

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное автономное учреждение  
высшего профессионального образования  
"Казанский (Приволжский) федеральный университет"  
Институт физики



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор  
по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Минзарипов Р.Г.

"\_\_" \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Программа дисциплины**

Математические методы физики фракталов БЗ.ДВ.8

Направление подготовки: 011800.62 - Радиофизика

Профиль подготовки: Квантовая радиофизика и квантовая электроника

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

Нигматуллин Р.Р. , Хамзин А.А.

**Рецензент(ы):**

Прошин Ю.Н.

**СОГЛАСОВАНО:**

Заведующий(ая) кафедрой: Прошин Ю. Н.

Протокол заседания кафедры No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Учебно-методическая комиссия Института физики:

Протокол заседания УМК No \_\_\_\_ от "\_\_\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

Регистрационный No

Казань  
2015

## Содержание

1. Цели освоения дисциплины
2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля
4. Структура и содержание дисциплины/ модуля
5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения
6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов
7. Литература
8. Интернет-ресурсы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины/модуля согласно утвержденному учебному плану

Программу дисциплины разработал(а)(и) профессор, д.н. (профессор) Нигматуллин Р.Р. Кафедра теоретической физики Отделение физики , Raoul.Nigmatullin@kpfu.ru ; доцент, к.н. (доцент) Хамзин А.А. Кафедра теоретической физики Отделение физики , Ajrat.Hamzin@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины "ММФФ" познакомить потенциальных слушателей с методами фрактальной геометрии и дробного исчисления, которые широко применяются в физике для описания самого широкого класса неупорядоченных сред и кинетических явлений, имеющих место в таких системах: тепло- и массо-перенос, релаксация, распространение волн и других сходных явлений, начиная от этапов зарождения Вселенной, и захватывая такие области как нанотехнологии, биотехнологии и фрактальную обработку сигналов и изображений

### 2. Место дисциплины в структуре основной образовательной программы высшего профессионального образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел " Б3.ДВ.8 Профессиональный" основной образовательной программы 011800.62 Радиофизика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 8 семестр.

Дисциплина входит в перечень дисциплин по выбору и имеет регистрационный номер (Б.2. ДВ1). Для освоения дисциплины необходимы знания следующих базовых дисциплин: математический анализ, дифференциальные уравнения, теория вероятностей, классическая и квантовая механика (на начальном уровне), термодинамика и статистическая физика (основные базовые понятия, которые будут проясняться и объясняться по ходу изложения курса). Освоение дисциплины будет способствовать расширению кругозора, и успешной профессиональной деятельности, Кроме того, полученные знания и навыки позволят глубже понять основы фрактальной физики, получившей бурное развитие, особенно за последние два десятилетия. Фракталы служат математической и геометрической основой описания различных гетерогенных структур, состоящих из большого и конечного числа атомов и молекул (кластеров). Эти структуры могут входить в различные нанотехнологии и поэтому их геометрические и физические параметры, могут быть поняты и оценены с помощью методов, входящих в дисциплину ММФФ. Овладение этими методами позволит в дальнейшем успешно изучать курсы общенаучного и профессионального циклов основной образовательной программы магистратуры.

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины /модуля

В результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ОК-8 (общекультурные компетенции)	способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности
ПК-1 (профессиональные компетенции)	научно-исследовательская деятельность: способность использовать базовые теоретические знания (в том числе по дисциплинам профилизации) для решения профессиональных задач;
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способность применять на практике базовые профессиональные навыки;
ПК-3 (профессиональные компетенции)	способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования;

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способность к профессиональному развитию и саморазвитию в области радиофизики и электроники;

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

как можно описать различные неупорядоченные структуры с помощью методов фрактальной геометрии;

основы интегрального и дифференциального исчисления, имеющих нецелые и даже комплексно-сопряженные показатели.

2. должен уметь:

решать простейшие дифференциальные уравнения, содержащие нецелые операторы дифференцирования и интегрирования;

составлять простейшие модели, которые могут быть описаны уравнениями такого рода.

3. должен владеть:

навыками расчета и способами описания различных фрактальных структур.

4. должен демонстрировать способность и готовность:

к дальнейшему обучению

#### 4. Структура и содержание дисциплины/ модуля

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины экзамен в 8 семестре.

Суммарно по дисциплине можно получить 100 баллов, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов. Минимальное количество для допуска к зачету 28 баллов.

86 баллов и более - "отлично" (отл.);

71-85 баллов - "хорошо" (хор.);

55-70 баллов - "удовлетворительно" (удов.);

54 балла и менее - "неудовлетворительно" (неуд.).

#### 4.1 Структура и содержание аудиторной работы по дисциплине/ модулю

##### Тематический план дисциплины/модуля

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
1.	Тема 1. Основы фрактальной геометрии.	8	1-2	4	2	0	

N	Раздел Дисциплины/ Модуля	Семестр	Неделя семестра	Виды и часы аудиторной работы, их трудоемкость (в часах)			Текущие формы контроля
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
2.	Тема 2. Применение фракталов в простейших моделях.	8	3-4	4	2	0	
3.	Тема 3. Случайные фракталы.	8	5-8	8	4	0	
4.	Тема 4. Основы дробного исчисления.	8	9-10	4	2	0	
5.	Тема 5. Модификация основных уравнений матфизики на основе дробного исчисления	8	11-12	4	2	0	
6.	Тема 6. Некоторые физические модели, описываемые уравнениями в дробных производных.	8	13-14	4	2	0	
7.	Тема 7. Нерешенные проблемы физики и математики фрактального исчисления.	8	15-18	8	4	0	
	Тема . Итоговая форма контроля	8		0	0	0	экзамен
	Итого			36	18	0	

## 4.2 Содержание дисциплины

### Тема 1. Основы фрактальной геометрии.

#### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Основы фрактальной геометрии. Длина береговой линии. Классификация идеальных фракталов.

#### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Простейшие фракталы: Пыль Кантора, кривая Кох, ковер Серпинского и др.

### Тема 2. Применение фракталов в простейших моделях.

#### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Применение фракталов в простейших моделях.

#### **практическое занятие (2 часа(ов)):**

Фрактальная размерность, другие виды размерностей.

### Тема 3. Случайные фракталы.

#### **лекционное занятие (8 часа(ов)):**

Случайные фракталы. Применение модели случайных фракталов со случайными значениями масштаба для описания пористости и проницаемости горных пород.

#### **практическое занятие (4 часа(ов)):**

Модель диэлектрической релаксации пористой среды.

### Тема 4. Основы дробного исчисления.

#### **лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Основы дробного исчисления. Обобщения оператора интегрирования на дробные показатели. Представление Капуто и Римана-Лиувилля для операторов дифференцирования.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Свойства дифференциальных операторов.

**Тема 5. Модификация основных уравнений матфизики на основе дробного исчисления**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Модификация основных уравнений матфизики (диффузия, волновое уравнение). Модель дробного осциллятора, и модель сверхмедленной релаксации и их решения в терминах функции Миттаг-Леффлера.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Запись общих решений дифференциальных уравнений, содержащих нецелые операторы. Физический и геометрический смысл операции дробного интегрирования.

**Тема 6. Некоторые физические модели, описываемые уравнениями в дробных производных.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Некоторые физические модели, описываемые уравнениями в дробных производных. Механическая и диэлектрическая релаксации.

**практическое занятие (2 часа(ов)):**

Самоподобные цепи, понятие реинда и рекапа.

**Тема 7. Нерешенные проблемы физики и математики фрактального исчисления.**

**лекционное занятие (8 часа(ов)):**

Расщепление уравнения диффузии (метод Бабенко) Нерешенные проблемы физики и математики фрактального исчисления. Процессы с памятью, уравнения Ньютона с памятью, нелокальные законы сохранения.

**практическое занятие (4 часа(ов)):**

Фрактальные шумы, распределения Леви, аномальная диффузия.

#### 4.3 Структура и содержание самостоятельной работы дисциплины (модуля)

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
1.	Тема 1. Основы фрактальной геометрии.	8	1-2	Домашнее задание	8	Устный опрос
2.	Тема 2. Применение фракталов в простейших моделях.	8	3-4	Домашнее задание	8	Устный опрос
3.	Тема 3. Случайные фракталы.	8	5-8	Домашнее задание	8	Устный опрос
4.	Тема 4. Основы дробного исчисления.	8	9-10	Домашнее задание	8	Устный опрос
5.	Тема 5. Модификация основных уравнений матфизики на основе дробного исчисления	8	11-12	Домашнее задание	8	Устный опрос
7.	Тема 7. Нерешенные проблемы физики и математики фрактального исчисления.	8	15-18	Домашнее задание	4	Устный опрос
				Составление выступления	10	Защита реферата

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
	Итого				54	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Виды учебной работы: лекции, практические занятия, написание рефератов и их обсуждения по итогам самостоятельной работы. Для написания полноценного реферата, предполагается изучение оригинальных статей авторов, активно работающих в этом направлении науки.

## 6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

### Тема 1. Основы фрактальной геометрии.

Устный опрос , примерные вопросы:

Длина береговой линии. Классификация идеальных фракталов. Простейшие фракталы: Пыль Кантора, кривая Кох, ковер Серпинского и др.

### Тема 2. Применение фракталов в простейших моделях.

Устный опрос , примерные вопросы:

Применение фракталов в простейших моделях. Фрактальная размерность, другие виды размерностей.

### Тема 3. Случайные фракталы.

Устный опрос , примерные вопросы:

Случайные фракталы. Применение модели случайных фракталов со случайными значениями масштаба для описания пористости и проницаемости горных пород. Модель диэлектрической релаксации пористой среды.

### Тема 4. Основы дробного исчисления.

Устный опрос , примерные вопросы:

Обобщения оператора интегрирования на дробные показатели. Представление Капуто и Римана-Лиувилля для операторов дифференцирования. Свойства дифференциальных операторов.

### Тема 5. Модификация основных уравнений матфизики на основе дробного исчисления

Устный опрос , примерные вопросы:

Модификация основных уравнений матфизики (диффузия, волновое уравнение). Модель дробного осциллятора, и модель сверхмедленной релаксации и их решения в терминах функции Миттаг-Леффлера. Запись общих решений дифференциальных уравнений, содержащих нецелые операторы. Физический и геометрический смысл операции дробного интегрирования.

### Тема 6. Некоторые физические модели, описываемые уравнениями в дробных производных.

### Тема 7. Нерешенные проблемы физики и математики фрактального исчисления.

Защита реферата , примерные темы:

Примерные темы рефератов: 1. Функция Вейштрасса-Мандельброта 2. Фрактальная размерность кластеров 3. Канторовские множества 4. Основные свойства нецелых операторов интегрирования и дифференцирования. 5. Фракталы и дробные производные.

Устный опрос , примерные вопросы:

Расщепление уравнения диффузии (метод Бабенко) Нерешенные проблемы физики и математики фрактального исчисления. Процессы с памятью, уравнения Ньютона с памятью, нелокальные законы сохранения. Фрактальные шумы, распределения Леви, аномальная диффузия и др.

### **Тема . Итоговая форма контроля**

Примерные вопросы к экзамену:

Регламент БРС

Устные опросы - 25 баллов

Защита реферата - 25 баллов

Зачет - 50 баллов

Вопросы к зачету:

1. Классификация идеальных фракталов
2. Фрактальная размерность, другие виды размерностей.
3. Случайные фракталы.
4. Модель диэлектрической релаксации пористой среды.
5. Обобщения оператора интегрирования на дробные показатели. Представление Капуто и Римана-Лиувилля для операторов дифференцирования.
6. Модификация основных уравнений матфизики (диффузия, волновое уравнение)
7. Модель дробного осциллятора, и модель сверхмедленной релаксации и их решения в терминах функции Миттаг-Леффлера
8. Физический и геометрический смысл операции дробного интегрирования.
9. Механическая и диэлектрическая релаксации, самоподобные цепи, понятие реинда и рекапа.
10. Расщепление уравнения диффузии (метод Бабенко)
11. Процессы с памятью, уравнения Ньютона с памятью, нелокальные законы сохранения.

### **7.1. Основная литература:**

1. Кроновер, Р.М. Фракталы и хаос в динамических системах: учеб. пособие для студентов по спец. 01.02 "Прикл. математика" / Р. Кроновер; пер. с англ. Т.Э. Кренкеля и А.Л. Соловейчика; под ред. Т.Э. Кренкеля.-2-е доп. изд. / доп. А.А. Потапова.-Москва: Техносфера, 2006.-484 с.
2. Деменок, С. Л. Просто фрактал / Сергей Деменок .- Санкт-Петербург : Страта, 2012 .- 163, [3] с., [4] л. цв. ил. : ил. ; 22
3. Колесниченко А.В., Маров М.Я. Турбулентность и самоорганизация. М. Бином. Лаборатория знаний. - 2012. - 632 с. <http://e.lanbook.com/view/book/4382/>

### **7.2. Дополнительная литература:**

1. Аганов, А. В. Спектроскопия ЯМР высокого разрешения в Казанском университете / А. В. Аганов, Р. М. Аминова, А. А. Нафикова .- Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2006 (Казань : Изд-во Казан. ун-та) .- 65, [2] с., [8] л. ил., портр., цв. ил., портр. ; 20 см .- На обл.: К 200-летию Казанского университета .- Библиогр.: с. 59-65 .- ISBN 5-7464-1402-6.
2. Трошин, П. И. Моделирование фракталов в среде Mathematica : учебно-методическое пособие / П. И. Трошин ; Казан. федер. ун-т .- Казань : [Казанский федеральный университет], 2014 .- ; 21.
3. Потапов А.А. Фракталы в радиофизике и радиолокации:топология выборки / А. А. Потапов .- 2-е изд.,перераб.и доп. - М. : Университетская книга, 2005 .- 848 с. : ил. - Библиогр.:с.788-847 .- ISBN 5-98699-015-3 : p.340.60.



### 7.3. Интернет-ресурсы:

Килбас, Самко, МаСГ.Самко/А.А.Килбас/О.И.Маричев ИНТЕГРАЛЫ И ПРОИЗВОДНЫЕ ДРОБНОГО ПОРЯДКА И НЕКОТОРЫЕ ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ МИНСК ?НАУКА И ТЕХНИКА^ 1987 -

[http://booklists.narod.ru/M\\_Mathematics/MC\\_Calculus/MCat\\_Advanced\\_calculus/Samko\\_\\_Kilbas\\_\\_Marich](http://booklists.narod.ru/M_Mathematics/MC_Calculus/MCat_Advanced_calculus/Samko__Kilbas__Marich)

Новая электронная библиотека - <http://www.newlibrary.ru>

Образовательный проект А.Н. Варгина - <http://www.ph4s.ru/index.html>

сайт кафедры теоретической физики - [http://www.kpfu.ru/main\\_page?p\\_sub=5721](http://www.kpfu.ru/main_page?p_sub=5721)

Федер. Фракталы - <http://pdf-ka.ru/uchebnye-posobiya/fraktaly>

### 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины(модуля)

Освоение дисциплины "Математические методы физики фракталов" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB, audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудование имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "БиблиоРоссика", доступ к которой предоставлен студентам. В ЭБС "БиблиоРоссика" представлены коллекции актуальной научной и учебной литературы по гуманитарным наукам, включающие в себя публикации ведущих российских издательств гуманитарной литературы, издания на английском языке ведущих американских и европейских издательств, а также редкие и малотиражные издания российских региональных вузов. ЭБС "БиблиоРоссика" обеспечивает широкий законный доступ к необходимым для образовательного процесса изданиям с использованием инновационных технологий и соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, УМК, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань" , доступ к которой предоставлен студентам. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

Слайд-проектор (необходимый демонстрационный инструмент), аудитории для проведения лекционных и семинарских занятий

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 011800.62 "Радиофизика" и профилю подготовки Квантовая радиофизика и квантовая электроника .

Автор(ы):

Нигматуллин Р.Р. \_\_\_\_\_

Хамзин А.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Прошин Ю.Н. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.