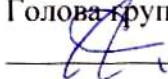



ЗАТВЕРДЖЕНО
на засіданні групи забезпечення
спеціальності 104 «Оптика і спектроскопія
квантових систем»
від «25» березня 2021 року
протокол № 3
Голова групи забезпечення
 Свиначенко А.А.

УЗГОДЖЕНО
Зав відділом аспірантури і докторантури
 Вітовська О. Т.

СИЛАБУС

навчальної дисципліни

«ФРАКТАЛЬНА ГЕОМЕТРІЯ І ТЕОРІЯ ХАОСУ ДЛЯ КВАНТОВИХ СИСТЕМ»

(назва навчальної дисципліни)

104 Фізика та астрономія

(шифр та назва спеціальності)

Оптика і спектроскопія квантових систем

(назва освітньої програми)

третій, денна

(рівень вищої освіти) (форма навчання)

2

3

5/150

залік

(рік навчання) (семестр навчання) (кількість кредитів ЄКТС/годин) (форма контролю)

Вищої та прикладної математики

(кафедра)

Автори:

Глушков О.В., зав. кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., професор;
Свинаренко А.А., професор кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., професор;
Хецеліус О.Ю., професор кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., професор;
Серга І.М., доцент кафедри вищої та прикладної математики, к.ф.-м.н., доцент

Рецензенти:

Сминтина В.А., д.ф.-м.н., професор (Одеський національний університет ім.І.Мечникова);
Тюрін О.В., д.ф.-м.н., професор (Одеський національний університет ім.І.Мечникова);
Шевчук В.Г., д.ф.-м.н., професор (Одеський національний університет ім.І.Мечникова);

Поточна редакція розглянута на засіданні кафедри вищої та прикладної математики
від «_30_»_08_2021 р., протокол № 1.

Викладачі:

лекційні заняття:

Хецеліус О.Ю., проф. кафедри вищої та прикладної математики, д.ф.-м.н., професор;

практичні заняття:

Серга І.М., доцент кафедри вищої та прикладної математики, к.ф.-м.н., доцент;

контактна інформація: телефон кафедри: (0482) 32-67-39, електронна адреса:

okhetsel@gmail.com , sergaingaaa@gmail.com , електронна адреса кафедри: math@odeku.edu.ua

Перелік попередніх редакцій

Прізвища та ініціали авторів	Дата, № протоколу	Дата набуття чинності

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЗМ-Л1 – змістовий лекційний модуль №1

ЗМ-Л2 – змістовий лекційний модуль №2

ЗМ-П1 – змістовий практичний модуль №1

ЗМ-П2 – змістовий практичний модуль №2

ЗМ-КуР – змістовий практичний модуль з виконання курсової роботи

ОЗ – оцінка роботи здобувача освіти за всіма змістовими модулями

ОКР – оцінка залікової контрольної роботи

В – інтегральна оцінка поточної роботи здобувача освіти по дисципліні

ЄКТС – Європейська кредитно-трансферна система

1. ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Мета навчальної дисципліни	Засвоєння (забезпечення) низки компетентностей, зокрема, оволодіння сучасним апаратом фрактальної геометрії та теорії хаосу, здатність розвитку нових та удосконалення існуючих математичних методів аналізу, моделювання та прогнозування на основі фрактальної геометрії та елементів теорії хаоса регулярної і хаотичної динаміки (еволюції) складних систем.
Компетентності, які повинні бути набуті або розвинуті	<p><i>K09</i> <i>Здатність аналізу даних.</i> Компетентність аналізувати дані аналітичних викладок та потенційних комп'ютерних експериментів із дослідження характеристик лінійних та нелінійних процесів у складних класичних та квантових системах, взагалі різноманітних систем у сфері прикладної математики, які можуть бути великого обсягу та вимагати застосування потужних обчислювальних ресурсів</p> <p><i>K11</i> <i>Здатність аналізу та виявлення комплексу ключових проблем у певній галузі прикладної математики, зокрема, прикладної математики класичних та квантових систем, здатність проведення математичного і комп'ютерного моделювання, інтелектуального аналізу даних, виконання обчислювального експерименту, розв'язання задач за допомогою спеціалізованих програмних засобів.</i></p> <p><i>Здатність розробляти принципово нові та удосконалювати існуючі сучасні методи прикладної математики класичних та квантових систем для їх подальшого використання в задачах аналізу, моделювання та прогнозування властивостей класичних та квантових систем як з регулярною, так і хаотичною поведінкою.</i></p>
Програмні результати навчання	<p><i>P092</i> Використовувати стандартні та будувати нові програмні продукти на основі нових математичних підходів відповідно до потреб дисертаційного дослідження, адаптувати та удосконалювати обчислювальні методи та алгоритми для чисельного дослідження характеристик лінійних та нелінійних процесів у складних класичних та квантових системах</p> <p><i>P111</i> Уміння проводити професійний аналіз проблем у галузі прикладної математики класичних та квантових систем, реалізовувати на практиці навички математичного і комп'ютерного моделювання, проводити інтелектуальний аналіз та обробку чисельних та об'єктних даних, даних обчислювального експерименту з використанням різноманітних методів та алгоритмів сучасної прикладної математики.</p> <p><i>P112</i> Уміння розробляти принципово нові та удосконалювати існуючі сучасні методи прикладної математики класичних та/або квантових систем, базуючись на фундаменті сучасних ефективних підходів теорії ймовірностей та математичної статистики та/або теорії хаосу та динамічних систем, та /або теорії оптимального управління, фрактальної та квантової геометрії, та/або методів обчислювальної гідродинаміки, квантової статистики та комп'ютерного моделювання та програмування тощо.</p>
Базові знання	Основні поняття квантової механіки, геометрії та електродинаміки для аналізу, моделювання та прогнозування властивостей класичних та квантових систем з резонансною поведінкою. Сучасний апарат фрактальної геометрії та теорії хаосу, існуючі математичні методи аналізу, моделювання та прогнозування на основі фрактальної геометрії та елементів теорії хаоса регулярної і хаотичної динаміки (еволюції) складних систем.
Базові вміння	Використовувати сучасні або розроблювати нові підходи, зокрема, на основі фрактальної геометрії та теорії хаоса, до аналізу, моделювання, прогнозування, програмування регулярної і хаотичної динаміки складних систем з постановкою комп'ютерних експериментів.
Базові навички	Здатність розвитку нових та удосконалення існуючих математичних методів аналізу, моделювання та прогнозування на основі фрактальної геометрії та елементів теорії хаоса регулярної і хаотичної динаміки

	(еволюції) складних систем.
<i>Пов'язані силабуси</i>	Немає
<i>Попередня дисципліна</i>	Обчислювальні методи оптики та динаміки квантових та лазерних систем
<i>Наступна дисципліна</i>	Науково-педагогічна практика
<i>Кількість годин</i>	лекції – 30 год., практичні заняття – 45 год., самостійна робота – 75 год.

2. ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.1. Лекційний модуль

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. робота
ЗМ-Л1	Динаміка диференціальних рівнянь та елементи теорії катастроф. Елементи теорії фракталів та мультифракталів	15	15
Л1.1	Якісна теорія диференціальних рівнянь . Динаміка диференціальних рівнянь. Інтегрування лінійних та нелінійних рівнянь другого порядку. Динаміка у фазовій площині. Фазовий портрет маятника та консервативних систем. Аналіз стійкості. Матриця стійкості. Класифікація нерухомих точок. Лімітні цикли. Елементи сучасної теорії нелінійних коливань. Елементи сучасної теорії динамічних систем. Класифікація та приклади динамічних систем.	4	4
Л1.2	Елементи теорії катастроф. Катастрофи корозмірності. Динамічні системи та біфуркації. Питання структурної стійкості. Теорія локальних і гомоклінічних біфуркацій. Інваріантні тори. Теореми про центральне різноманіття. Біфуркації одновимірних потоків, Андронова-Хопфа, лімітних циклів, 1-Д, 2-Д, 3-Д параметричних одновимірних відображень . Нестійкі та стійкі різноманіття. Біфуркації та синхронізації в системах типа Ван-дер-Поля..	4	4
Л1.3	Введення в теорію фракталів. Природні приклади фракталів (мультифракталів). Канторові множини. Самоподібність та арифметичні властивості. Логістична парабола та подвоєння періодів. Самоподібна логістична динаміка. Феномен скейлінгу. Касательні біфуркації, переміжаємість та 1/f шум. Множини Мандельброта. Множина Жюлі комплексного квадратичного відображення.	3	3
Л1.4	Визначення фракталу (мультіфракталу). Фрактальна розмірність. Масова розмірність. Кореляційна розмірність. Визначення фрактальної розмірності на основі узагальнених ентропій. Визначення кореляційної розмірності по часовим рядам. Мультифрактали на фракталах. Співвідношення між мультифрактальним спектром и показниками маси. Дивні атрактори як мультифрактали. Фрактали та комплексна аналітична динаміка..	4	4
ЗМ-Л2	Геометрія фазового простору. Теорія хаосу. Хаотична динаміка дисипативних систем. Елементи теорії квантового хаосу.	15	15
Л2.1	Визначення хаосу. Хаос та його властивості. Геометрія дивних атракторів. Подвоєння періодів та теорія Файгенбаума. Переміжаємість. Квазіперіодичні явища. Критерії локального хаосу. Показники Ляпунова та спектр потужності. Критерії виникнення глобального хаосу. Метод перекриття резонансів. Метод Гріна. Тест Готтвода і Мелбена. Геометрія фазового простору. Теорема Колмогорова-Арнольда-Мозера. Обчислення часової затримки τ за допомогою автокореляційної функції чи взаємної інформації. Визначення розмірності вкладення d_E за методом кореляційної розмірності чи алгоритму хибних найближчих сусідніх точок. Розрахунок мультифрактальних спектрів. Метод кореляційного інтегралу. Метод показників Ляпунова.	4	4

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем лекційних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. робота
Л2.2	Вейвлет-аналіз. Визначення та обчислення глобальних розмірностей Ляпунова λ_α , розмірності Каплана-Йорка d_L , ентропії Колмогорова, середньої межі передбачуваності $P_{r_{max}}$. Хаос-геометричний підхід до аналізу, моделювання та прогнозування нелінійної динаміки хаотичних систем: Визначення кількості найближчих сусідніх точок NN для найкращих результатів прогнозу. Методи нелінійного прогнозу еволюційної динаміки хаотичних систем. Теоретичні аспекти побудови моделей прогнозування. Нейромережевий алгоритм, алгоритм передбачених траєкторій.	4	4
Л2.3	Хаотична динаміка дисипативних систем. Статистичні поняття сильно хаотичних систем. Ергодичність. Перемішування. Трансформації пекаря та системи Бернуллі. Ієрархія неупорядкованості. Дисипативні системи та турбулентність. Теорія Ландау-Хопфа. Теорія біфуркацій Хопфа. Теорія Рюеля-Текенса. Математичні моделі дивних атракторів. Модель Лоренца та відображення Хенона. Біфуркації подвоєння періоду та різні класи універсальності. Нелінійний аналіз та прогнозування еволюційної хаотичної динаміки економічних, екологічних, нейрофізіологічних та інших систем. Приклади тестування хаосу в часових рядах та нелінійних моделей прогнозування.	3	3
Л2.4	Хаос та інтегруємість у квазікласичній механіці. Нелінійні хаотична динаміка квантових систем. Квазіперіодична квантова механіка. Інтегруємі системи. Метод ВКБ та умови квантування Бора-Зомерфельда. Квантовий хаос. Формула сліду Гутцвіллера. Внески у густину станів. Випадкові матриці. Гаусові ансамблі. Метод суперсиметрії. Гамільтоніан з періодичною залежністю від часу. Динамічна локалізація. Наближення сильного зв'язку. Спектральні кореляції. Спектральний аналіз, статистика енергетичного спектру, розподіл Вігнера, спектр потужності i , «спектральна жорсткість». Спектр потужності та принцип відповідності. Розподіл відстань між рівнями. Критерії Чирикова. Хаотичні особливості динаміки атомних систем в постійному електричному, магнітному та електромагнітному полях. Хаос в динаміці молекулярних систем в електромагнітному полі.	4	4
Разом:		30	30

Консультації проводить професор Глушков О.В. щопонеділка з 15.00 до 17.00 в ауд. 407, можливі он-лайн консультації через Skype або Wiber; для узгодження часу он-лайн консультацій слід надіслати запит на електронну пошту викладача: glushkovav@gmail.com, math@odeku.edu.ua

2.2. Практичний модуль

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем практичних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. роб.
ЗМ-П1	Динаміка диференціальних рівнянь та елементи теорії катастроф. Елементи теорії фракталів та мультифракталів	25	15
П1.1	Динаміка диференціальних рівнянь. Інтегрування лінійних та нелінійних рівнянь другого порядку. Динаміка у фазовій площині. Фазовий портрет маятника та консервативних систем. Аналіз стійкості. Матриця стійкості. Класифікація нерухомих точок. Лімітні цикли. Приклади динамічних систем. Елементи теорії катастроф. Катастрофи корозмірності. Динамічні системи та біфуркації. Питання структурної стійкості. Теорія локальних і гомоклінічних біфуркацій. Інваріантні тори. Теореми про центральне різноманіття. Біфуркації одновимірних потоків, Андронова-Хопфа, лімітних циклів, 1-Д, 2-Д, 3-Д параметричних одновимірних відображень. Нестійкі та стійкі різноманіття.	15	10
П1.2	Біфуркації та синхронізації в системах типа Ван-дер-Поля. Канторові множини. Самоподібність та арифметичні властивості. Логістична парабола та подвоєння періодів. Феномен скейлінгу. Касательні біфуркації, перемижаємість та $1/f$ шум. Множини Мандельброта. Множина Жюлі комплексного квадратичного відображення. Визначення фракталу (мільтіфракталу). Обчислення фрактальної розмірності. Кореляційна розмірність. Визначення фрактальної розмірності на основі узагальнених ентропій. Визначення кореляційної розмірності по часовим рядам. Мультифрактали на фракталах. Співвідношення між мультифрактальним спектром и показниками маси. Дивні атрактори як мультифрактали. Фрактали та комплексна аналітична динаміка, турбулентності, переносу енергії, маси.	10	5
ЗМ-П2	Елементи теорії квантового хаосу. Хаос в квантових і лазерних системах	20	10
П2.1	Визначення хаосу та його властивостей. Критерії локального хаосу. Показники Ляпунова та спектр потужності. Критерії виникнення глобального хаосу. Метод перекриття резонансів. Метод Гріна. Тест Готтвода і Мелбена. Геометрія фазового простору. Обчислення часової затримки τ за допомогою автокореляційної функції чи взаємної інформації. Визначення розмірності вкладення d_E за методом кореляційної розмірності чи алгоритму хибних найближчих сусідніх точок. Розрахунок мультифрактальних спектрів. Метод кореляційного інтегралу.	5	2
П2.2	Вейвлет-аналіз. Визначення та обчислення глобальних розмірностей Ляпунова λ_α , розмірності Каплана-Йорка d_L , ентропії Колмогорова, середньої межі передбачуваності $P_{\Gamma_{\max}}$. Хаос-геометричний підхід до прогнозування нелінійної динаміки хаотичних систем: Визначення кількості найближчих сусідніх точок NN для найкращих результатів прогнозу. Методи нелінійного прогнозу еволюційної динаміки хаотичних систем:	5	2

Код	Назви змістовних модулів та перелік тем практичних занять	Кількість годин	
		Ауди-торні	Самост. роб.
	Нейромережевий алгоритм, алгоритм передбачених траєкторій. Хаотична динаміка дисипативних систем. Статистичні поняття сильно хаотичних систем. Дисипативні системи та турбулентність. Теорія Ландау-Хопфа. Теорія біфуркацій Хопфа. Теорія Рюеля-Текенса. Математичні моделі дивних атракторів. Модель Лоренца та відображення Хенона. Біфуркації подвоєння періоду та різні класи універсальності. Нелінійний аналіз та прогнозування еволюційної хаотичної динаміки економічних, екологічних, нейрофізіологічних та інших систем. Приклади тестування хаосу в часових рядах та нелінійних моделей прогнозування.).		
П2.3	Хаос та інтегруємість у квазікласичній механіці. Нелінійні хаотична динаміка квантових систем. Квазіперіодична квантова механіка. Інтегруємі системи. Метод ВКБ та умови квантування Бора-Зомерфельда. Квантовий хаос. Формула сліду Гутцвіллера. Внески у густину станів. Випадкові матриці. Гаусові ансамблі. Метод суперсиметрії. Гамільтоніан з періодичною залежністю від часу. Динамічна локалізація. Наближення сильного зв'язку. Спектральні кореляції. Спектральний аналіз, статистика енергетичного спектру, розподіл Вігнера, спектр потужності i , «спектральна жорсткість». Спектр потужності та принцип відповідності. Розподіл відстань між рівнями. Критерії Чирикова.	5	3
П2.4	Хаотичні особливості динаміки атомних систем в постійному електричному, магнітному та електромагнітному полях. Хаос в динаміці молекулярних систем в електромагнітному полі. Приклад динамічного хаосу. Нелінійний аналіз хаотичних коливань в сітці двох квантових генераторів. Аналіз генерації хаосу в напівпровідникових GaAs / GaAlAs лазерних системах із запізнілим зворотнім зв'язком. Аналіз генерації хаосу в ербієвому одно-кільцевому волоконному лазері. Нелінійна динаміка релятивістських ламп зворотної хвилі (ЛЗХ) в самомодуляційному та хаотичного режимах та її опис на основі методів теорії хаосу. Спрощена якісна теорія та приклади її застосування до опису нелінійної динаміки релятивістських ЛЗХ. Нелінійна динаміка релятивістської ЛЗХ в автомодуляційному та хаотичному режимах у врахуванням ефектів відбиття хвиль, просторового поля заряду і дисипації.	5	3
ЗМ-КурР	Курсова робота	-	10
	Підготовка до заліку		5
Разом:		45	30

Консультації проводить професор Глушков О.В. щопонеділка з 15.00 до 17.00 в ауд. 407, можливі он-лайн консультації через Skype або Wiber; для узгодження часу он-лайн консультацій слід надіслати запит на електронну пошту викладача: glushkovav@gmail.com, math@odeku.edu.ua

2.3. Самостійна робота

Код	Узагальнені дані по всіх змістових модулях про завдання на самостійну роботу	Кількість годин	Строк проведення
ЗМ-Л1	• Самопідготовка до лекцій, опрацювання теоретичного матеріалу за конспектами лекцій і рекомендованими навчальними посібниками, монографічній навчальній літературі, включаючи інформаційні загальноосвітні ресурси;	3	1-8 тижні
	• Виконання завдань на самостійну роботу, підготовка до усного опитування або тестування;	3	
	• Самостійне вивчення з рекомендованого переліку додаткових теоретичних питань, нерозглянутих на лекціях,	2	
	• Виконання запропонованих викладачем додаткових завдань на самостійну роботу з метою поглиблення та закріплення знань, розвитку аналітичних навичок з проблематики навчальної дисципліни.	2	
	• Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова)	5	
ЗМ-Л2	• Самопідготовка до лекцій, опрацювання теоретичного матеріалу за конспектами лекцій і рекомендованими навчальними посібниками, монографічній навчальній літературі, включаючи інформаційні загальноосвітні ресурси;	3	9-15 тижні
	• Виконання завдань на самостійну роботу, підготовка до усного опитування;	3	
	• Самостійне вивчення з рекомендованого переліку додаткових теоретичних питань, нерозглянутих на лекціях,	2	
	• Виконання запропонованих викладачем додаткових завдань на самостійну роботу з метою поглиблення та закріплення знань, розвитку аналітичних навичок з проблематики навчальної дисципліни.	2	
	• Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова)	5	
ЗМ-П1	• Самопідготовка до практичних занять, повторення раніше вивченого теоретичного матеріалу;	3	1-8 тижні
	• Виконання завдань на самостійну роботу, у тому числі розв'язування окремих задач і прикладів, проведення типових розрахунків за даними, отриманими на практичних заняттях, підготовка до презентації результатів;	3	
	• Підготовка до усного опитування або тестування, перевірки практичних робіт у форматі взаємного оцінювання та обґрунтованих висновків;	2	
	• Розв'язування додаткових задач за тематикою практичних занять.	2	
	• Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова)	5	

Код	Узагальнені дані по всіх змістових модулях про завдання на самостійну роботу	Кількість годин	Строк проведення
ЗМ-П2	• Самопідготовка до практичних занять, повторення раніше вивченого теоретичного матеріалу;	2	9-15 тижні
	• Виконання завдань на самостійну роботу, у тому числі розв'язування окремих задач і прикладів, проведення типових розрахунків за даними, отриманими на практичних заняттях, підготовка до презентації результатів;	1	
	• Підготовка до усного опитування або тестування, перевірки практичних робіт у форматі взаємного оцінювання та обґрунтованих висновків;	1	
	• Розв'язування додаткових задач за тематикою практичних занять.	1	
	• Підготовка до модульної контрольної роботи (обов'язкова)	5	
ЗМ-КуР	• Виконання етапів курсової (дослідницької) роботи згідно завдання, виданого викладачем;	10	2-12 тижні
	• Підготовка до захисту курсової роботи (обов'язкова).	5	13-14 тижні
ОКР	• Підготовка до залікової контрольної роботи (обов'язкова).	5	14-15 тижні
Разом:		75	

3. РЕКОМЕНДАЦІ ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ АСПІРАНТІВ

3.1. Загальні повчання

Самостійна робота є основним засобом засвоєння здобувачем вищої освіти навчального матеріалу дисципліни «Обчислювальні методи оптики та динаміки квантових та лазерних систем» в поза аудиторний час, що регламентується навчальним планом.

Базова (обов'язкова) самостійна робота аспіранта включає:

- самопідготовку до лекційних та практичних занять;
- опрацювання нового та повторення раніше вивченого теоретичного матеріалу;
- виконання завдань на самостійну роботу: підготовка інформаційного повідомлення в усній та письмовій формі, складання опорного конспекту, графічне представлення матеріалу (складання схем, рисунків, графіків, діаграм), складання тестів та еталонних відповідей до них, створення матеріалів презентацій, проведення типових розрахунків за даними, отриманими на практичних заняттях;

- підготовку до усного опитування або тестування;
- підготовку до заліку (залікової контрольної роботи).
- виконання курсової роботи та підготовку до її захисту;
- підготовку до залікової контрольної роботи.

Додаткова самостійна робота спрямована на поглиблення та закріплення знань здобувачів освіти, розвиток їх аналітичних навичок з проблематики навчальної дисципліни. Невичерпний перелік заходів може включати:

- самостійне вивчення з рекомендованого переліку додаткових теоретичних питань, нерозглянутих на лекціях;
- розв'язування додаткових задач за тематикою практичних занять;
- виконання творчих аналітично-розрахункових робіт;
- аналіз наукової публікації за визначеною викладачем темою;
- аналіз наукових матеріалів по заданій темі зі складанням схем та моделей на підставі отриманих результатів;

- поглиблений аналіз науково-методичної літератури (підготовка рецензій, анотацій на статтю або посібник, складання анотованого списку статей із відповідних журналів по галузі знань, складання глосарія по конкретній темі, аналітичний звіт з побудови наукової гіпотези за обраною аспірантом тематикою дослідження та ін.);

- пошук додаткових матеріалів, які можуть бути використані для написання курсової (дослідницької) роботи.

Самостійна робота над засвоєнням навчального матеріалу з дисципліни може виконуватися у бібліотеці, читальних залах бібліотеки Одеського державного екологічного університету, навчальних кабінетах, комп'ютерних класах, у домашніх умовах, у тому числі з використанням технологій дистанційного навчання та інтернет - ресурсів. Перелік навчально-методичних матеріалів разом з рекомендованою науковою та фаховою монографічною й періодичною літературою, необхідний для забезпечення самостійної роботи аспірантів, наведено у пункті 5. Здобувач освіти в ході самостійної роботи може:

- самостійно визначати рівень (глибину) опрацювання змісту матеріалу;
- самостійно опрацьовувати додаткові теми і питання;
- пропонувати свої варіанти організаційних форм самостійної роботи;
- використовувати для самостійної роботи методичні та навчальні посібники та інші інформаційні ресурси понад запропонованого переліку;
- здійснювати самоконтроль результатів самостійної роботи (власними методами або запропонованими викладачем).

Навчальний матеріал дисципліни, передбачений для засвоєння аспірантами у процесі самостійної роботи, виноситься на підсумковий контроль разом із навчальним матеріалом, який було опрацьовано під час проведення навчальних занять. Загальна кількість годин самостійної роботи, яка надається аспіранту для засвоєння навчального матеріалу дисципліни, становить 75 годин.

3.1.1 Модуль Л1, П1. Динаміка диференціальних рівнянь та елементи теорії катастроф. Елементи теорії фракталів та мультифракталів Динаміка диференціальних рівнянь та елементи теорії катастроф. Елементи теорії фракталів та мультифракталів

3.1.1.1 Повчання

Розглядають наступні питання: Якісна теорія диференціальних рівнянь . Динаміка диференціальних рівнянь. Інтегрування лінійних та нелінійних рівнянь другого порядку. Динаміка у фазовій площині. Фазовий портрет маятника та консервативних систем. Аналіз стійкості. Матриця стійкості. Класифікація нерухомих точок. Лімітні цикли.

Наявне навчально-методичне забезпечення:

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы.- Ижевск : ИКИ, 2010. 656С.
2. Табор Х. Хаос и интегрируемость в нелинейной динамике. М: Мир, 2009.306С.
3. Kruglyak Yu.A., Glushkov A.V., Prepelitsa G.P., Buyadzhi V.V., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P. 4. Lecture's Notes Odessa: TEC, 2015.180P.
4. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Serga I.N., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 2: New methods and algorithms, Lecture's Notes. Odessa: OSENU, 2015. 130P.
5. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Chernyakova Yu.G., Fractal Geometry and a Chaos Theory, part 2: New methods and algorithms of Nonlinear Analysis, Lecture's Notes. Odessa: OSENU. 92P.

3.1.1.2 Питання до самоперевірки

1. Елементи сучасної теорії нелінійних коливань. ([1], стр.91-105)
2. Елементи сучасної теорії динамічних систем. ([1], стр.107-117)
3. Класифікація та приклади динамічних систем. ([2], стр.53-59)
4. Елементи теорії катастроф. ([2], стр.59-65)
5. Катастрофи сорозмірності. ([1], стр.119-125)
6. Динамічні системи та біфуркації. ([1], стр.128-135)
7. Теорія локальних і гомоклінічних біфуркацій. ([2], стр.67-77)
8. Теореми про центральне різноманіття. ([3], стр.22-37)
9. Біфуркації одновимірних потоків. ([1], стр.137-145)
10. Нестійкі та стійкі різноманіття. ([3], стр.58-63)

3.1.2 Модуль Л2, П2. Геометрія фазового простору. Теорія хаосу. Хаотична динаміка дисипативних систем. Елементи теорії квантового хаосу. Хаос в квантових і лазерних системах

3.1.2.1 Повчання

Розглядають наступні питання: Визначення хаосу. Хаос та його властивості. Геометрія дивних атракторів. Подвоєння періодів та теорія Файгенбаума. Перемижаємість. Квазіперіодичні явища. Критерії локального хаосу. Показники Ляпунова та спектр потужності. Критерії виникнення глобального хаосу. Метод перекриття резонансів. Метод Гріна. Тест Готтвода і Мелбена. Геометрія фазового простору.

Найвне навчально-методичне забезпечення:

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы.- Ижевск : ИКИ, 2010. 656С.
2. Табор Х. Хаос и интегрируемость в нелинейной динамике. М: Мир, 2009.306С.
3. Kruglyak Yu.A., Glushkov A.V., Prepelitsa G.P., Buyadzhi V.V., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P. 4. Lecture's Notes Odessa: TEC, 2015.180P.
4. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Buyadzhi V.V., Serga I.N., Numerical methods in Quantum Geometry and Chaos theory, Part 2: New methods and algorithms, Lecture's Notes. Odessa: OSENU, 2015. 130P.
5. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Chernyakova Yu.G., Fractal Geometry and a Chaos Theory, part 2: New methods and algorithms of Nonlinear Analysis, Lecture's Notes. Odessa: OSENU. 92P.

3.1.2.2 Питання до самоперевірки

1. Теорема Колмогорова-Арнольда-Мозера. ([1], стр.21-35)
2. Метод кореляційного інтегралу. ([1], стр.41-47)
3. Метод показників Ляпунова. ([4],стр.33-39)
4. Хаотична динаміка дисипативних систем. ([2], стр.41-45)
5. Статистичні понятті сильно хаотичних систем. ([1], стр.53-58)
6. Ієрархія невпорядкованості. ([1], стр.58-65)
7. Дисипативні системи та турбулентність. ([2], стр.46-49)
8. Теорія Ландау-Хопфа. ([3], стр.22-37)
9. Теорія біфуркацій Хопфа. ([4], стр.71-85)
10. Теорія Рюеля-Текенса ([3], стр.41-55)

3.2. Рекомендований перелік додаткових теоретичних питань для самостійного вивчення

1. Якісна теорія диференціальних рівнянь . Динаміка диференціальних рівнянь. Інтегрування лінійних та нелінійних рівнянь другого порядку ([2], стр.41-45)
2. Динаміка у фазовій площині. Фазовий портрет маятника та консервативних систем. Аналіз стійкості. Матриця стійкості. Класифікація нерухомих точок. Лімітні цикли ([1], стр.53-58)
3. Елементи сучасної теорії нелінійних коливань. Елементи сучасної теорії динамічних систем. Класифікація та приклади динамічних систем ([4], стр.58-65)
4. Елементи теорії катастроф. Катастрофи корозмірності. Динамічні системи та біфуркації. Питання структурної стійкості. Теорія локальних і гомоклінічних біфуркацій. Інваріантні тори. Теореми про центральне різноманіття ([2], стр.46-49)
5. Біфуркації одновимірних потоків, Андронова-Хопфа, лімітних циклів, 1-Д, 2-Д, 3-Д параметричних одномірних відображень . Нестійкі та стійкі різноманіття. Біфуркації та синхронізації в системах типа Ван-дер-Поля ([3], стр.22-37)
6. Введення в теорію фракталів. Канторові множини. Самоподібність та арифметичні властивості. Самоподібна логістична динаміка ([5], стр.70-81)

3.3. Вказівки з виконання курсової (дослідницької) роботи

Окремою складовою самостійної роботи з дисципліни «Обчислювальні методи оптики та динаміки квантових та лазерних систем» є виконання курсової (дослідницької) роботи та підготовка до її захисту. Курсова робота - один із видів індивідуальних завдань навчально-дослідницького та творчого характеру, який має на меті не лише поглиблення, узагальнення і закріплення знань аспірантів з навчальної дисципліни, а й застосування їх при проведенні власного наукового дослідження і вироблення вміння самостійно працювати з навчальною і науковою літературою, електронно-обчислювальною технікою та іншим обладнанням, використовуючи сучасні інформаційні засоби та технології.

Вибір теми курсової роботи (проекту) здобувач освіти здійснює на початку вивчення дисципліни протягом перших трьох тижнів семестру. Аспіранту надається право вільного вибору теми роботи із запропонованого переліку. також він може запропонувати власну тему курсової роботи за умови письмового погодження із науковим керівником, обґрунтувавши своє рішення належним чином і враховуючи, що запропонована тема повинна бути актуальною і відповідати професійному спрямуванню дисципліни.

Курсова робота є окремою заліковою одиницею навчальної дисципліни і оцінюється як самостійний вид навчальної діяльності аспіранта. Виконання курсової роботи передбачає розробку розрахунково-пояснювальної записки, графічного, ілюстративного матеріалу, та є творчим рішенням конкретної задачі щодо застосування чисельних методів алгебри у розв'язанні задач динаміки квантових систем, виконаним аспірантом самостійно згідно із завданням під керівництвом викладача, на основі набутих з даної та суміжних дисциплін знань та умінь.

Процес написання курсової роботи включає послідовність певних етапів, які проходить здобувач вищої освіти самостійно і під керівництвом викладача: складання календарного плану; підбір, вивчення та аналіз літератури з досліджуваної теми; написання тексту теоретичної частини курсової роботи; аналіз експериментального матеріалу та узагальнення практичних досліджень; аналіз отриманих результатів, їх інтерпретація та формулювання висновків;

оформлення тексту курсової роботи і підготовка до захисту, у тому числі отримання рецензії на курсову роботу.

Термін подання завершеної курсової роботи – не пізніше ніж за два тижні до захисту. Захист курсових робіт (проектів) відбувається до початку екзаменаційної сесії.

3.3.1. Перелік тем курсових (дослідницьких) робіт

1. Моделювання еволюційної динаміки систем та приладів електроніки у хаотичних режимах ([5], стр.45-51)
2. Чисельне моделювання хаотичної динаміки нелінійних квантово-інформаційних систем ([1], стр.69-83)
3. Розробка теоретичних основ нових методів в задачах прикладної математики ([3] стр.21-35)
4. Розробка нових методів та алгоритмів квантової механіки, геометрії та електродинаміки ([4] стр.41-47)
5. Функція Гріна стохастичних рівнянь з комплексною енергією та несингулярним потенціалом ([3], стр.33-39)
6. Нові релятивістські методи обчислення енергетичних та спектральних характеристик ридбергівських, автоіонізаційних резонансів в спектрах складних скінченних квантових систем ([5], стр.58-65)
7. Нові релятивістські методи обчислення енергетичних та спектральних характеристик багатофотонних резонансів в спектрах складних скінченних квантових систем ([2], стр.46-49)
8. Хаотична динаміка важких квантових систем в електромагнітному полі ([3], стр.22-37)
9. Хаотичні особливості динаміки атомних систем в постійному електричному, магнітному та електромагнітному полях ([5], стр.70-81)
10. Хаос в динаміці молекулярних систем в електромагнітному полі ([4], стр.40-68)
11. Аналіз генерації хаосу в напівпровідникових GaAs / GaAlAs лазерних системах із запізнілим зворотнім зв'язком ([2], стр.41-45)
12. Аналіз генерації хаосу в ербієвому 1-кільцевому волоконному лазері ([5], стр.53-58)
13. Нелінійна динаміка релятивістських ламп зворотної хвилі в самомодуляційному та хаотичного режимах ([1], стр.35-62)
14. Математичний аналіз, моделювання та прогнозування динаміки нелінійних хаотичних процесів в складних екологічних системах ([5], стр.46-49)
15. Математичне моделювання нелінійних хаотичних процесів в макроекономічних системах ([1], стр.22-37)

Захист курсової роботи проводиться перед комісією, яка складається з двох викладачів кафедри, та за участю керівника курсової роботи. Перед допуском до захисту аспіранта текст електронної версії курсової роботи обов'язково перевіряється на оригінальність за допомогою доступного веб-сервісу перевірки із встановленням частки (відсоткового показника) оригінального тексту.

Для курсової роботи рекомендуються наступні показники оригінальності:

- понад 85 % – текст вважається оригінальним;
- від 75 до 85 % – оригінальність задовільна;
- від 60 до 75 % – матеріал може бути прийнятий до розгляду після доопрацювання та перевірки наявності посилань для цитованих фрагментів;
- менше 60 % – матеріал до розгляду не приймається.

Оцінка за виконання та захист курсової (дослідницької) роботи визначається відповідно до методики, викладеної у пункті 4.

4. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ КОНТРОЛЬНИХ ЗАХОДІВ ТА ОЦІНЮВАННЯ ЗДОБУВАЧІВ ОСВІТИ

4.1. Політика навчальної дисципліни

Загальна політика	<ul style="list-style-type: none"> • здобувач освіти зобов'язаний: відвідувати аудиторні заняття згідно розкладу, не спізнюватися; на заняттях дотримуватися етики поведінки, на лекціях бажано виключати телефони; своєчасно виконувати всі види робіт, передбачені програмою навчальної дисципліни; • під час практичних занять здобувач освіти має можливість використовувати власні цифрові носії інформації із доступом в мережу Інтернет, а також здійснювати пошук інформації на гугл-диску викладача з його дозволу; • здобувач освіти має право отримати від викладача вичерпну інформацію щодо оцінювання його роботи, у тому числі оцінки за усну або письмову відповідь під час контрольних заходів; • на останньому занятті з дисципліни викладач повідомляє загальну суму балів, яку здобувач освіти отримав за результатами всіх видів поточного контролю, що обчислюється як накопичувальна сума складових поточного контролю; викладач заздалегідь доводить до відома здобувачів освіти час об'яви результатів підсумкового контролю; • теми, які виносяться на самостійне опрацювання і не входять до тем аудиторних навчальних занять, оцінюються під час підсумкового контролю; • вивчення дисципліни з використанням технологій дистанційного навчання передбачено у випадку форс мажорних обставин, а також у разі інклюзивного навчання здобувачів освіти з вадами опорно рухового апарату; • підсумковий семестровий контроль здобувачів освіти може здійснюватися з використанням технологій дистанційного навчання – системи е-навчання університету; • з метою контролю виконання завдань заліку в дистанційній формі викладач має право протягом усього заходу користуватись засобами інформаційно-комунікаційного зв'язку, які дозволяють ідентифікувати здобувача освіти (Zoom, Google Meet, Skype, Viber тощо).
Правила стосовно зарахування пропущених занять	<ul style="list-style-type: none"> • допускається вільне відвідування аспірантами лекційних занять, відвідування практичних занять є обов'язковим; • ліквідація заборгованості з практичної частини навчальної дисципліни здійснюється за графіком, який оприлюднюється протягом двох робочих днів після закінчення занять у семестрі; • ліквідація заборгованості протягом заліково-екзаменаційної сесії дає можливість отримати допуск до семестрового контролю.
Правила щодо порушення термінів	<ul style="list-style-type: none"> • роботи, які здаються із порушенням термінів без поважних причин, оцінюються на нижчу оцінку; • якщо обов'язкові заходи, які підлягають контролю, виконуються здобувачем освіти після строків, визначених у програмі навчальної дисципліни, кількість балів, що може отримати студент, не може перевищувати 60% від максимально можливої для цієї форми контролю.
Політика щодо призначення заохочувальних та штрафних балів	<ul style="list-style-type: none"> • здобувачам освіти можуть нараховуватися: • <i>заохочувальні (додаткові) бали:</i> «+0,5 бали» - за доповнення до виступу, суттєві запитання до доповідачів, вміння аргументовано висловлювати свої думки, творче опрацювали всіх питань лекції та зразкове ведення опорного конспекту; «+1 бал» - за підготовку творчої роботи (завдання, презентації); • <i>штрафні бали:</i> «-1 бал» - за пропуск практичного заняття. «-0,5 бали» - за невчасну здачу

	звіту практичної роботи (етапу курсової роботи); <ul style="list-style-type: none"> • мінімальна оцінка виконання змістового модуля після зниження не може бути нижча 60% від максимально можливої.
Політика щодо академічної доброчесності	<ul style="list-style-type: none"> • оцінювання усних відповідей, практичних робіт, самостійної роботи, результатів виконання тестових завдань та ін. здійснюється з позицій дотримання академічної доброчесності; • усі письмові роботи перевіряються на наявність плагіату і допускаються до захисту із коректними текстовими запозиченнями не більше 25%; • під час семестрового контролю здобувачу освіти дозволяється користуватись довідниками та іншими джерелами інформації, перелік яких встановлюється викладачем; використання носіїв інформації, що не передбачені встановленим переліком, а також спілкування з іншими особами, у тому числі й за допомогою технічних засобів зв'язку, є підставою для виставлення здобувачу освіти у відомості оцінки «не зараховано» (FX, F); • списування під час проведення контрольних заходів, у тому числі за допомогою мобільних пристроїв, заборонено.

4.2. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання

4.2.1. Види контролю

Контрольні заходи з навчальної дисципліни «Фрактальна геометрія і теорія хаосу для квантових систем» включають поточний та підсумковий контроль.

1. Поточний контроль здійснюється протягом семестру і включає:

- Усне опитування під час практичних занять на початку заняття з метою з'ясування рівня готовності здобувачів освіти до виконання завдань практичної роботи;
- Спостереження за роботою протягом заняття з подальшою оцінкою активності здобувачів освіти у процесі заняття, внесених ними пропозицій, оригінальних рішень, уточнень і визначень, доповнень відповідей попередніх доповідачів і т.п.;
- Письмове опитування після виконання завдань практичної роботи шляхом розв'язання проблемних питань письмово, розроблених у декількох варіантах (відповіді на проблемні питання можна включити в звіт про виконання роботи замість висновків);
- Перевірка індивідуальних звітів з виконаної роботи;
- Модульну контрольну роботу, яка включає 10 тестових запитань відкритого типу. Правильна відповідь на кожне з запропонованих запитань оцінюється у 2 бала. Таким чином, максимальна оцінка за модульну контрольну роботу складає 20 балів.
- Поточний контроль виконання етапів курсової роботи.

2. Підсумковий контроль проводиться у формі семестрового заліку.

Умови допуску до підсумкового семестрового контролю:

- здобувач освіти вважається допущеним до семестрового контролю з навчальної дисципліни (семестрового заліку), якщо він виконав всі види робіт, передбачених програмою навчальної дисципліни, і набрав необхідну суму балів по заходах поточного контролю згідно з Положенням про проведення підсумкового контролю знань студентів: на останній день семестру інтегральна сума балів поточного контролю є достатньою (не менше 20 балів з теоретичної та не менше 30 балів з практичної частини у тому числі успішний захист курсової роботи) для отримання позитивної оцінки; інтегральна кількісна оцінка поточної роботи здобувача освіти обов'язково містить оцінку залікової контрольної роботи; сума балів на заліковій контрольній роботі не менше 50% від максимально можливої.

Інтегральна оцінка (%) поточної роботи здобувача освіти по дисципліні (шкала університету) розраховується за виразом:

$$B = 0,75 \times O3 + 0,25 \times OKP,$$

де O3 – оцінка роботи студента за змістовними модулями, бали;

OKP – оцінка залікової контрольної роботи, бали.

4.3. Оцінювання результатів навчання (кількість балів, які можуть отримати здобувачі вищої освіти)

4.3.1. ЗМ-Л1, ЗМ-Л2

Оцінювання лекційних змістових блоків здійснюється на підставі результатів модульних контрольних робіт, які проводяться в кінці освоєння змістових блоків ЗМ-Л1, ЗМ-Л2.

Кількість балів	Змістові блоки		Сума балів
	ЗМ-Л1	ЗМ-Л2	
Max	20	20	40 балів
Min	0	0	0 балів

4.3.2. ЗМ-П1, ЗМ-П2

Оцінювання практичних змістових блоків здійснюється на підставі результатів модульних контрольних робіт, які проводяться в кінці освоєння змістових блоків ЗМ-П1, ЗМ-П2, ЗМ-Кур.

Кількість балів	Змістові блоки		Сума балів
	ЗМ-П1	ЗМ-П2	
Max	20	20	40 балів
Min	0	0	0 балів

Оцінюванню під час поточного контролю підлягають всі практичні заняття, передбачені програмою навчальної дисципліни. Критерії оцінки практичних робіт: повнота і своєчасність виконання завдання, акуратність розрахунків.

Виконання практичної роботи оцінюється викладачем з урахуванням активності здобувача освіти на практичному занятті (під час обговорення загальної проблеми, розв'язування завдань) та за результатами перевірки виконання завдань на самостійну роботу.

Матеріал для самостійної роботи, який передбачений в темі практичного заняття, оцінюється одночасно із аудиторною роботою під час поточного контролю теми на відповідному практичному занятті.

4.3.3. ЗМ-Кур

Кількість балів	Оцінка виконання етапів курсової роботи протягом семестру*	Оцінка захисту курсового проекту**	Сума балів
Max	12	8	20 балів
Min	0	0	0 балів

Примітки: * - оцінюється розкриття змісту та оформлення курсової роботи; ** - оцінюється вміння чітко, зрозуміло та стисло викладати основні результати проведеного дослідження; повнота, глибина, обґрунтованість відповідей на питання членів комісії за змістом роботи; ґрунтовність висновків та рекомендацій щодо практичного використання результатів дослідження.

Підсумкова оцінка виконання змістового модулю з курсової роботи складається з двох частин, на кожену з яких надається відповідна частка балів змістового модулю: оцінка виконання етапів курсової роботи протягом семестру - 60% балів (перша частина); оцінка захисту курсового проекту - щонайбільше 40% балів (друга частина). Критерії оцінки курсової роботи: креативність та оригінальність рішення, відмінність від наявних робіт, акуратність розрахунків, демонстрація презентабельності та комунікативності на захисті.

Курсова робота оцінюється у балах і відсотках і зараховується до загальної оцінки з дисципліни.

4.3.4. Оцінка роботи здобувача освіти за всіма змістовими модулями (ОЗ)

Максимально можлива загальна кількість балів за шкалою університету, яку може отримати здобувач освіти за виконання обов'язкових форм контролю самостійної роботи, має становити 100%.

При визначенні оцінки роботи здобувача освіти беруться до уваги: рівень теоретичної підготовки, вміння творчо застосовувати одержані знання для вирішення практичних завдань;

вміння здійснювати необхідні розрахунки та аналізувати інформацію; якість відповіді (обґрунтованість, чіткість, стислість), здатність впевнено та правильно відповідати на теоретичні питання і пояснювати практичні дії, спроможність логічно будувати свій виступ (відповідь), аргументовано відстоювати особисту точку зору; уміння використовувати для обґрунтування своїх рішень останні досягнення науки і техніки; оволодіння методичними навичками.

Рекомендується визначити оцінку за результати виконаних робіт, що формують базові знання, вміння та навички, як 75% від максимально можливої.

Змістові блоки	Максимальна кількість балів
ЗМ-Л1	20 балів
ЗМ-Л2	20 балів
ЗМ-П1	20 балів
ЗМ-П2	20 балів
ЗМ-КуР	20 балів
Всього:	100 балів

4.3.5. Оцінка залікової контрольної роботи (ОКР)

Кількість балів за правильне виконання одного тестового завдання		Кількість тестових завдань	Сума балів	
Max	5		20	Max
Min*	0	Сума балів, за якої залікова контрольна робота вважається виконаною**		≥50
		Min		0

Примітки:

* - нерозбірливо написана, невірна відповідь, її відсутність – 0 балів;

** - сума балів, за якої залікова контрольна робота вважається виконаною, повинна складати не менше 50% від максимально можливої суми балів на заліковій контрольній роботі.

Залікова контрольна робота проводиться у письмовій формі за тестами оцінки знань базової компоненти навчальної дисципліни, які розроблені кафедрою для проведення ректорського контролю залишкових знань здобувачів освіти або підсумкового контролю комісією. Залікова контрольна робота включає 20 тестових запитань відкритого типу. Правильна відповідь на кожне з запропонованих запитань оцінюється у 5 балів. Таким чином, максимальна оцінка за модульну контрольну роботу складає 100 балів.

Методика розробки тестових завдань викладена в додатку «Форми та принципи конструювання тестових завдань» Інструкції про Порядок проведення та критерії оцінювання відповідей студентів під час письмових іспитів.

4.4. Критерії оцінювання засвоєння навчальної дисципліни

Оцінка		
Шкала університету (%) $V = 0,75 \times OЗ + 0,25 \times ОКР$	За шкалою ЄКТС	За 2- бальною шкалою
90-100	A	«зараховано»
82-89,9	B	
74-81,9	C	
64-73,9	D	
60-63,9	E	
35-59,9	FX	«не зараховано»
01-34,9	F	

Оцінювання семестрового заліку здійснюється у кількісній та якісній шкалах. Кількісна оцінка (бал успішності) – це відсоток, який становить інтегральна сума балів, отриманих здобувачем освіти на поточних контрольних заходах, відносно максимально можливої суми – 100 балів. Якісна оцінка – це оцінка, яка виставляється на підставі кількісної оцінки (балу успішності) за будь-якою якісною шкалою.

Результати складання заліку оцінюються за шкалою університету (%), за шкалою ЄКТС (A, B, C, D, E, F, FX), а також за двобальною шкалою («зараховано, «не зараховано»).

Процедура проведення семестрового заліку, не передбачає присутність здобувача освіти.

Проведення семестрового заліку полягає в оцінюванні засвоєння здобувачем освіти навчального матеріалу (вмінь та навичок) на підставі інтегральної кількісної оцінки результатів виконання ним видів поточних контрольних заходів та залікової контрольної роботи

Критеріями складання здобувачами освіти заліку є:

- оцінка «зараховано» за 2-бальною шкалою;
- оцінки A, B, C, D, E за шкалою ЄКТС;
- інтегральна оцінка (%) поточної роботи здобувача освіти по дисципліні (шкала університету) $V \geq 60\%$.

Максимальна інтегральна оцінка роботи здобувача освіти протягом семестру має дорівнювати 100%, якщо він на обов'язкових та необов'язкових заходах контролю по усіх змістових модулях отримав сумарно оцінку 100% від максимально можливої і більше.

4.5. ПИТАННЯ ДО ЗАХОДІВ ПОТОЧНОГО, ПІДСУМКОВОГО ТА СЕМЕСТРОВОГО КОНТРОЛЮ

4.5.1. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л1.

1. Якісна теорія диференціальних рівнянь. ([1], стр.98-100)
2. Динаміка диференціальних рівнянь. ([2], стр.67-77)
3. Динаміка у фазовій площині. ([4], стр.22-37)
4. Фазовий портрет маятника та консервативних систем. ([1], стр.87-93)
5. Матриця стійкості. ([4], стр.58-63)
6. Лімітні цикли. ([3], стр.21-33)
7. Елементи сучасної теорії нелінійних коливань. ([5], стр.37-45)
8. Елементи сучасної теорії динамічних систем. ([1], стр.57-67)
9. Класифікація та приклади динамічних систем. ([2], стр.33-49)
10. Елементи теорії катастроф. ([1], стр.127-131)
11. Динамічні системи та біфуркації. ([2], стр.103-109)
12. Питання структурної стійкості. ([2], стр.119-125)
13. Теорія локальних і гомоклінічних біфуркацій. ([1], стр.137-148)
14. Теореми про центральне різноманіття. ([2], стр.127-135)
15. Біфуркації одновимірних потоків, Андронова-Хопфа, лімітних циклів, 1-Д, 2-Д, 3-Д параметричних одноірних відображень. ([2], стр.78-97)
16. Нестійкі та стійкі різноманіття. ([3], стр.21-36)
17. Біфуркації та синхронізації в системах типа Ван-дер-Поля. Введення в теорію фракталів. ([1], стр.117-125)
18. Мультифрактали на фракталах. ([5], стр.150-167)
19. Дивні атрактори як мультифрактали. ([1], стр.68-71)
20. Фрактали та комплексна аналітична динаміка. ([1], стр.78-81)

4.5.2. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-Л2.

1. Інтегрування лінійних та нелінійних рівнянь другого порядку. ([1], стр.71-75)
2. Аналіз стійкості. ([1], стр.81-87)
3. Визначення фрактальної розмірності на основі узагальнених ентропій. ([2], стр.49-52)
4. Визначення кореляційної розмірності по часовим рядам. ([2], стр.53-55)
5. Природні приклади фракталів (мультифракталів). ([1], стр.22-32)
6. Канторові множини. ([1], стр.34-37)
7. Самоподібність та арифметичні властивості. ([2], стр.23-30)
8. Логістична парабола та подвоєння періодів. ([2], стр.31-41)
9. Самоподібна логістична динаміка. ([1], стр.43-48)
10. Феномен скейлінгу. ([1], стр.49-55)
11. Касательні біфуркації, перемижаємість та $1/f$ шум. ([3], стр.22-37)
12. Множини Мандельброта. ([1], стр.101-108)
13. Множина Жюлі комплексного квадратичного відображення. ([3], стр.41-55)
14. Визначення фракталу (мільтіфракталу). ([3], стр.47-75)
15. Фрактальна розмірність. ([2], стр.49-52)
16. Масова розмірність. ([2], стр.53-55)
17. Кореляційна розмірність. ([1], стр.88-93)
18. Співвідношення між мультифрактальним спектром і показниками маси. ([2], стр.45-48)
19. Інваріантні тори. ([3], стр.22-37)
20. Класифікація нерухомих точок. ([1], стр.55-65)

4.5.3. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-П1.

1. Формула сліду Гутцвиллера. ([3], стр.21-33)
2. Гаусови ансамблі. ([1], стр.37-45)
3. Метод суперсиметрії. ([1], стр.57-67)
4. Хаос та його властивості. ([2], стр.33-49)
5. Геометрія дивних атракторів. ([1], стр.68-71)
6. Подвоєння періодів та теорія Файгенбаума. ([1], стр.78-81)
7. Переміжаємість. ([2], стр.67-77)
8. Квазіперіодичні явища. ([4], стр.22-37)
9. Критерії локального хаосу. ([1], стр.87-93)
10. Критерії виникнення глобального хаосу. ([4], стр.58-63)
11. Метод перекриття резонансів. ([1], стр.98-105)
12. Метод Гріна. ([2], стр.78-97)
13. Тест Готтвода і Мелбена. ([3], стр.21-36)
14. Геометрія фазового простору. ([1], стр.117-125)
15. Теорема Колмогорова-Арнольда-Мозера. ([1], стр.127-131)
16. Метод кореляційного інтегралу. ([2], стр.103-109)
17. Метод показників Ляпунова. Хаотична динаміка дисипативних систем. ([2], стр.119-125)
18. Теорія Ландау-Хопфа. ([1], стр.137-148)
19. Теорія біфуркацій Хопфа. ([2], стр.127-135)
20. Теорія Рюеля-Текенса. ([1], стр.150-167)

4.5.4. Тестові завдання до модульної контрольної роботи модуля ЗМ-П2.

1. Інтегруємі системи. ([1], стр.22-32)
2. Гамільтоніан з періодичною залежністю від часу. ([1], стр.34-37)
3. Динамічна локалізація. ([2], стр.23-30)
4. Наближення сильного зв'язку. ([2], стр.31-41)
5. Спектральні кореляції. ([1], стр.43-48)
6. Спектральний аналіз, статистика енергетичного спектру, розподіл Вігнера, спектр потужності i , «спектральна жорсткість». ([1], стр.49-55)
7. Спектр потужності та принцип відповідності. ([2], стр.45-48)
8. Розподіл відстань між рівнями. ([3], стр.22-37)
9. Критерії Чирикова. ([1], стр.55-65)
10. Приклади тестування хаосу в часових рядах та нелінійних моделей прогнозування. ([3], стр.41-55)
11. Хаос та інтегруємість у квазікласичній механіці. ([1], стр.71-75)
12. Визначення кількості найближчих сусідніх точок NN для найкращих результатів прогнозу. ([1], стр.81-87)
13. Методи нелінійного прогнозу еволюційної динаміки хаотичних систем. ([2], стр.49-52)
14. Визначення та обчислення глобальних розмірностей Ляпунова λ_α , розмірності Каплана-Йорка d_L , ентропії Колмогорова, середньої межі передбачуваності P_{max} . ([2], стр.53-55)
15. Хаос-геометричний підхід до аналізу, моделювання та прогнозування нелінійної динаміки хаотичних систем. ([1], стр.88-93)
16. Обчислення часової затримки τ за допомогою автокореляційної функції чи взаємної інформації. ([1], стр.95-99)
17. Визначення розмірності вкладення d_E за методом кореляційної розмірності чи алгоритму хибних найближчих сусідніх точок. ([2], стр.56-59)
18. Розрахунок мультифрактальних спектрів. ([3], стр.22-37)
19. Показники Ляпунова та спектр потужності. ([1], стр.101-108)
20. Визначення хаосу. ([3], стр.41-55)

4.5.5. Тестові завдання до залікової роботи

1. Якісна теорія диференціальних рівнянь. ([1], стр.78-81)
2. Динаміка диференціальних рівнянь. ([2], стр.67-77)
3. Динаміка у фазовій площині. ([4], стр.22-37)
4. Фазовий портрет маятника та консервативних систем. ([1], стр.87-93)
5. Матриця стійкості. ([4], стр.58-63)
6. Лімітні цикли. ([3], стр.21-33)
7. Елементи сучасної теорії нелінійних коливань. ([5], стр.37-45)
8. Елементи сучасної теорії динамічних систем. ([1], стр.57-67)
9. Класифікація та приклади динамічних систем. ([2], стр.33-49)
10. Елементи теорії катастроф. ([1], стр.127-131)
11. Динамічні системи та біфуркації. ([2], стр.103-109)
12. Питання структурної стійкості. ([2], стр.119-125)
13. Теорія локальних і гомоклінічних біфуркацій. ([1], стр.137-148)
14. Теореми про центральне різноманіття. ([2], стр.127-135)
15. Біфуркації одновимірних потоків, Андронова-Хопфа, лімітних циклів, 1-Д, 2-Д, 3-Д параметричних одномірних відображень. ([2], стр.78-97)
16. Нестійкі та стійкі різноманіття. ([3], стр.21-36)
17. Біфуркації та синхронізації в системах типа Ван-дер-Поля..Введення в теорію фракталів. ([1], стр.117-125)
18. Мультифрактали на фракталах. ([5], стр.150-167)
19. Дивні атрактори як мультифрактали. ([1], стр.68-71)
20. Фрактали та комплексна аналітична динаміка. ([1], стр.78-81)
21. Формула сліду Гутцвиллера. ([1], стр.71-75)
22. Гаусови ансамблі. ([1], стр.81-87)
23. Метод суперсиметрії. ([2],стр.49-52)
24. Хаос та його властивості. ([2], стр.53-55)
25. Геометрія дивних атракторів. ([1], стр.22-32)
26. Подвоєння періодів та теорія Файгенбаума. ([1], стр.34-37)
27. Перемижаємість. ([2],стр.23-30)
28. Квазіперіодичні явища. ([2], стр.31-41)
29. Критерії локального хаосу. ([1], стр.43-48)
30. Критерії виникнення глобального хаосу. ([1], стр.49-55)
31. Метод перекриття резонансів. ([3], стр.22-37)
32. Метод Гріна. ([1], стр.101-108)
33. Тест Готтвода і Мелбена. ([3], стр.41-55)
34. Геометрія фазового простору. ([3], стр.47-75)
35. Теорема Колмогорова-Арнольда- Мозера. ([2],стр.49-52)
36. Метод кореляційного інтегралу. ([2], стр.53-55)
37. Метод показників Ляпунова.Хаотична динаміка дисипативних систем. ([1], стр.88-93)
38. Теорія Ландау-Хопфа. ([2], стр.45-48)
39. Теорія біфуркацій Хопфа. ([3], стр.22-37)
40. Теорія Рюеля-Текенса. ([1], стр.55-65)

5. СПИСОК ДЖЕРЕЛ ДЛЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

Основна література

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы.- Ижевск : ИКИ, 2010
2. Табор Х. Хаос и интегрируемость в нелинейной динамике. М: Мир, 2009.306С.
3. Kruglyak Yu.A., Glushkov A.V., Prepelitsa G.P., Buyadzhi V.V., Computational Methods in Quantum Geometry and Chaos theory, P. 4. Lecture's Notes Odessa: TEC, 2015.180P
4. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Chernyakova Yu.G., Fractal Geometry and a Chaos Theory, part 2: New methods and algorithms of Nonlinear Analysis, Lecture's Notes. Odessa: OSENU.
5. Glushkov A.V., Relativistic Quantum Theory. Quantum, mechanics of Atomic Systems. Odessa: Astroprint, 2008

Додаткова література

1. Wiggins S. Introduction to applied nonlinear dynamical systems and chaos.- New York: Springer-Verlag, 1997.-688
2. Perelomov A.M.Generalized coherent states and their applicationsю- Berlin: Springer, 1986.-320P
3. Ignatenko A.V., Buyadzhi A.A., Buyadzhi V.V., Kuznetsova A.A., Mashkantsev A.A., Ternovsky E.V., Nonlinear Chaotic Dynamics of Quantum Systems: Molecules in an Electromagnetic Field. // Advances in Quantum Chemistry (Elsevier).-2018.-Vol.78.-Ch.12. <https://doi.org/10.1016/bs.aiq.2018.06.006>
4. Glushkov A.V., Khetselius O.Y., Brusentseva S.V., Zaichko P.A., Ternovsky V.B., Studying interaction dynamics of chaotic systems within a non-linear prediction method: application to neurophysiology// Advances in Neural Networks, Fuzzy Systems and Artificial Intelligence, Series: Recent Advances in Computer Engineering, Ed. J.Balicki.(Gdansk, WSEAS Pub.).-2014.-Vol.21.-P.69-75.
5. Glushkov A.V., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V., Zaichko P.A., Ternovsky V.B., Chaos-geometric attractor and quantum neural networks approach to simulation chaotic evolutionary dynamics during perception process// Advances in Neural Networks, Fuzzy Systems and Artificial Intelligence, Series: Recent Advances in Computer Engineering, Ed. J.Balicki.(Gdansk, WSEAS Pub.).-2014.-Vol.21.-P.143-150.
6. Glushkov, A.V. Relativistic and correlation effects in spectra of atomic systems; Odessa: Astroprint: 2006.
7. Glushkov A.V. Atom in electromagnetic field. KNT: Kiev, 2005.
8. Glushkov A.V., Ivanov L.N., Radiation decay of atomic states: atomic residue polarization and gauge noninvariant contributions. Phys.Lett.A. 1992. Vol.170, N1. P.33-36; [https://doi.org/10.1016/0375-9601\(92\)90387-2](https://doi.org/10.1016/0375-9601(92)90387-2)
9. Ivanova E.P., Ivanov L.N., Glushkov A.V., Kramida A.E., High Order Corrections in the Relativistic Perturbation Theory with the Model Zeroth Approximation, Mg-Like and Ne-Like Ions. Phys.Scripta. 1985.-Vol.32,N5.-P.513-522; <https://doi.org/10.1088/0031-8949/32/5/011>
10. [E.P.Ivanova](#), [A.V.Glushkov](#), Theoretical investigation of spectra of multicharged ions of F-like and Ne-like isoelectronic sequences// [Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer](#).-1986.-Vol.36(2).-P. 127-145; [https://doi.org/10.1016/0022-4073\(86\)90116-0](https://doi.org/10.1016/0022-4073(86)90116-0)
11. Glushkov A.V., Ivanov L.N., DC strong-field Stark effect: consistent quantum-mechanical approach. Journal of Physics B: Atomic, Mol. and Opt. Phys. 1993. Vol.26, N14. P.L379–386; <https://doi.org/10.1088/0953-4075/26/14/001>
12. Khetselius, O.Yu. Relativistic perturbation theory calculation of the hyperfine structure parameters for some heavy-element isotopes. Int. J. Quant. Chem. 2009, 109, 3330–3335.
13. Khetselius, O. Relativistic calculation of the hyperfine structure parameters for heavy elements and laser detection of the heavy isotopes. Phys. Scripta 2009, 135, 014023.

14. Khetselius O.Yu., [Quantum Geometry: New approach to quantization of the quasistationary states of Dirac equation for super heavy ion and calculating hyper fine structure parameters](#). Proc. Intern. Geometry Center. 2012. Vol.5(3-4). P.39-45.
15. Glushkov, A.V., Khetselius, O.Yu., Svinarenko, A.A., Buyadzhi, V.V., Spectroscopy of autoionization states of heavy atoms and multiply charged ions. TEC: Odessa, 2015.
16. Glushkov A.V., Khetselius O.Yu., Svinarenko A.A., Buyadzhi V.V., Methods of computational mathematics and mathematical physics. P.1. TES: Odessa, 2015.
17. Khetselius, O.Yu., Glushkov, A.V., Dubrovskaya, Yu.V., Chernyakova, Yu.G., Ignatenko, A.V., Serga, I.N., Vitavetskaya, L.A. Relativistic quantum chemistry and spectroscopy of exotic atomic systems with accounting for strong interaction effects. In: Wang YA, Thachuk M, Krems R, Maruani J (eds) Concepts, Methods and Applications of Quantum Systems in Chemistry and Physics. Springer, Cham, 2018; Vol. 31, pp. 71-91;
18. Dubrovskaya, Y.V., Khetselius, O.Y., Vitavetskaya, L.A., Ternovsky, V.B., Serga, I.N., Quantum chemistry and spectroscopy of pionic atomic systems with accounting for relativistic, radiative, and strong interaction effects. Advances in Quantum Chem. 2019, Vol.78, pp 193-222.
19. Glushkov, A., Gurskaya, M., Ignatenko, A., Smirnov, A., Serga, I., Svinarenko, A., Ternovsky, E. Computational code in atomic and nuclear quantum optics: Advanced computing multiphoton resonance parameters for atoms in a strong laser field. J. Phys.: Conf. Ser. 2017, 905(1), 012004.
20. Khetselius OYu, Optimized relativistic many-body perturbation theory calculation of wavelengths and oscillator strengths for Li-like multicharged ions, Adv Quant Chem. 2019. vol 78. Elsevier, pp 223-251; <https://doi.org/10.1016/bs.aiq.2018.06.001>
21. Glushkov AV (2019) Multiphoton spectroscopy of atoms and nuclei in a laser field: Relativistic energy approach and radiation atomic lines moments method. Adv Quant Chem. vol 78. Elsevier, pp 253-285. <https://doi.org/10.1016/bs.aiq.2018.06.004>
22. Glushkov, A. QED energy approach to atoms and nuclei in a strong laser field: Radiation lines. AIP Conf. Proceedings. 1290(1) (2010) 258-262. <http://doi.org/10.1063/1.3517569>
23. Glushkov, A., Gurskaya, M., Ignatenko, A., Smirnov, A., Serga, I., Svinarenko, A., Ternovsky, E. Computational code in atomic and nuclear quantum optics: Advanced computing multiphoton resonance parameters for atoms in a strong laser field. J. Phys.: Conf. Ser. 905 (2017) 012004.
24. Svinarenko, A. A., Glushkov, A. V., Khetselius, O.Yu., Ternovsky, V.B., Dubrovskaya, Yu., Kuznetsova, A.A., Buyadzhi, V.V., Theoretical spectroscopy of rare-earth elements: spectra and autoionization resonances. Rare Earth Element, Ed. J. Orjuela (InTech) 2017, pp 83-104. 52
25. Glushkov, A.V., Khetselius, O.Yu., Svinarenko A.A., Buyadzhi, V.V., Ternovsky, V.B., Kuznetsova, A., Bashkarev, P.G. Relativistic perturbation theory formalism to computing spectra and radiation characteristics: application to heavy element. Recent Studies in Perturbation Theory, ed. D. Uzunov (InTech) 2017, 131-150