

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



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по образовательной деятельности КФУ  
Проф. Д.А. Гаюрский

\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

подписано электронно-цифровой подписью

### Программа дисциплины

Математические методы физики фракталов Б1.В.ДВ.12

Направление подготовки: 03.03.03 - Радиофизика

Профиль подготовки: Физика магнитных явлений

Квалификация выпускника: бакалавр

Форма обучения: очное

Язык обучения: русский

**Автор(ы):**

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 6139618

Казань

2018

## 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) доцент, к.н. (доцент) Хамзин А.А. Кафедра теоретической физики Отделение физики , Ajr@kpfu.ru

### 1. Цели освоения дисциплины

Цели освоения дисциплины "Математические методы физики фракталов" - 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 " Б1.В.ДВ.12 Дисциплины (модули)" основной образовательной программы 03.03.03 Радиофизика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 4 курсе, 7, 8 семестры.

Для освоения дисциплины необходимы знания следующих базовых дисциплин: математический анализ, дифференциальные уравнения, теория вероятностей и математическая статистика, теоретическая механика, квантовая механика, 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 "Математические методы физики фракталов". Владение этими методами позволит в дальнейшем успешно изучать курсы 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  |
|---|--|
| ОПК-1<br>(профессиональные компетенции) | способность к овладению базовыми знаниями в области математики и естественных наук, их использованию в профессиональной деятельности |
| ОПК-2<br>(профессиональные компетенции) | способность самостоятельно приобретать новые знания, используя современные образовательные и информационные технологии               |
| ПК-1<br>(профессиональные компетенции)  | способность понимать принципы работы и методы эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования       |

В результате освоения дисциплины студент:

1. должен знать:

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

основы интегрального и дифференциального исчисления с нецелыми и комплексно-сопряженными показателями.

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 3 зачетных(ые) единиц(ы) 108 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины отсутствует в 7 семестре; зачет 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.              | 7       | 1-4             | 4  | 4                    | 0                   | Устный опрос           |
| 2. | Тема 2. Применение фракталов в простейших моделях. | 7       | 5-8             | 4  | 4                    | 0                   | Устный опрос           |
| 3. | Тема 3. Случайные фракталы.                        | 7       | 9-16            | 8  | 4                    | 0                   | Устный опрос           |

| N  | Раздел<br>Дисциплины/<br>Модуля   | Семестр | Неделя<br>семестра | Виды и часы<br>аудиторной работы,<br>их трудоемкость<br>(в часах) |                         |                        | Текущие формы<br>контроля             |
|----|---|---------|--------------------|---|-------------------------|------------------------|---------------------------------------|
|    |   |         |                    | Лекции  | Практические<br>занятия | Лабораторные<br>работы |                                       |
| 4. | Тема 4. Основы<br>дробного исчисления.  | 7       | 17-18              | 2   | 6                       | 0                      | Устный опрос<br>Контрольная<br>работа |
| 5. | Тема 5. Модификация<br>основных уравнений<br>матфизики на основе<br>дробного исчисления         | 8       | 1-6                | 6   | 0                       | 0                      | Устный опрос                          |
| 6. | Тема 6. Некоторые<br>физические модели,<br>описываемые<br>уравнениями в<br>дробных производных. | 8       | 7-10               | 4   | 0                       | 0                      | Устный опрос                          |
| 7. | Тема 7. Нерешенные<br>проблемы физики и<br>математики<br>фрактального<br>исчисления.            | 8       | 11-18              | 8   | 0                       | 0                      | Устный опрос<br>Контрольная<br>работа |
|    | Тема . Итоговая<br>форма контроля   | 8       |                    | 0   | 0                       | 0                      | Зачет                                 |
|    | 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 (4 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 (4 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 (2 часа(ов)):**

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

###### **практическое занятие (6 часа(ов)):**

Свойства дифференциальных операторов.

**Тема 5. Модификация основных уравнений матфизики на основе дробного исчисления лекционное занятие (6 часа(ов)):**

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.**

**лекционное занятие (4 часа(ов)):**

Некоторые физические модели, описываемые уравнениями в дробных производных. Механическая и диэлектрическая релаксации. 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. 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.   | 7       | 1-4             | подготовка к устному опросу           | 8                      | устный опрос                          |
| 2. | Тема 2. Применение фракталов в простейших моделях.                                  | 7       | 5-8             | подготовка к устному опросу           | 8                      | устный опрос                          |
| 3. | Тема 3. Случайные фракталы.   | 7       | 9-16            | подготовка к устному опросу           | 8                      | устный опрос                          |
| 4. | Тема 4. Основы дробного исчисления.   | 7       | 17-18           | подготовка к контрольной работе       | 8                      | контрольная работа                    |
|    |   |         |                 | подготовка к устному опросу           | 4                      | устный опрос                          |
| 5. | Тема 5. Модификация основных уравнений матфизики на основе дробного исчисления      | 8       | 1-6             | подготовка к устному опросу           | 8                      | устный опрос                          |
| 6. | Тема 6. Некоторые физические модели, описываемые уравнениями в дробных производных. | 8       | 7-10            | подготовка к устному опросу           | 2                      | устный опрос                          |
| 7. | Тема 7. Нерешенные проблемы физики и математики фрактального исчисления.            | 8       | 11-18           | подготовка к контрольной работе       | 6                      | контрольная работа                    |
|    |   |         |                 | подготовка к устному опросу           | 2                      | устный опрос                          |
|    | Итого   |         |                 |                                       | 54                     |                                       |

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Виды учебной работы: лекции, практические занятия, устные опросы, контрольные работы.

## 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.

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

устный опрос , примерные вопросы:

Фрактальная размерность, другие виды размерностей.

### Тема 3. Случайные фракталы.

устный опрос , примерные вопросы:

Случайные фракталы. Модель диэлектрической релаксации пористой среды.

### Тема 4. Основы дробного исчисления.

контрольная работа , примерные вопросы:

1. Дробное интегрирование по частям. 2. Найти дробный интеграл  $\exp(ax) \cdot \sin(bx)$

устный опрос , примерные вопросы:

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:

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.

устный опрос , примерные вопросы:

Модель дробного осциллятора и ее решение в терминах функции Миттаг-Леффлера

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

контрольная работа , примерные вопросы:

1. Модель сверхмедленной релаксации и ее решение в терминах функции Миттаг-Леффлера.

2. Самоподобные цепи, реинд и рекап.

устный опрос , примерные вопросы:

Расщепление уравнения диффузии (метод Бабенко). Уравнения Ньютона с памятью, нелокальные законы сохранения.

### Итоговая форма контроля

зачет

Примерные вопросы к зачету:

Регламент БРС

Устные опросы - 10 баллов

Контрольная работа  $\diamond 1$  - 20 баллов

Контрольная работа  $\diamond 2$  - 20 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:**

Просто фрактал, Деменок, Сергей Леонидович, 2012г.

Фракталы и хаос в динамических системах, Кроновер, Ричард М., 2006г.

3. Алифанов Р.Н., Карпачев А.С., Стародубцев П.А. Использование дробного интегро-дифференцирования в уравнениях электродинамики материальных сред - Науковедение, вып. 1, 55TVN114 - 2014 г. Режим доступа - <http://znanium.com/bookread2.php?book=477297Y>

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

Краевые задачи для системы уравнений с частными производными дробного порядка, Мамчур, Мурат Османович, 2005г.

Модели теоретической физики с интегро-дифференцированием дробного порядка, Тарасов, Василий Евгеньевич, 2011г.

### **7.3. Интернет-ресурсы:**

Библиотека Library Genesis - <http://gen.lib.rus.ec>

Методические материалы кафедры теоретической физики КФУ -

<http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/kafedra-teoreticheskoy-fiziki/metodicheskie-materialy>

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

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

Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ - <http://lib.mexmat.ru/>

## **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 практических занятий

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВПО и учебным планом по направлению 03.03.03 "Радиофизика" и профилю подготовки Физика магнитных явлений .

Автор(ы):

Хамзин А.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Прошин Ю.Н. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.