку поведінки зростових структур через 25, 50 та 75 років [21].
17. Розв'язати попередню задачу при наступних умовах. Початкова чисельність популяції: у віці від 0 до 24 років – 3 млн. осіб; від 25 до 49 – 2 млн. осіб; від 50 до 74 – 1 млн осіб [21].
18. Скільки тон умовного палива калорійністю 7000 ккал/кг потрібно щорічно для забезпечення населення Землі (8 млрд. осіб) енергією 10 кВт·год/людину? [21].
19. Скільки тон умовного палива калорійністю 7000 ккал/кг потрібно щорічно для забезпечення населення України (42 млн. осіб) енергією 10 кВт·год/людину? [21].
20. Скільки тон умовного палива калорійністю 7000 ккал/кг потрібно щорічно для забезпечення населення Волині (1,1 млн. осіб) енергією 10 кВт·год/людину? [21].
21. Світові запаси вугілля складають 1 трлн. т, а видобуток – 5 млрд.т за рік. Швидкість зростання вугілля за останні 10 років була в середньому 2,7% за рік. На скільки років вистачить цих запасів, якщо такі темпи видобутку збережуться? [21].
22. В земній корі міститься $5 \cdot 10^{-4}\%$ природного урану. Визначіть якій кількості вугілля з теплотворною здатністю $3 \cdot 10^7$ Дж/кг буде еквівалентний упан, що міститься в 1 т Землі, якщо 1 кг ізотопу U^{235} , що складає всього 0,72% природнього урану, виділяє енергію $8,2 \cdot 10^{13}$ Дж. [21].
23. На протязі одного року на 1 см^2 поверхні нашої планети (радіус Землі – 6400 км) поступає від Сонця в середньому 108 ккал. Розвідані запаси викопного

палива на Землі приблизно еквівалентні $3 \cdot 10^{22}$ Дж. За який час Сонце «доставить» на Землю таку енергію? [21].

24. Який запас прісної води міститься в айсбергу площею $0,5 \text{ км}^2$ з висотою над поверхнею води 20 м ? Прийняти густину льоду $0,91 \text{ г/см}^3$, а густину морської води $1,03 \text{ г/см}^3$ [21].
25. Згідно останніх даних світові ресурси хрому складають 800 млн. т , а сучасні темпи виробітку – 2 млн. т за рік. Якщо темпи росту споживання хрому будуть рости експоненціально зі сталою швидкістю $2,6\%$ за рік, скільки буде потрібно для вироблення існуючих резервів? Якщо кількість ресурсів в 5 раз перевищує існуючі резерви, то скільки часу потрібно для виробітку всіх ресурсів? [21].
26. Кількість сонячної енергії, що падає у вигляді випромінювання на поверхню Землі, складає $0,2 \text{ кал}/(\text{см}^2 \cdot \text{хв})$. Яку площу повинна мати сонячна батарея з ефективністю 20% та потужністю 100 Вт [21].
27. Сумарна встановлена потужність енергоблоків атомних електростанцій світу в 2000 році складала 345 ГВт . Визначіть скільки енергії було вироблено на цих блоках за рік? Яку кількість вуглецю було б викинуто в атмосферу, якби та ж кількість електроенергії була б вироблена на вугільних електростанціях? Прийняти к.к.д. вугільної станції – 40% , вміст вуглецю у вугіллі – 60% , калорійність вугілля – 29 МДж/кг [21].
28. Дослідити еволюцію та стійкість відхилення від хардієвої рівноваги. Розглянути інбридінг [102].
29. Проаналізувати перевагу при схрещуванні. Розглянути дискретну модель [102].
30. Проаналізувати дискретну модель еволюції генетичної структури при інбридінгу [102].
31. Проаналізувати модель популяції, в якій перевага при схрещуванні порушує панміксію [102].
32. Сформулюйте та розв'яжіть задачу типу хижак – жертва (хижак) – жертва (другий вид є жертвою для першого та хижаком для третього). Розгляньте всі можливі сценарії.
33. Сформулюйте та розв'яжіть задачу для системи трьох кінетичних рівнянь Вольтерри з послідовним застосуванням (двічі) методу адіабатичного виключення змінних. Розгляньте всі можливі сценарії.
34. Сформулюйте та розв'яжіть задачу для системи трьох кінетичних рівнянь Вольтерри з одноразовим застосуванням методу адіабатичного виключення змінних. Розгляньте всі можливі сценарії.

35. Покладаючи, що гравітаційна стала γ – повільна функція часу, знайти адіабатичні інваріанти планети, що рухається по еліптичній орбіті кругом зорі [90].
36. Дана система двох тіл, що взаємодіють по закону всесвітнього тяжіння. Покладаючи, що гравітаційна стала γ – повільна функція часу, знайти адіабатичні інваріанти [89].
37. Частинка рухається в постійному неоднорідному аксіально-симетричному магнітному полі з напруженістю $B_z(z)$. Знайти адіабатичний інваріант [90].
38. Електрон рухається в полі стоячої хвилі з вектором напруженості електричного поля $\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \cos kz \cos \omega t$. Знайти рівняння руху, що описує плавну складову траєкторії [90].
39. Точка рухається з періодом $\frac{2\pi}{\omega_0}$ в потенціальному полі $U(q)$. На точку діє також періодична сила $Q(q, t)$ з частотою $\Omega \gg \omega_0$. Знайти рівняння руху точки по «зглаженій» за періодом $\frac{2\pi}{\omega_0}$ траєкторії [89].
40. Подати рівняння $\ddot{u} + \gamma \dot{u} + \omega_0^2 u = F(t)$, $\gamma < 2\omega_0$, в гамільтоновій формі. Знайти розв'язок, використовуючи канонічну терію збурень. Визначити потужність, що поглинається осцилятором [90].
41. Знайти розв'язок рівняння $\ddot{u} + \omega_0^2 u = \varepsilon f(u, \dot{u})$, $\varepsilon \ll 1$, використовуючи метод усереднення канонічних систем. Розглянути рівняння Ван-дер-Поля $\varepsilon f(u, \dot{u}) = \gamma \left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right) \dot{u}$. [90].
42. Частина фазових траєкторій релаксаційного автогенератора може наближено вважатися вертикальними прямими. Для яких областей фазової площини це наближення виконується найкраще? Де воно порушується? [5].
43. Як встановлюється напрямок швидкого руху на фазовому портреті релаксаційного автогенератора? [5].
44. Якісно намалюйте фазовий портрет автогенератора Ван-дер-Поля для випадку, проміжного між режимами майже гармонічних та релаксаційних коливань [5].
45. Як змінюється спектр автогенератора Ван-дер-Поля при переході від квазігармонічного до релаксаційного режиму? [5].
46. Проаналізуйте модель Рамсея керованого екзогенного науково-технічного прогресу [71].
47. Проаналізуйте ендогенний науково-технічний прогрес за допомогою виробничого функціоналу [71].

48. Проаналізуйте ланцюжок атомів з вільними кінцями. Розгляньте перехід Франка – ван-дер-Мерве, а також диявольську драбину та фазову діаграму [22].
49. Дайте геометричну інтерпретацію автономної системи рівнянь [94].
50. Проаналізуйте кооперативні ефекти в лазері з точки зору синергетики [129].
51. Показати, що критерій Гландорфа- Пригожина приводить до мінімального виробництва ентропії в частковому випадку станів систем близьких до рівноважних [42].
52. Опишіть дифузію у фрактальних просторах [96].
53. Оцініть фрактальні розмірності мікроповерхонь [96].
54. Опишіть фрактальні розмірності оточуючого середовища [96].
55. Проаналізуйте фрактоїдну модель розсіяння хвиль [96].
56. Чи можна описати квантовий цілочисловий та дробовий ефект Холла методами фрактальної динаміки? Відповідь обґрунтувати.
57. Опишіть фазовий перехід в стан поляритонної генерації у відкритому активному середовищі та аномалії вимушеного комбінаційного розсіяння світла [2].
58. Оцініть режими лазерного опромінення, які необхідні для перетворення кубічного карбїду кремнію в гексагональну фазу. Виберіть оптимальний режим та обґрунтуйте це.
59. Оцініть співвідношення між порогом виникнення самофокусування та порогом оптичного механізму черенковського опромінення в загальному випадку.
60. Оцініть співвідношення між порогом виникнення самофокусування та порогом оптичного механізму черенковського опромінення для кремнію.

Підручник та збірник задач і вправ

Трохимчук П. П. Нелінійні динамічні системи. 2-е вид-ня. Луцьк: Вежа-Друк, 2020. 316 с.

VI. Шкала оцінювання знань здобувачів освіти

| Оцінка в балах | Лінгвістична оцінка |
|----------------|---------------------|
| 90–100 | Зараховано |
| 82–89 | |

| | |
|-------|---------------------------------------|
| 75–81 | |
| 67–74 | |
| 60–66 | |
| 0–59 | Незараховано (необхідне перекладання) |

VII. Рекомендована література

1. Трохимчук П. П. Нелінійні динамічні системи. 2-е вид-ня. Луцьк: Вежа-Друк, 2020. 316 с.
2. Трохимчук П. П. Нелінійні динамічні системи. 1-е вид-ня. Луцьк: Вежа-Друк, 2015. 276 с.
3. Свідзинський А. В. Математичні методи теоретичної фізики. Том.1. Київ: Інститут теоретичної фізики ім. М.М.Боголюбова, 2009. 395 с.
4. Анісімов І.О. Коливання та хвилі. Київ: Академпрес, 2003. 280 с.
5. Іро Г. Класична механіка. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 1999. 462 с.
6. Працьовитий, Микола. Фрактальний підхід у дослідженнях сингулярних розподілів. Київ: НПУ імені М.П.Драгоманова. 1998. 296 с.
7. Haken H. Synergetics. An Introduction. Non-equilibrium Phase Transitions and Self-Organization in Physics, Chemistry and Biology. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1977. 325 p.
8. Mandelbrot, Benoît. Fractals: Form, chance, and dimension (англійська) . San-Francisco: Freeman. 1977. 346 p.
9. Thom René. Structural Stability and Morphogenesis: An Outline of a General Theory of Models. Reading, MA: Addison-Wesley, 1989. 404 p.
10. Poston T., Stewart I. Catastrophe: Theory and Its Applications. New York: Dover, 1998. 512 p.
11. Zeeman, E.C. Catastrophe Theory-Selected Papers 1972—1977. Reading, MA: Addison-Wesley, 1977. 675 p.
12. Volterra V. Leçons sur la théorie mathématique de la lutte pour la vie. Paris: Gauthier-Villars, 1931. 214 p.