



# НЕЛІНІЙНА ДИНАМІКА СКЛАДНИХ СИСТЕМ

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>10 Природничі науки</i>
Спеціальність	<i>104 Фізика і астрономія</i>
Освітня програма	<i>Освітньо-професійна програма «Комп'ютерне моделювання фізичних процесів»</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)/дистанційна/змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредити (120 годин)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен усний</i>
Розклад занять	<i>Перший тиждень:</i> <ul style="list-style-type: none"><li><i>Вівторок 3-тя пара, 12:20-13:55, 411 аудиторія, корпус 07, <a href="https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t">https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t</a>, лекція</i></li><li><i>Вівторок 4-та пара, 14:15-15:45, 411 аудиторія, корпус 07, <a href="https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t">https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t</a>, лекція</i></li></ul> <i>Другий тиждень:</i> <ul style="list-style-type: none"><li><i>Вівторок 3-тя пара, 12:20-13:55, 411 аудиторія, корпус 07, <a href="https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t">https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t</a>, лекція</i></li></ul>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: доктор фізико-математичних наук, професор Горобець Оксана Юріївна, e-mail: <a href="mailto:Gorobets.oksana@gmail.com">Gorobets.oksana@gmail.com</a> Викладач практичних занять: доктор фізико-математичних наук, професор Горобець Оксана Юріївна, e-mail: <a href="mailto:Gorobets.oksana@gmail.com">Gorobets.oksana@gmail.com</a>
Розміщення курсу	<ul style="list-style-type: none"><li><a href="http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2gr6GZDyihI5SyRV52uR6BH6cnzWGuLHyhUVKtkI2EnZTqi554UrA">http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2gr6GZDyihI5SyRV52uR6BH6cnzWGuLHyhUVKtkI2EnZTqi554UrA</a> у розділі «Доступні курси/Горобець О.Ю»</li><li><a href="https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t">https://bbb.kpi.ua/b/pyj-3fg-44t</a></li></ul>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

*Метою навчальної дисципліни є формування у студентів наступних компетентностей.*

#### **Загальні компетентності:**

*ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях.*

*ЗК2. Знання та розуміння предметної області та розуміння професійної діяльності.*

*ЗК3. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.*

*ЗК4. Здатність вчитися і оволодівати сучасними знаннями.*

*ЗК6. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми.*

*ЗК7. Здатність проведення досліджень на відповідному рівні.*

### **Фахові компетентності спеціальності:**

ФК1 Здатність використовувати закони та принципи фізики та/або астрономії у поєднанні із потрібними математичними інструментами для опису природних явищ.

ФК2. Здатність формулювати, аналізувати та синтезувати рішення наукових проблем в області фізики та/або астрономії.

ФК5. Здатність сприймати ново здобуті знання в області фізики та астрономії та інтегрувати їх із уже наявними.

ФК9. Здатність самостійно опановувати знання і навички, необхідні для розв'язання складних задач і проблем у нових для себе деталізованих предметних областях фізики та/або астрономії й дотичних до них міждисциплінарних областях.

#### *Основні завдання кредитного модуля:*

*Згідно з вимогами програми навчальної дисципліни студенти після засвоєння кредитного модуля мають продемонструвати наступні **результати навчання**:*

ПРН01 Використовувати концептуальні та спеціалізовані знання і розуміння актуальних проблем і досягнень обраних напрямів сучасної теоретичної і експериментальної фізики та/або астрономії для розв'язання складних задач і практичних проблем.

ПРН02 Проводити експериментальні та/або теоретичні дослідження з фізики та астрономії, аналізувати отримані результати в контексті існуючих теорій, робити аргументовані висновки (включаючи оцінювання ступеня невизначеності) та пропозиції щодо подальших досліджень.

ПРН05 Здійснювати феноменологічний та теоретичний опис досліджуваних фізичних та/або астрономічних явищ, об'єктів і процесів.

ПРН09 Аналізувати та узагальнювати наукові результати з обраного напрямку фізики та/або астрономії, відслідковувати найновіші досягнення в цьому напрямі, взаємокорисно спілкуючись із колегами.

ПРН10 Відшуковувати інформацію і дані, необхідні для розв'язання складних задач фізики та/або астрономії, використовуючи різні джерела.

ПРН11 Застосовувати теорії, принципи і методи фізики та/або астрономії для розв'язання складних міждисциплінарних наукових і прикладних задач.

ПРН13 Створювати фізичні, математичні і комп'ютерні моделі природних об'єктів та явищ, перевіряти їх адекватність, досліджувати їх для отримання нових висновків та поглиблення розуміння природи, аналізувати обмеження.

ПРН15 Планувати наукові дослідження з урахуванням цілей та обмежень, обирати ефективні методи дослідження, робити обґрунтовані висновки за результатами дослідження.

ПРН16. Брати продуктивну участь у виконанні експериментальних та/або теоретичних досліджень в області фізики та астрономії.

ПРН18. Вміти використовувати набуті знання для розв'язання різних задач з фізики та астрономії.

ПРН19. Вміти моделювати фізичні і не тільки процеси та явища, що виникають в навколишньому світі.

ПРН20. Вміти створювати та досліджувати різні фізичні теорії за допомогою моделювання фізичних та астрономічних процесів.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

*Кредитний модуль «Нелінійна динаміка складних систем» відноситься до дисципліни «Нелінійна динаміка складних систем», яка належить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки, і вивчається студентами в 2-му семестрі навчання за напрямом «фізика». Цей кредитний модуль спрямований на формування у студентів базових понять,*

вмінь та навичок стосовно курсу Нелінійної динаміки складних систем. Вивчення даного кредитного модуля базується на курсах «Механіка», «Молекулярна фізика», «Електрика та магнетизм», «Класична механіка», «Математичний аналіз» та ін. Знання, отримані студентами з курсу електродинаміки, використовуються в курсах «Вступ до фізики твердого тіла», «Основи квантової теорії поля» та ін.

### 3. Зміст навчальної дисципліни

Назви розділів, тем	Розподіл за семестрами та видами занять			
	Всього	Лекції	Практичні заняття	СРС
<i>Семестр 2</i>				
<i>Розділ 1. Динамічні системи і закони їх еволюції.</i>				
<i>Тема 1.1. Статичні системи. Лінійні та нелінійні динамічні системи. Еволюція динамічної системи.</i>	3	1	0,5	1
<i>Тема 1.2. Математичний опис еволюції динамічної системи. Звичайні диференціальні рівняння для моделювання динамічних систем.</i>	3	1	0,5	1
<i>Тема 1.3. Фазовий простір і простір станів. Нелінійні диференціальні рівняння.</i>	3	1	0,5	1
<i>Тема 1.4. Стійкість динамічних систем. Стійкі і нестійкі рівноваги. Стійкість по Ляпунову (метод першого наближення). Показник Ляпунова.</i>	3	1	0,5	1
<i>Тема 1.5. Стійкість нелінійної системи. Метод функцій Ляпунова. Функція Ляпунова і ентропія.</i>	3	1	0,5	1
<i>Тема 1.6. Асимптотична стійкість.</i>	3	1	0,5	1
<i>Тема 1.7. Особливі точки. Стійкість особливих точок.</i>	3	1	0,5	1
<i>Тема 1.8. Стійкість розв'язків дискретних рівнянь.</i>	3	1	0,5	1
<i>Тема 1.9. Відображення. Системи з дискретним часом в відображеннях.</i>	3	1	0,5	1
<i>Тема 1.10. Ітерації в дослідженні динамічних систем. Графічні методи знаходження нерухомих точок і дослідження їх властивостей. Багатопараметричні відображення.</i>	3	1	0,5	1
<i>Разом за розділом 1</i>	30	10	5	10
<i>Розділ 2. Особливі точки фазових портретів динамічних систем.</i>				

Тема 2.1. Диференціальні рівняння і особливі точки. Класифікація точок рівноваги.	3	1	0,5	1
Тема 2.2. Фазові портрети і особливі точки нелінійних звичайних диференціальних рівнянь. Функція розподілу, інваріантна міра, ергодичність і перемішування. Фазовий об'єм.	3	1	0,5	1
Тема 2.3. Багатовимірні системи. Типи атракторів.	3	1	0,5	1
Тема 2.4. Регулярні атрактори.	3	1	0,5	1
Тема 2.5. Характеристики нерегулярних атракторів. Багатовимірні нерегулярні атрактори	3	1	0,5	1
Тема 2.6. Сингулярні атрактори. Дикі атрактори	3	1	0,5	1
Тема 2.7. Дивні нехаотичні атрактори. Репелери.	3	1	0,5	1
Тема 2.8. Нерегулярні атрактори. Квазіатрактори.	3	1	0,5	1
Тема 2.9. Хаотичні атрактори. Фрактальні атрактори.	3	1	0,5	1
Разом за розділом 3	27	9	4,5	9
Розділ 3. Динамічний хаос.				
Тема 3.1. Статистичний і динамічний хаос.	3	1	0,5	1
Тема 3.2. Сценарії переходу до хаосу. Приклади систем з хаосом.	3	1	0,5	1
Тема 3.3. Хаос в лінійних одновимірних системах. Біфуркаційні діаграми. Відображення Бернуллі. Трикутне відображення.	3	1	0,5	1
Тема 3.4. Детермінована дифузія.	3	1	0,5	1
Тема 3.5. Хаос в логістичному відображенні. Перехід до хаосу через подвоєння періоду. Логістичне рівняння. Дискретне логістичне рівняння. Біфуркаційних діаграма логістичного відображення.	3	1	0,5	1
Тема 3.6. Фазові діаграми логістичного відображення. Атрактори і фрактали в логістичному відображенні.	3	1	0,5	1
Разом за розділом 3	18	6	3	6
Тестування виконання СРС з розділів 1-3	9			9
Розділ 4. Біфуркації.				
Тема 4.1. Біфуркації: основні поняття і класифікація. Елементи теорії біфуркацій.	3	1	0,5	1
Тема 4.2. Найпростіші біфуркації.	3	1	0,5	1
Тема 4.3. Біфуркації циклів. Граничні цикли. Стійкість граничних циклів. Біфуркації стійких граничних циклів.	3	1	0,5	1

Тема 4.4. Біфуркація Пуанкаре-Андронов-Хопфа (біфуркація народження циклу). Біфуркація народження пари стійких замкнутих траєкторій. Транскритична біфуркація.	3	1	0,5	1
Разом за розділом 4	12	4	2	8
Розділ 5. Приклади динамічних моделей фізичних, хімічних та біологічних систем.				
Тема 5.1. Приклади динамічних моделей фізичних систем.	3	2	1	2
Тема 5.2. Приклади динамічних моделей фізико-хімічних та біофізичних систем.	3	1	0,5	1
Тема 5.3. Моделювання хімічної кінетики. Принципи складання моделей. Проста реакція першого порядку.	3	2	1	2
Тема 5.4. Проста реакція другого порядку. Дві паралельні реакції першого порядку. Послідовність двох реакцій першого порядку. Послідовність трьох реакцій першого порядку. Обернена реакція першого порядку. Обернена реакція другого порядку.	3	1	0,5	2
Тема 5.5. Основні положення моделювання динаміки популяцій. Найпростіші моделі динаміки популяцій.	3	1	0,5	12
Разом за розділом 5	15	7	3,5	19
Тестування виконання СРС з розділів 4-5. Підготовка до екзамену	9			9
Разом	120	36	18	66

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

[1] [2] [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11]

[1–5] [6–11]

- Хусаїнов, Д. Я., Харченко, І. І., Шатирко, А. В. Введення в моделювання динамічних систем: Навч. посібник: Київ: Київський національний університет імені Тараса Шевченка, 2009. 132с.
- Strogatz, S., Friedman, M., Mallinckrodt, A. J., та ін. Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering. Computers in Physics. 1994. Vol. 8, No. 5.
- Thompson, J. M. T., Stewart, H. B. Nonlinear Dynamics and Chaos: Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2002. 457с.
- Radons, G., Rumpf, B., Schuster, H. G. Nonlinear Dynamics of Nanosystems: *Nonlinear Dynamics of Nanosystems*. 2010.
- Gallavotti, G. Nonequilibrium and Irreversibility: Cham: Springer International Publishing, 2014. 261с.
- Виклюк, Я. І., Камінський, Р. М., Пасічник, В. В. Моделювання складних систем: посібник: Львів: Новий Світ – 2000, 2020. 404с.
- Лазарев, Ю. Ф. Моделювання динамічних систем у Matlab: Київ: НТУУ “КПІ,” 2011. 421с.
- Дербенцев, В. Д., Сердюк, О. А., Соловйов, В. М., та ін. Синергетичні та еконофізичні методи дослідження динамічних та структурних характеристик економічних систем: Черкаси: Брама-Україна, 2010. 287с.
- Zaslavsky, G. M. Hamiltonian Chaos and Fractional Dynamics: New York: Oxford University Press, 2006. 436с.
- Бекман, И. Н. фон. Нелинейная динамика сложных систем: теория и практика: Москва: МГУ, 2018. 613с.

11. Кузнецов, С. П. Динамический хаос (курс лекций): Москва: Издательство Физико-математической литературы, 2001. 296с.

Базова: [1–5]

Додаткова: [6–11]

#### Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

#### Лекційні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	<i>Лекція 1. Розділ 1. Динамічні системи і закони їх еволюції. Тема 1.1. Статичні системи. Лінійні та нелінійні динамічні системи. Еволюція динамічної системи. Тема 1.2. Математичний опис еволюції динамічної системи. Звичайні диференціальні рівняння для моделювання динамічних систем. [1–5]</i>
2.	<i>Лекція 2. Тема 1.3. Фазовий простір і простір станів. Нелінійні диференціальні рівняння. Тема 1.4. Стійкість динамічних систем. Стійкі і нестійкі рівноваги. Стійкість по Ляпунову (метод першого наближення). Показник Ляпунова. [1–5]</i>
3.	<i>Лекція 3. Тема 1.5. Стійкість нелінійної системи. Метод функцій Ляпунова. Функція Ляпунова і ентропія. Тема 1.6. Асимптотична стійкість. [1–5]</i>
4.	<i>Лекція 4. Тема 1.7. Особливі точки. Стійкість особливих точок. Тема 1.8. Стійкість розв'язків дискретних рівнянь. [1–5]</i>
5.	<i>Лекція 5. Тема 1.9. Відображення. Системи з дискретним часом в відображеннях. Тема 1.10. Ітерації в дослідженні динамічних систем. Графічні методи знаходження нерухомих точок і дослідження їх властивостей. Багатопараметричні відображення. [1–5]</i>
6.	<i>Лекція 6. Розділ 2. Особливі точки фазових портретів динамічних систем. Тема 2.1. Диференціальні рівняння і особливі точки. Класифікація точок рівноваги. Тема 2.2. Фазові портрети і особливі точки нелінійних звичайних диференціальних рівнянь. Функція розподілу, інваріантна міра, ергодичність і перемішування. Фазовий об'єм. [1–5]</i>
7.	<i>Лекція 7. Тема 2.3. Багатовимірні системи. Типи атракторів. Тема 2.4. Регулярні атрактори. [1–5]</i>



8.	<p><i>Лекція 8.</i>  <i>Тема 2.5. Характеристики нерегулярних атракторів. Багатовимірні нерегулярні атрактори. Тема 2.6. Сингулярні атрактори. Дикі атрактори.</i>  [1–5]</p>
9.	<p><i>Лекція 9.</i>  <i>Тема 2.7. Дивні нехаотичні атрактори. Репелери.</i>  <i>Тема 2.8. Нерегулярні атрактори. Квазіатрактори.</i>  [1–5]</p>
10.	<p><i>Лекція 10.</i>  <i>Тема 2.9. Хаотичні атрактори. Фрактальні атрактори. Розділ 3. Динамічний хаос.</i>  <i>Тема 3.1. Статистичний і динамічний хаос.</i>  [1–5]</p>
11.	<p><i>Лекція 11.</i>  <i>Тема 3.2. Сценарії переходу до хаосу. Приклади систем з хаосом. Тема 3.3. Хаос в лінійних одновимірних системах. Біфуркаційні діаграми. Відображення Бернуллі. Трикутне відображення.</i>  [1–5]</p>
12.	<p><i>Лекція 12.</i>  <i>Тема 3.4. Детермінована дифузія. Тема 3.5. Хаос в логістичному відображенні. Перехід до хаосу через подвоєння періоду. Логістичне рівняння. Дискретне логістичне рівняння. Біфуркаційних діаграма логістичного відображення.</i>  [1–5]</p>
13.	<p><i>Лекція 13.</i>  <i>Тема 3.6. Фазові діаграми логістичного відображення. Атрактори і фрактали в логістичному відображенні. Розділ 4. Біфуркації. Тема 4.1. Біфуркації: основні поняття і класифікація. Елементи теорії біфуркацій.</i>  [1–5]</p>
14.	<p><i>Лекція 14.</i>  <i>Тема 4.2. Найпростіші біфуркації.</i>  <i>Тема 4.3. Біфуркації циклів. Граничні цикли. Стійкість граничних циклів. Біфуркації стійких граничних циклів.</i>  [1–5]</p>
15.	<p><i>Лекція 15.</i>  <i>Тема 4.4. Біфуркація Пуанкаре-Андронов-Хопфа (біфуркація народження циклу). Біфуркація народження пари стійких замкнутих траєкторій. Транскритична біфуркація. Розділ 5. Приклади динамічних моделей фізичних, хімічних та біологічних систем. Тема 5.1. Приклади динамічних моделей фізичних систем.</i>  [1–5]</p>
16.	<p><i>Лекція 16.</i>  <i>Тема 5.2. Приклади динамічних моделей фізико-хімічних та біофізичних систем.</i>  <i>Тема 5.3. Моделювання хімічної кінетики. Принципи складання моделей. Проста реакція першого порядку.</i>  [1–5]</p>
17.	<p><i>Лекція 17.</i>  <i>Тема 5.4. Проста реакція другого порядку. Дві паралельні реакції першого порядку. Послідовність двох реакцій першого порядку. Послідовність трьох реакцій першого порядку. Обернена реакція першого порядку. Обернена реакція другого порядку.</i>  [1–5]</p>

18.	<p><i>Лекція 18.</i></p> <p><i>Тема 5.5. Основні положення моделювання динаміки популяцій. Найпростіші моделі динаміки популяцій.</i></p> <p>[1–5]</p>
-----	--

## 9. Практичні заняття

№	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1.	<p><i>Практичне заняття 1.</i></p> <p><i>Розділ 1. Динамічні системи і закони їх еволюції. Тема 1.1. Статичні системи. Лінійні та нелінійні динамічні системи. Еволюція динамічної системи. Тема 1.2. Математичний опис еволюції динамічної системи. Звичайні диференціальні рівняння для моделювання динамічних систем. Тема 1.3. Фазовий простір і простір станів. Нелінійні диференціальні рівняння. Тема 1.4. Стійкість динамічних систем. Стійкі і нестійкі рівноваги. Стійкість по Ляпунову (метод першого наближення). Показник Ляпунова.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>
2.	<p><i>Практичне заняття 2.</i></p> <p><i>Тема 1.5. Стійкість нелінійної системи. Метод функцій Ляпунова. Функція Ляпунова і ентропія. Тема 1.6. Асимптотична стійкість. Тема 1.7. Особливі точки. Стійкість особливих точок. Тема 1.8. Стійкість розв'язків дискретних рівнянь.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>
3.	<p><i>Практичне заняття 5.</i></p> <p><i>Тема 1.9. Відображення. Системи з дискретним часом в відображеннях. Тема 1.10. Ітерації в дослідженні динамічних систем. Графічні методи знаходження нерухомих точок і дослідження їх властивостей. Багатопараметричні відображення. Розділ 2. Особливі точки фазових портретів динамічних систем. Тема 2.1. Диференціальні рівняння і особливі точки. Класифікація точок рівноваги. Тема 2.2. Фазові портрети і особливі точки нелінійних звичайних диференціальних рівнянь. Функція розподілу, інваріантна міра, ергодичність і перемішування. Фазовий об'єм.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>
4.	<p><i>Практичне заняття 4.</i></p> <p><i>Тема 2.3. Багатовимірні системи. Типи атракторів. Тема 2.4. Регулярні атрактори. Тема 2.5. Характеристики нерегулярних атракторів. Багатовимірні нерегулярні атрактори. Тема 2.6. Сингулярні атрактори. Дикі атрактори.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>
5.	<p><i>Практичне заняття 5.</i></p> <p><i>Тема 2.7. Дивні нехаотичні атрактори. Репелери. Тема 2.8. Нерегулярні атрактори. Квазіатрактори. Тема 2.9. Хаотичні атрактори. Фрактальні атрактори. Розділ 3. Динамічний хаос. Тема 3.1. Статистичний і динамічний хаос.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>



6.	<p><i>Практичне заняття 6.</i></p> <p><i>Тема 3.2. Сценарії переходу до хаосу. Приклади систем з хаосом. Тема 3.3. Хаос в лінійних одновимірних системах. Біфуркаційні діаграми. Відображення Бернуллі. Трикутне відображення. Тема 3.4. Детермінована дифузія. Тема 3.5. Хаос в логістичному відображенні. Перехід до хаосу через подвоєння періоду. Логістичне рівняння. Дискретне логістичне рівняння. Біфуркаційних діаграма логістичного відображення.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>
7.	<p><i>Практичне заняття 7.</i></p> <p><i>Тема 3.6. Фазові діаграми логістичного відображення. Атрактори і фрактали в логістичному відображенні. Розділ 4. Біфуркації. Тема 4.1. Біфуркації: основні поняття і класифікація. Елементи теорії біфуркацій. Тема 4.2. Найпростіші біфуркації. Тема 4.3. Біфуркації циклів. Граничні цикли. Стійкість граничних циклів. Біфуркації стійких граничних циклів.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>
8.	<p><i>Практичне заняття 8.</i></p> <p><i>Тема 4.4. Біфуркація Пуанкаре-Андронов-Хопфа (біфуркація народження циклу). Біфуркація народження пари стійких замкнутих траєкторій. Транскритична біфуркація. Розділ 5. Приклади динамічних моделей фізичних, хімічних та біологічних систем. Тема 5.1. Приклади динамічних моделей фізичних систем. Тема 5.2. Приклади динамічних моделей фізико-хімічних та біофізичних систем. Тема 5.3. Моделювання хімічної кінетики. Принципи складання моделей. Проста реакція першого порядку.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>
9.	<p><i>Практичне заняття 9.</i></p> <p><i>Тема 5.4. Проста реакція другого порядку. Дві паралельні реакції першого порядку. Послідовність двох реакцій першого порядку. Послідовність трьох реакцій першого порядку. Обернена реакція першого порядку. Обернена реакція другого порядку. Тема 5.5. Основні положення моделювання динаміки популяцій. Найпростіші моделі динаміки популяцій.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>

#### 14. Самостійна робота студента

	Тема СРС
1.	<p><i>Розділ 1. Динамічні системи і закони їх еволюції.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>
2.	<p><i>Тема 1.1. Статичні системи. Лінійні та нелінійні динамічні системи. Еволюція динамічної системи.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>
3.	<p><i>Тема 1.2. Математичний опис еволюції динамічної системи. Звичайні диференціальні рівняння для моделювання динамічних систем.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>
4.	<p><i>Тема 1.3. Фазовий простір і простір станів. Нелінійні диференціальні рівняння.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>
5.	<p><i>Тема 1.4. Стійкість динамічних систем. Стійкі і нестійкі рівноваги. Стійкість по Ляпунову (метод першого наближення). Показник Ляпунова.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>
6.	<p><i>Тема 1.5. Стійкість нелінійної системи. Метод функцій Ляпунова. Функція Ляпунова і ентропія.</i></p> <p>[1–5], [6–11]</p>

7.	<i>Тема 1.6. Асимптотична стійкість.</i> [1–5], [6–11]
8.	<i>Тема 1.7. Особливі точки. Стійкість особливих точок.</i> [1–5], [6–11]
9.	<i>Тема 1.8. Стійкість розв'язків дискретних рівнянь.</i> [1–5], [6–11]
10.	<i>Тема 1.9. Відображення. Системи з дискретним часом в відображеннях.</i> [1–5], [6–11]
11.	<i>Тема 1.10. Ітерації в дослідженні динамічних систем. Графічні методи знаходження нерухомих точок і дослідження їх властивостей. Багатопараметричні відображення.</i> [1–5], [6–11]
12.	<i>Розділ 2. Особливі точки фазових портретів динамічних систем.</i> [1–5], [6–11]
13.	<i>Тема 2.1. Диференціальні рівняння і особливі точки. Класифікація точок рівноваги.</i> [1–5], [6–11]
14.	<i>Тема 2.2. Фазові портрети і особливі точки нелінійних звичайних диференціальних рівнянь. Функція розподілу, інваріантна міра, ергодичність і перемішування. Фазовий об'єм.</i> [1–5], [6–11]
15.	<i>Тема 2.3. Багатовимірні системи. Типи атракторів.</i> [1–5], [6–11]
16.	<i>Тема 2.4. Регулярні атрактори.</i> [1–5], [6–11]
17.	<i>Тема 2.5. Характеристики нерегулярних атракторів. Багатовимірні нерегулярні атрактори.</i> [1–5], [6–11]
18.	<i>Тема 2.6. Сингулярні атрактори. Дикі атрактори.</i> [1–5], [6–11]
19.	<i>Тема 2.7. Дивні нехаотичні атрактори. Репелери.</i> [1–5], [6–11]
20.	<i>Тема 2.8. Нерегулярні атрактори. Квазіатрактори.</i> [1–5], [6–11]
21.	<i>Тема 2.9. Хаотичні атрактори. Фрактальні атрактори.</i> [1–5], [6–11]
22.	<i>Розділ 3. Динамічний хаос.</i> [1–5], [6–11]
23.	<i>Тема 3.1. Статистичний і динамічний хаос.</i> [1–5], [6–11]
24.	<i>Тема 3.2. Сценарії переходу до хаосу. Приклади систем з хаосом.</i> [1–5], [6–11]
25.	<i>Тема 3.3. Хаос в лінійних одновимірних системах. Біфуркаційні діаграми. Відображення Бернуллі. Трикутне відображення.</i> [1–5], [6–11]
26.	<i>Тема 3.4. Детермінована дифузія.</i> [1–5], [6–11]
27.	<i>Тема 3.5. Хаос в логістичному відображенні. Перехід до хаосу через подвоєння періоду. Логістичне рівняння. Дискретне логістичне рівняння. Біфуркаційних діаграма логістичного відображення.</i>

	[1–5], [6–11]
28.	Тема 3.6. Фазові діаграми логістичного відображення. Атрактори і фрактали в логістичному відображенні. [1–5], [6–11]
29.	Тестування виконання СРС з розділів 1-3. [1–5], [6–11]
30.	Розділ 4. Біфуркації. [1–5], [6–11]
31.	Тема 4.1. Біфуркації: основні поняття і класифікація. Елементи теорії біфуркацій. [1–5], [6–11]
32.	Тема 4.2. Найпростіші біфуркації. [1–5], [6–11]
33.	Тема 4.3. Біфуркації циклів. Граничні цикли. Стійкість граничних циклів. Біфуркації стійких граничних циклів. [1–5], [6–11]
34.	Тема 4.4. Біфуркація Пуанкаре-Андронов-Хопфа (біфуркація народження циклу). Біфуркація народження пари стійких замкнутих траєкторій. Транскритична біфуркація. [1–5], [6–11]
35.	Розділ 5. Приклади динамічних моделей фізичних, хімічних та біологічних систем. [1–5], [6–11]
36.	Тема 5.1. Приклади динамічних моделей фізичних систем. [1–5], [6–11]
37.	Тема 5.2. Приклади динамічних моделей фізико-хімічних та біофізичних систем. [1–5], [6–11]

## Політика та контроль

### 15. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Система вимог, які викладач ставить перед студентом:

- правила відвідування занять (згідно розкладу і згідно загально-університетського розпорядку);
- правила поведінки на заняттях (активність на практичних заняттях є обов'язковою, бали за активність на практичних заняттях не ставляться, відключення телефонів є обов'язковим);
- правила захисту індивідуальних завдань (тестування <http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2gr6GZDyihI5SyRV52uR6BH6cnzWGuLHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA> у розділі «Доступні курси/Горобець О.Ю»);
- правила призначення заохочувальних та штрафних балів (штрафні бали не призначаються, заохочувальні бали призначаються суворо згідно підрозділу 8 цього силабусу);
- політика дедлайнів та перескладань (згідно загально-університетського розпорядку);
- політика щодо академічної доброчесності (згідно загально-університетського розпорядку);

### 16. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Поточний контроль: тести

**Календарний контроль:** контроль виконання самостійної роботи проводиться двічі на семестр у формі тестів як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

Семестрова атестація проводиться у вигляді екзамену. Для оцінювання результатів навчання застосовується 100-бальна рейтингова система і університетська шкала.

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань з дисципліни згідно з робочим навчальним планом.

Семестр	Навчальний час		Розподіл навчальних годин			Контрольні заходи
	Кредити	Акад. год.	Лекції	Практичні заняття	СРС	Семестр атест.
2	4	120	36	18	66	Екзамен

Рейтинг студентів 2 курсу магістратури ФМФ з «Нелінійної динаміки складних систем» складається з балів, які вони отримують за:

- 1) СРС
- 2) відповіді на екзамені.

Система рейтингових балів та критерії оцінювання.

Студентам, які успішно виконують СРС (самостійна робота студентів), можуть нараховуватися за семестр максимум 60 балів. СРС полягає у самостійній роботі із вивчення лекційного матеріалу. Перевірка виконання СРС здійснюватиметься оцінюванням результатів тестування в системі Moodle [http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S\\_yRV52uR6BH6cnzWGu\\_LHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA](http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S_yRV52uR6BH6cnzWGu_LHyhUVkTkI2EnZTqi554UrA) у розділі Доступні курси/Горобець О.Ю.

Необхідною умовою допуску до екзамену з «Нелінійної динаміки складних систем» є задовільне виконання СРС (не менше 24 балів).

Екзаменаційна робота з «Нелінійної динаміки складних систем» складається з 2 питань (2 теоретичних питання), кожне теоретичне питання максимально оцінюється в 20 балів. Всього 40 балів.

Критерії оцінювання (до екзамену):

- Студент демонструє фрагментарні знання навчального матеріалу, не достатньо розуміючи зв'язок між окремими розділами програми, робить не достатньо обґрунтовані висновки (0-10 балів).
- Студент правильно відтворює навчальний матеріал, знає основоположні теорії і факти, вміє наводити окремі власні приклади на підтвердження певних думок (10-20 балів)
- Студент добре володіє вивченим матеріалом, застосовує знання в стандартних ситуаціях, вміє аналізувати і систематизувати інформацію, використовує загальновідомі докази із самостійною і правильною аргументацією (21-30 балів)
- Студент має гнучкі знання в межах вимог навчальної програми, аргументовано використовує їх в різних ситуаціях, уміє знаходити інформацію та аналізувати її, ставити і розв'язувати проблеми (31-40 балів)

Сума вагових балів контрольних заходів з «Нелінійної динаміки складних систем» протягом семестру складає:

**$R_C = 60$  балів.**

Екзаменаційна складова шкали  **$R_E = 40$  балів.**

Рейтингова шкала з Нелінійної динаміки складних систем складає  **$R_D = R_C + R_E = 100$  балів.**

Для виставлення оцінок до залікової книжки рейтинг переводиться у оцінки відповідно до таблиці.

Студенти, які набрали протягом семестру стартовий рейтинг з дисципліни ( $r_C$ ) менше 0,4  $R_C = 24$  балів, зобов'язані до початку екзаменаційної сесії підвищити його, інакше вони не допускаються до екзамену з Нелінійної динаміки складних систем і мають академічну заборгованість.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
95-100	Відмінно
85-94	Дуже добре
75-84	Добре
65-74	Задовільно
60-64	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані інші умови допуску до екзамену	Не допущено

### 17. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

- *Перелік питань, які виносяться на семестровий контроль наведено в тестах в системі Moodle [http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S\\_yRV52uR6BH6cnzWGu\\_LHyhUVkTkI2En\\_ZTqi554UrA](http://physics.zfftt.kpi.ua/?fbclid=IwAR3c2qr6GZDyihI5S_yRV52uR6BH6cnzWGu_LHyhUVkTkI2En_ZTqi554UrA) у розділі «Доступні курси/Горобець О.Ю.»;*
- *можливість зарахування сертифікатів проходження дистанційних чи онлайн курсів за відповідною тематикою не передбачена.*

### Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

**Складено** професором кафедри загальної фізики та фізики твердого тіла, д.ф.-м.н., професором Горобець О.Ю.

**Ухвалено** кафедрою загальної фізики та фізики твердого тіла (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)

**Погоджено** Методичною комісією факультету<sup>1</sup> (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)

---

<sup>1</sup> Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.