

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Кафедра космічної радіофізики

«ЗАТВЕРДЖУЮ»



Проректор
з науково-педагогічної роботи
Антон ПАНТЕЛЕЙМОНОВ

_____ 2021 р.

Робоча програма навчальної дисципліни

Фрактальна радіофізика та геофізика

(назва навчальної дисципліни)

рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____

галузь знань _____ 10 Природничі науки _____

(шифр і назва)

спеціальність _____ 105 Прикладна фізика та наноматеріали _____

(шифр і назва)

освітня програма _____ Радіофізика і електроніка _____

(шифр і назва)

спеціалізація _____ _____

(шифр і назва)

вид дисципліни _____ за вибором _____

(обов'язкова / за вибором)

факультет _____ радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем _____

(назва факультету)

2021 / 2022 навчальний рік

Програму рекомендовано до затвердження вченою радою факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

“25” червня 2021 року, протокол № 8

РОЗРОБНИК ПРОГРАМИ:

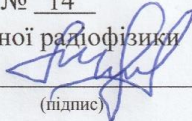
Лазоренко О. В., д. фіз. - мат. наук, доцент, завідувач кафедри загальної фізики, професор кафедри космічної радіофізики.

(автор, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Програму схвалено на засіданні кафедри космічної радіофізики

Протокол від “03” червня 2021 року № 14

Завідувач кафедри космічної радіофізики



(підпис)

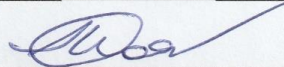
Леонід ЧОРНОГОР

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено з гарантом освітньої (професійної/наукової) програми (керівником проектної групи) "Радіофізика і електроніка"

назва освітньої програми

Гарант освітньої (професійної/наукової) програми
(керівник проектної групи) Маслов В. О.



(підпис)

Вячеслав МАСЛОВ

(прізвище та ініціали)

Програму погоджено методичною комісією

факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем

назва факультету, для здобувачів вищої освіти якого викладається навчальна дисципліна

Протокол від “14” червня 2021 року № 6

Голова методичної комісії факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп'ютерних систем



(підпис)

Олександр БУТРИМ

(прізвище та ініціали)

ВСТУП

Програма навчальної дисципліни «Фрактальна радіофізика та геофізика» складена відповідно до освітньо-професійної програми підготовки другого (магістерського) рівня вищої освіти

(назва рівня вищої освіти, освітньо-кваліфікаційного рівня)

спеціальності 105 Прикладна фізика та наноматеріали

спеціалізації _____

(шифр і назва)

1. Опис навчальної дисципліни

1.1. Мета викладання навчальної дисципліни – засвоєння студентом основних методів теорії фракталів, фрактального аналізу та дробового числення, використання яких поширюється у сучасних радіофізиці та геофізиці, формування фрактального світогляду.

1.2. Основні завдання вивчення дисципліни –

- засвоєння студентом основ теорії фракталів;
- оволодіння студентом основами фрактального аналізу, набуття досвіду аналізу фрактальних властивостей реальних фізичних процесів та об'єктів;
- опанування студентом основних методів застосування дробового числення;
- формування у студента наукового світогляду, зокрема, фрактального світогляду.

1.3. Кількість кредитів: **3**.

1.4. Загальна кількість годин: **90**.

1.5. Характеристика навчальної дисципліни.

Нормативна / за вибором: нормативна	
Денна форма навчання	Заочна (дистанційна) форма навчання
Рік підготовки	
2-й	
Семестр	
3-й	
Лекції	
24 год.	
Практичні, семінарські заняття	
8 год.	
Лабораторні заняття	
Самостійна робота	
58 год.	
Індивідуальні завдання	

1.6. Заплановані результати навчання –

знати: поняття фрактала, монофрактала, мультифрактала, історію створення теорії фракталів, основні властивості та відмінності математичних і фізичних фракталів, визначення та класифікацію фрактальних розмірностей, приклади фракталів у математиці та навколишньому світі, зв'язок між фракталами та нелінійною парадигмою; поняття самоподібності та самоафінності, властивості та приклади регулярних, нерегулярних випадкових і товстих фракталів; властивості та приклади мультифракталів; поняття фрактальних сигналів і процесів, основні методи їх описання та моделювання; основи фрактального аналізу сигналів, процесів і двовимірних структур; основи мультифрактального аналізу фізичних сигналів і процесів;

прикладів, результати та тлумачення результатів фрактального і мультифрактального аналізу реальних фізичних процесів; основи дробового числення, поняття та методи обчислення дробових похідних та інтегралів, основи фрактальної електродинаміки;

вміти: обчислювати фрактальні розмірності модельних фракталів, проводити фрактальний і мультифрактальний аналізи реальних фрактальних сигналів і процесів, використовуючи можливості систем комп'ютерної математики, давати фізичне тлумачення отриманих результатів; проводити фрактальний аналіз реальних двовимірних фізичних об'єктів; застосовувати методи обчислення дробових похідних та інтегралів, розв'язувати найпростіші рівняння, що містять дробові інтегродиференціальні оператори.

Примітка. В умовах запровадження в Україні карантину, пов'язаного з пандемією Covid-19, проведення занять з даного курсу відповідно до наказів по Університету може відбуватися за дистанційною або змішаною формою. У такому разі використовується наступний формат проведення занять.

Лекції відбуваються в on-line режимі з використанням технології Zoom.

Практичні заняття, семінари та лабораторні роботи – в аудиторіях і лабораторіях із дотриманням встановлених карантинних вимог, а у разі відміни аудиторних занять – в on-line режимі з використанням технологій Zoom, Skype та Google Meet.

Консультації надаються аудиторно або в on-line режимі з використанням технологій Zoom, Skype та Google Meet.

Підсумковий залік проводиться аудиторно або в on-line режимі з використанням технологій Zoom, Skype та Google Meet.

Повний комплекс навчально-методичної документації перед початком проведення занять розміщується на сайті факультету.

2. Тематичний план навчальної дисципліни

Розділ 1. Основи теорії фракталів.

Вступ.

Фрактальна концепція в фізиці. Фрактальність фізичних явищ. Мета, завдання та структура курсу. Організація навчального процесу.

Тема 1. Створення теорії фракталів.

Екскурс до історії. Етапи становлення фрактального підходу. Поняття фрактала. Топологічна та хаусдорфова розмірності. Фрактали у математиці. Фрактали у природі. Математичні та фізичні фрактали. Фрактальні процеси та нелінійна парадигма. Фрактальна парадигма.

Тема 2. Монофрактали.

Регулярні фрактали. Довжина берегової лінії. Фрактальна розмірність множини. Канторова множина. Сніжинка Коха. Килим Серпинського. Губка Менгера. Піраміда Серпинського. Криві Пеано. Всесвіт Фурн'є. Ітерації лінійних систем. Нелінійні комплексні відображення.

Нерегулярні випадкові фрактали. Траєкторія руху броунівської частинки. Статистична самоподібність.

Товсті фрактали. Показники скейлінга.

Самоподібність і самоафінність. Скейлінг.

Тема 3. Мультифрактали.

Визначення мультифрактала. Неоднорідні фрактали. Неоднорідна канторова множина. Неоднорідний трикутник Серпинського. Інші приклади мультифракталів.

Розділ 2. Основи фрактального аналізу фізичних процесів та об'єктів.

Тема 4. Фрактальний аналіз сигналів і фізичних процесів.

Фрактальні сигнали (ФС). Вузькосмугові, широкосмугові та надширокосмугові ФС. Моделі ФС. Детерміновані моделі ФС. Безперервні, ніде не диференційовані функції. Фрактальні вейвлети. Фур'є-спектр фрактального сигналу. Моделі стохастичних ФС. Броунівський сигнал. Модель узагальненого броунівського руху. Параметр Херста. Узагальнена функція Вейеритраса. Фізичний сенс параметра Херста. Персистентність та антиперсистентність. Фрактальні шуми. Кольорові шуми. Зв'язок фрактальності із спектральними характеристиками.

Фрактальний аналіз сигналів. Вейвлет-перетворення. Класифікація, властивості, можливості. Класифікація фрактальних розмірностей. Обчислення фрактальних розмірностей ФС.

Аналіз двовимірних структур.

Тема 5. Мультифрактальний аналіз сигналів і фізичних процесів.

Традиційний мультифрактальний формалізм (P-модель). Виявлення особливостей сигналу. Точкова гладкість Ліпшиця. Узагальнена статистична сума. Спектр узагальнених фрактальних розмірностей (розмірностей Реньї). Скейлінгова експонента. Інформаційна розмірність. Кореляційна розмірність. Функція мультифрактального спектру. Показник сингулярності. Перетворення Лежандра. Властивості функції мультифрактального спектру. Приклади функції мультифрактального спектру.

Мультифрактальний формалізм Чабри та Дженсена. інформаційна інтерпретація мультифрактального формалізма. L-модель мультифрактальних уявлень. Мультифрактальна параметризація сигналів. Локальний параметр Херста. Спектр сингулярностей сигналу.

Метод модулів вейвлет-перетворення (WTMM-метод). Хребти та скелетон модуля спектральної функції безперервного вейвлет-перетворення. Часткові функції.

Тема 6. Фрактали, фрактальний і мультифрактальний аналізи у радіофізиці та геофізиці. Фрактальна радіофізика. Фрактальна електродинаміка. Фрактальні сигнали. Фрактальні елементи та фрактальні пристрої. Фрактальні антени. Фрактальні радіотехнічні системи. Фрактальна геофізика. Моделювання фрактальних поверхонь і ландшафтів. Фрактальний аналіз землетрусів, зсувів, розламів земної кори, руйнувань скель, каменепадів, пожеж, повеней і т. і. Фрактальний і мультифрактальний аналізи часових варіацій геомагнітного поля, що виникли протягом потужних геокосмічних бур та землетрусів. Фрактальний і мультифрактальний аналізи гравітаційних хвиль.

Розділ 3. Основи дробового числення та сучасні радіофізика та геофізика.

Тема 7. Дробові інтеграли.

Дробові інтеграли Римана – Ліувіля. Дробові інтеграли Ліувіля. Дробові інтеграли Рисса. Приклади використання.

Тема 8. Дробові похідні.

Дробові похідні Римана-Ліувіля. Дробові похідні Капуто. Дробові похідні Ліувіля. Дробові похідні Рисса. Приклади використання.

Тема 9. Застосування дробового числення у сучасних радіофізиці та геофізиці на прикладі фрактальної електродинаміки.

Електричний заряд для фрактального розподілу. Електричний струм для фрактального розподілу. Теорема Гауса для фрактального розподілу. Теорема Стокса для фрактального розподілу. Збереження заряду для фрактального розподілу. Закони Кулона та Біо – Савара – Лапласа для фрактального розподілу. Закони Гауса й Ампера для фрактального розподілу. Рівняння Максвелла для фрактального розподілу. Фрактальний розподіл як ефективне середовище. Фрактальні електромагнітні поля. Поширення електромагнітних хвиль фрактальними середовищами. Розсіяння електромагнітних хвиль фрактальними поверхнями.

Підсумкова лекція.

Основні підсумки курсу.

3. Структура навчальної дисципліни

Назви розділів і тем	Кількість годин											
	денна форма						заочна форма					
	Разом	у тому числі					Ра- зом	у тому числі				
		л.	пр.	лаб.	інд.	с. р.		л.	сем.	лаб.	інд.	с. р.
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>
Розділ 1. Основи теорії фракталів												
Вступ	1	1										
Тема 1. Створення теорії фракталів	8	2			0	6						
Тема 2. Монофрактали	9	2	1		0	6						
Тема 3. Мультифрактали	9	2	1		0	6						
Разом за розділом 1	27	7	2		0	18						
Розділ 2. Основи фрактального аналізу фізичних процесів та об'єктів												
Тема 4. Фрактальний аналіз сигналів та фізичних процесів	11	4	1		0	6						
Тема 5. Мультифрактальний аналіз сигналів та фізичних процесів	11	4	1		0	6						
Тема 6. Фрактальний та мультифрактальний аналізи реальних фізичних процесів	12	4	0		0	8						
Разом за розділом 2	34	12	2		0	20						
Розділ 3. Основи дробового числення та сучасні радіофізика та геофізика												
Тема 7. Дробові інтеграли	9	1	2		0	6						
Тема 8 Дробові похідні	9	1	2		0	6						
Тема 9. Застосування дробового числення у сучасних радіофізиці та геофізиці на прикладі фрактальної електродинаміки	10	2	0		0	8						
Підсумкова лекція	1	1										
Разом за розділом 3	29	5	4		0	20						
Разом годин	90	24	8		0	58						

4. Теми семінарських (практичних, лабораторних) занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Монофрактали	1
2	Мультифрактали	1
3	Фрактальний аналіз сигналів і фізичних процесів	1
4	Мультифрактальний аналіз сигналів і фізичних процесів	1
5	Дробові інтеграли	2
6	Дробові похідні	2
	Разом	8

5. Завдання для самостійної роботи

№ з/п	Види, зміст самостійної роботи	Кількість годин
1	Опрацювання навчального матеріалу за наступними темами:	
1.1	Тема 1. Створення теорії фракталів	6
1.2	Тема 2. Монофрактали	6
1.3	Тема 3. Мультифрактали	6
1.4	Тема 4. Фрактальний аналіз сигналів та фізичних процесів	6
1.5	Тема 5. Мультифрактальний аналіз сигналів та фізичних процесів	6
1.6	Тема 6. Фрактальний та мультифрактальний аналізи реальних фізичних процесів	8
1.7	Тема 7. Дробові інтеграли	6
1.8	Тема 8. Дробові похідні	6
1.9	Тема 9. Застосування дробового числення у сучасній фізиці на прикладі фрактальної електродинаміки	8
	Разом	58

6. Індивідуальні завдання

Не передбачено навчальним планом.

7. Методи контролю

У навчальному процесі використовуються наступні види контролю: поточний та семестровий підсумковий контроль.

Поточний контроль проводиться на практичних заняттях. До нього належать:

- контроль відповіді на обов'язкову перевірку теоретичних знань на початку кожного практичного заняття,
- відповіді біля дошки, робота на місці з розв'язання задач на практичних заняттях,
- індивідуальне опитування на практичних заняттях,
- перевірка обов'язкового домашнього завдання.

Семестровий підсумковий контроль застосовується у вигляді екзамену наприкінці семестру.

8. Схема нарахування балів

Максимальну кількість балів за кожен з видів діяльності наведено у наступній таблиці.

Поточний контроль, самостійна робота, індивідуальне завдання									Екзамен	Сума	
Розділ 1			Розділ 2			Розділ 3					Разом
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9			
6	6	6	6	6	6	6	6	12	60	40	100

T1, T2 ... T9 – теми розділів.

8.1. Нарахування балів протягом семестру

Протягом семестру студент може отримати максимум **60 балів** (семестрова оцінка S), що нараховуються на практичних заняттях.

На початку кожного практичного заняття проводиться письмова робота тривалістю 15 хвилин, у якій відбувається експрес-перевірка або теоретичних знань (визначення, теореми і т. і.), або практичних навичок розв'язання задач (оцінки $P1_i$, $i = \overline{1,6}$). Після цього здійснюється перевірка обов'язкового домашнього завдання (оцінки $P2_i$, $i = \overline{1,6}$). Таким чином, протягом практичного заняття (крім першого, де немає домашнього завдання, $P2_1 = 0$) студент отримує дві обов'язкові оцінки. Оцінки за відповідь біля дошки ($P3_i$, $i = \overline{1,6}$) є бонусними (тобто необов'язковими). Середня оцінка за практичні заняття обчислюється за формулою:

$$\bar{P} = \frac{1}{11} \sum_{i=1}^6 P1_i + P2_i + P3_i .$$

Задля зручності оцінки $P1_i$, $P2_i$, $P3_i$ виставляються за п'ятибальною шкалою із кроком 0,1. Оцінка відповідає відсоткові правильного виконання поставленого завдання. Завдання вважається **виконаним правильно**, коли студент **самостійно**

дав повну, вірну та вичерпну відповідь, **не користуючись** жодними зовнішніми джерелами інформації або підказками інших осіб, а також може (в разі необхідності) дати прилюдне вірне, повне та вичерпне пояснення щодо змісту цієї відповіді. У разів виявлення **академічної недоброчесності** із боку студента оцінка **повинна бути зменшена до 0**.

Обчислення підсумкової семестрової оцінки S (у балах стобальної системи) відбувається за формулою:

$$S = 8\bar{P}.$$

Примітка.

До підсумкового семестрового контролю допускається студент, який створив повні **рукописні** конспекти лекцій і практичних занять, виконав всі домашні завдання та протягом семестру набрав не менш, ніж **10 балів** за всі види робіт, передбачених навчальною програмою дисципліни.

8.2. Нарахування балів на екзамені. Підсумкова оцінка

На письмовому екзамені (оцінка Z) студент може отримати максимум **40 балів**. Екзаменаційне завдання містить два теоретичні запитання (завдання) та одну задачу.

Оцінка Z відповідає відсотковій правильності виконання поставленого завдання.

Завдання вважається **виконаним вірно**, коли студент **самостійно** дав повну, вірну та вичерпну відповідь на поставлені запитання, **не користуючись** жодними зовнішніми джерелами інформації або підказками інших осіб, а також може (в разі необхідності) дати прилюдне вірне, повне та вичерпне пояснення щодо змісту цієї відповіді.

У разі виявлення факту **академічної недоброчесності** із боку студента під час іспиту його екзаменаційна оцінка Z **повинна бути зменшена до 0**, а сам студент **має бути видалений з аудиторії**, де проводиться іспит (*пункт 7.12.5 «Положення про організацію освітнього процесу в ХНУ імені В. Н. Каразіна»*).

Підсумкова оцінка (P) з курсу «Фрактальна радіофізика та геофізика» є арифметичною сумою семестрової (S) та екзаменаційної (Z) оцінок:

$$P = S + Z.$$

Підсумкова оцінка P , що вимірюється в балах (від 1 до 100 балів), перетворюється на оцінку за національною шкалою згідно наступної таблиці.

Шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності протягом семестру	Оцінка	
	для чотирирівневої шкали оцінювання	для дворівневої шкали оцінювання
90 – 100	відмінно	зараховано
70-89	добре	
50-69	задовільно	
1-49	незадовільно	не зараховано

Примітка. У випадку проведення лекцій в on-line режимі у якості заохочення за своєчасне й якісне виконання рукописних конспектів із курсу до семестрової оцінки кожному студентові може додаватися до 10 бонусних балів.

9. Рекомендована література

Основна література

1. Лазоренко О. В., Черногор Л. Ф. Фрактальная радиофизика. 1. Теоретические основы // Радиофизика и радиоастрономия. – 2020. –Т. 25, № 1. – С. 3 –77.
2. Мун Ф. Хаотические колебания: Вводный курс для научных работников и инженеров. – М.: Мир, 1990. – 312 с.
3. Федер Е. Фракталы. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
4. Кроновер Р. М. Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
5. Божокин С. В., Паршин Д. А. Фракталы и мультифракталы. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 128 с.
6. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечного рая. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 528 с.
7. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. – М.: Институт компьютерных исследований, 2002. – 656 с.
8. Морозов А. Д. Введение в теорию фракталов.– Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 160 с.
9. Короленко В. П., Маганова М. С., Меснянкин А. В. Новационные методы анализа стохастических процессов и структур в оптике. Фрактальные и мультифрактальные методы, вейвлет-преобразования. Учебное пособие. – М.: МГУ, 2004. – 82 с.

10. *Мандельброт Б.* Фракталы и хаос. Множество Мандельброта и другие чудеса. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2009. – 392 с.
11. *Малла С.* Вэйвлеты в обработке сигналов. – М.: Мир, 2005. – 671 с.
12. *Потапов А. А.* Фракталы в радиофизике и радиолокации: Топология выборки. – М.: Университетская книга, 2005. – 848 с.
13. *Горобець Ю. І., Кучко А. М., Вавилова І. Б.* Фрактальна геометрія у природознавстві: Навчальний посібник. – Київ, Наукова думка, 2008. – 232 с.
14. *Павлов А. Н.* Методы анализа сложных сигналов: Учебное пособие.– Саратов: Научная книга, 2008. – 120 с.
15. *Tarasov V. E.* Fractional dynamics. Applications of fractal Calculus to Dynamics of Particles, Fields and Media.– Springer, 2011. – 522 p.

Допоміжна література

16. *Газале М.* ГНОМОН. От фараонов до фракталов. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 272 с.
17. Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии. – М.: Издательство Триумф, 2003. – 320 с.
18. *Чуличков А. И.* Математические модели нелинейной динамики. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 296 с.
19. *Ильяшенко Ю. С.* Аттракторы и их фрактальная размерность. – М.: МЦНМО, 2005. – 16 с.
20. *Синельник Е. Н., Ульянов В. В.* Фракталы: от математики к физике.– Х.: ХНУ имени В. Н. Каразина, 2005. – 52 с.
21. *Любушин А. А.* Фрактальный анализ временных рядов. – М.: РГГУ, 2006. – 23 с.
22. *Пащенко Р. Э.* Основы теории формирования фрактальных сигналов. – Х.: ХООО «НЭО ЭкоПерспектива», 2005. – 296 с.
23. Фрактальный анализ процессов, структур и сигналов. коллективная монография / Под. ред. Р. Э. Пащенко. – Х.: ХООО «НЭО ЭкоПерспектива», 2006. – 348 с.

10. Інформаційні ресурси в Інтернеті, інше методичне забезпечення

<https://www.facebook.com/FractalRadioPhysics/>
<http://diagram.com.ua/library>
<http://sci-lib.com/>
<http://www.all-ebooks.com/>
<http://lib.org.by/>
<http://arxiv.org/>

Додаток до робочої програми навчальної дисципліни

“Фрактальна радіофізика та геофізика”

(назва дисципліни)

Дію робочої програми продовжено: на 20 ____ /20 ____ н. р.

Заступник декана з навчальної роботи факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп’ютерних систем

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 20 ____ р.

Голова методичної комісії факультету радіофізики, біомедичної електроніки та комп’ютерних систем

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 20 ____ р.