

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



подписано электронно-цифровой подписью

### Программа дисциплины

Математические методы физики фракталов Б2.ДВ.1

Направление подготовки: 011200.62 - Физика

Профиль подготовки: не предусмотрено

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 633914

Казань

2014

## 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 " Б2.ДВ.1 Общепрофессиональный" основной образовательной программы 011200.62 Физика и относится к дисциплинам по выбору. Осваивается на 3 курсе, 5 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-7 (общекультурные компетенции)	способность к самоорганизации и самообразованию
ОПК-2 (профессиональные компетенции)	способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания фундаментальных разделов математики, создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей
ОПК-5 (профессиональные компетенции)	способность использовать основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации и навыки работы с компьютером как со средством управления информацией

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
ПК-1 (профессиональные компетенции)	способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин
ПК-2 (профессиональные компетенции)	способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта
ПК-4 (профессиональные компетенции)	готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин
ПК-5 (профессиональные компетенции)	способность пользоваться современными методами обработки, анализа и синтеза физической информации в избранной области физических исследований
ПК-6 (профессиональные компетенции)	способность понимать и использовать на практике теоретические основы организации и планирования физических исследований

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 2 зачетных(ые) единиц(ы) 72 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины зачет в 5 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.	5	1-2	4	0	0	устный опрос
2.	Тема 2. Применение фракталов в простейших моделях.	5	3-4	4	0	0	устный опрос
3.	Тема 3. Случайные фракталы.	5	5-8	8	0	0	устный опрос
4.	Тема 4. Основы дробного исчисления.	5	9-10	4	0	0	коллоквиум
5.	Тема 5. Модификация основных уравнений матфизики на основе дробного исчисления	5	11-12	4	0	0	устный опрос
6.	Тема 6. Некоторые физические модели, описываемые уравнениями в дробных производных.	5	13-14	4	0	0	устный опрос
7.	Тема 7. Нерешенные проблемы физики и математики фрактального исчисления.	5	15-18	8	0	0	реферат коллоквиум
	Тема . Итоговая форма контроля	5		0	0	0	зачет
	Итого			36	0	0	

#### 4.2 Содержание дисциплины

##### Тема 1. Основы фрактальной геометрии.

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

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

### **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.	5	1-2	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
2.	Тема 2. Применение фракталов в простейших моделях.	5	3-4	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
3.	Тема 3. Случайные фракталы.	5	5-8	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
4.	Тема 4. Основы дробного исчисления.	5	9-10	подготовка к коллоквиуму	8	коллоквиум
5.	Тема 5. Модификация основных уравнений матфизики на основе дробного исчисления	5	11-12	подготовка к устному опросу	4	устный опрос
6.	Тема 6. Некоторые физические модели, описываемые уравнениями в дробных производных.	5	13-14	подготовка к устному опросу	4	устный опрос

N	Раздел Дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды самостоятельной работы студентов	Трудоемкость (в часах)	Формы контроля самостоятельной работы
7.	Тема 7. Нерешенные проблемы физики и математики фрактального исчисления.	5	15-18	подготовка к коллоквиуму	4	коллоквиум
				подготовка к реферату	4	реферат
	Итого				36	

## 5. Образовательные технологии, включая интерактивные формы обучения

Виды учебной работы: лекции, коллоквиумф, написание рефератов и их обсуждение по итогам самостоятельной 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: 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.

коллоквиум , примерные вопросы:

Вопросы коллоквиума: 1. Классификация идеальных фракталов. 2. Фрактальная размерность 3. Фрактальная модель диэлектрической релаксации пористой среды. 4. Обобщения оператора интегрирования на дробные показатели. 5. Представление Капуто и Римана-Лиувилля для операторов дифференцирования. 6. Свойства дробных 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.

устный опрос , примерные вопросы:

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.**

коллоквиум , примерные вопросы:

Вопросы коллоквиума: 1. Модель дробного осциллятора и ее решение в терминах функции Миттаг-Леффлера. 2. Модель сверхмедленной релаксации и ее решение в терминах функции Миттаг-Леффлера. 3. Расщепление уравнения диффузии (метод Бабенко). 4. Процессы с памятью, уравнения Ньютона с памятью, нелокальные законы сохранения.

реферат , примерные темы:

Для написания полноценного реферата предполагается изучение оригинальных статей авторов, активно работающих в этом направлении науки. Примерные темы рефератов: 1. Функция Вейрштрасса-Мандельброта 2. Фрактальная размерность кластеров 3. Канторовские множества 4. Основные свойства нецелых операторов интегрирования и дифференцирования. 5. Фракталы и дробные производные.

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

Примерные вопросы к зачету:

Регламент БРС

Устные опросы - 10 баллов

Коллоквиумы (2) - 20 баллов

Защита реферата - 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:**

1. Математические методы: Учебник / Т.Л. Партыка, И.И. Попов. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. - 464 с.: ил.; 60x90 1/16. - (Профессиональное образование). (переплет) ISBN 978-5-91134-152-7, 3000 экз.  
<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=137102>
2. Теоретическая физика : в 10 томах. Т. 5. Статистическая физика. Ч. 1 / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц .? Издание 3-е, дополненное .? Москва : Наука, 1976 .? 584 с. : ил. ? На корешке только загл. тома .? Пердм.указ.:с.584.
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. Основы статистической физики: Учебное пособие / А.Г. Браун, И.Г. Левитина. - 3-е изд. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. - 120 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (обложка) ISBN 978-5-16-010234-4, 300 экз.

<http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=478437>

2. Термодинамика : перевод с английского / Р. Кубо ; Под ред. Д. Н. Зубарева, Н. М. Плакиды; Пер. А. Г. Башкирова, Е. Е. Тареевой .? Москва : Мир, 1970 .? 304 с. : ил.

## 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 011200.62 "Физика" и профилю подготовки не предусмотрено .

Автор(ы):

Нигматуллин Р.Р. \_\_\_\_\_

Хамзин А.А. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.

Рецензент(ы):

Прошин Ю.Н. \_\_\_\_\_

"\_\_" \_\_\_\_\_ 201\_\_ г.