

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Кафедра физики фазовых переходов

Авторы-составители: Краузин Павел Васильевич

Рабочая программа дисциплины

ДРОБНО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ В ФИЗИКЕ

Код УМК 95441

Утверждено
Протокол №11
от «07» июня 2021 г.

Пермь, 2021

1. Наименование дисциплины

Дробно-дифференциальные модели в физике

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **03.03.01** Прикладные математика и физика
направленность Программа широкого профиля

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Дробно-дифференциальные модели в физике** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

03.03.01 Прикладные математика и физика (направленность : Программа широкого профиля)

ПК.3 Способен выбирать и применять подходящие методы исследований и инструменты для решения задач в избранной предметной области

Индикаторы

ПК.3.1 Выбирает и применяет подходящие методы исследований при решении физических задач

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	03.03.01 Прикладные математика и физика (направленность: Программа широкого профиля)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	11
Объем дисциплины (з.е.)	3
Объем дисциплины (ак.час.)	108
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	42
Проведение лекционных занятий	28
Проведение практических занятий, семинаров	14
Самостоятельная работа (ак.час.)	66
Формы текущего контроля	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
Формы промежуточной аттестации	Зачет (11 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Дробно-дифференциальные модели в физике

Наличие в уравнениях дробной производной по времени интерпретируется как отражение особого свойства описываемого процесса - памяти, или, в случае стохастического процесса - немарковости. Дробные производные по координатам обычно отражает самоподобную неоднородность структуры или среды, в которой развивается процесс. Такие структуры называют фракталами.

Хотя основы дробно-дифференциального исчисления были заложены в позапрошлом веке, его широкое применение началось лишь в последние десятилетия. Задачи, в которых появляются и оказываются эффективными уравнения с дробными производными: классическая механика (обратные задачи); гидродинамика (движение тела в вязкой жидкости); теплопроводность (динамика тепловых потоков); диффузия (электрохимический анализ поверхностей электродов); теория фазовых переходов и др.

Входной контроль

Физические основания метода

1. Эредитарность.

Понятие эредитарности. Эредитарная теория Вольтерры. Эредитарная термодинамика. Эредитарное кинетическое уравнение Больцмана. Обобщенная термодинамика. Эредитарная диффузия. Эредитарное уравнение Ланжевена. Эредитарная динамика упругого тела.

2. Степенные функции в физике.

Стандартная степенная функция. Свойства степенных функций. Степенные законы в физике: движение шара в жидкости, диффузия, затухание турбулентности, спектральная форма Лоренца и др.

3. Автомодельные случайные процессы.

Нормальная диффузия. Марковские процессы. Автомодельность и устойчивость. Устойчивые распределения. L-процессы. Скачкообразные блуждания.

Дробно-дифференциальное исчисление

1. От кратных интегралов к дробным производным.

Производные натуральных порядков. Производные целых отрицательных порядков. Дробные интегралы Римана-Лиувилля. Дробные производные Римана-Лиувилля и Вейля. Свойства дробных производных. Дробные производные Капуто. Дробные производные Маршо. Производные аналитических функций. Производные обобщенных функций. Локальные дробные производные.

2. Интегральные преобразования.

Преобразование Лапласа. Преобразование Меллина. Преобразование Фурье.

3. Обыкновенные дифференциальные уравнения.

Простейшее уравнение. Приведение к интегральному уравнению. Метод последовательных приближений. Метод характеристических полиномов. Метод разложения в степенной ряд. Метод преобразования Лапласа.

4. Уравнения в частных производных.

Дробно-баллистическое движение. Субдиффузия на оси. Субдиффузия на полуоси. Проблема нормировки. Изотропная супердиффузия. Аномальная диффузия на отрезке.

Применения метода

1. Механика.

Задача о таутохроме. Обратные задачи механики. Пластина в вязкой жидкости.

Дробно-дифференциальное уравнение Ньютона. Дробно-дифференциальный осциллятор. Вариационная задача с дробными производными.

2. Диффузия в пористых средах.

Гранулированная пористость. Телеграфная модель. Волоконная пористость. Фильтрация. Гребешковая модель.

3. Термодинамика.

Нагревание стержня. Теплообмен через сферическую границу. Уравнение Орнштейна-Цернике.

Классификация фазовых переходов.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Дунаев А. С. Специальные функции: Учебное пособие / Дунаев А. С. - Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015, ISBN 978-5-7996-1523-9.-938.
<http://www.iprbookshop.ru/66596.html>
2. Хеннер, В. К. Обыкновенные дифференциальные уравнения, вариационное исчисление, основы специальных функций и интегральных уравнений : учебное пособие / В. К. Хеннер, Т. С. Белозерова, М. В. Хеннер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 320 с. — ISBN 978-5-8114-2592-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. <https://elis.psu.ru/node/470497>
3. Новак Е. В. Интегральное исчисление и дифференциальные уравнения: Учебное пособие / Новак Е. В. - Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2015, ISBN 978-5-7996-1536-9.-112.
<http://www.iprbookshop.ru/69600.html>

Дополнительная:

1. Тренькин, А. А. Введение в теорию фракталов. Математические аспекты и некоторые физические приложения : учебное издание / А. А. Тренькин. — Саров : Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2007. — 40 с. — ISBN 978-5-9515-0088-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/60841.html>
2. Волков, В. А. Ряды Фурье. Интегральные преобразования Фурье и Радона : учебно-методическое пособие / В. А. Волков ; под редакцией Р. М. Минькова. — Екатеринбург : Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2014. — 32 с. — ISBN 978-5-7996-1252-8. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/66202.html>

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu> Электронные ресурсы для ПГНИУ

<http://www.mathnet.ru> Общероссийский математический портал

<http://mathworld.wolfram.com> Математическая энциклопедия Wolfram

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Дробно-дифференциальные модели в физике** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

- ALT Linux, LibreOffice.

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для лекционных и практических занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля и групповых (индивидуальных) консультаций требуется аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Для самостоятельной работы студентов требуется аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета. Помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Дробно-дифференциальные модели в физике**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.
Индикаторы и критерии их оценивания**

ПК.3

Способен выбирать и применять подходящие методы исследований и инструменты для решения задач в избранной предметной области

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.3.1 Выбирает и применяет подходящие методы исследований при решении физических задач</p>	<p>ЗНАТЬ: физические основания метода дробных производных. УМЕТЬ: применять метод дробных производных для исследования аномальной диффузии. ВЛАДЕТЬ: навыками решения уравнений в частных производных с использованием дробно-дифференциального исчисления.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Отсутствие знаний. Не знает основ дисциплины, необходимых при формировании компетенции. Отсутствие умений. Отсутствие навыков.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания физических оснований метода дробных производных. Частично сформированное умение применять метод дробных производных для исследования аномальной диффузии. Фрагментарное владение навыками решения уравнений в частных производных с использованием дробно-дифференциального исчисления.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания физических оснований метода дробных производных. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умение применять метод дробных производных для исследования аномальной диффузии. В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками решения уравнений в частных производных с использованием дробно-дифференциального исчисления.</p> <p align="center">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания физических оснований метода дробных производных. Сформированное умение применять метод дробных производных для исследования аномальной диффузии.</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		Отлично Успешное и систематическое владение навыками решения уравнений в частных производных с использованием дробно-дифференциального исчисления.

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Зачет

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Входной контроль Входное тестирование	Нахождение производной сложной функции. Решение обыкновенного дифференциального уравнения. Вычисление неопределенного интеграла. Вычисление начальных моментов непрерывной случайной величины.
ПК.3.1 Выбирает и применяет подходящие методы исследований при решении физических задач	Физические основания метода Письменное контрольное мероприятие	Знает понятие эрмитности, степенные законы в физике. Умеет определять свойства автомодельности и устойчивости случайных процессов. Владеет навыком нахождения преобразований Лапласа и Фурье.
ПК.3.1 Выбирает и применяет подходящие методы исследований при решении физических задач	Дробно-дифференциальное исчисление Письменное контрольное мероприятие	Знает свойства дробных производных. Умеет вычислять дробные производные Римана-Лиувилля, Капуто, Вейля. Владеет навыком решения обыкновенных дифференциальных уравнений методов характеристических полиномов.
ПК.3.1 Выбирает и применяет подходящие методы исследований при решении физических задач	Применения метода Итоговое контрольное мероприятие	Знает постановку задач о таутохроне. Умеет решать обратные задачи механики, вариационные задачи с дробными производными. Владеет навыком применения метода дробных производных в термодинамике.

Спецификация мероприятий текущего контроля

Входной контроль

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Задание 1. Найти производную функции: верное решение задания - 2 балла; в решении есть незначительные ошибки - 1 балл; неверное решение задания - 0 баллов.	2
Задание 4. Вычисление начальных моментов непрерывной случайной величины: верное решение задания - 2 балла; в решении есть незначительные ошибки - 1 балл; неверное решение задания - 0 баллов.	2
Задание 3. Вычисление неопределенного интеграла: верное решение задания - 2 балла; в решении есть незначительные ошибки - 1 балл; неверное решение задания - 0 баллов.	2
Задание 2. Решение обыкновенного дифференциального уравнения: верное решение задания - 2 балла; в решении есть незначительные ошибки - 1 балл; неверное решение задания - 0 баллов.	2

Физические основания метода

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Дан полный ответ на вопрос в билете. Отсутствуют ошибки в формулах и формулировках основных положений. Вывод формул сопровождается соответствующими текстовыми пояснениями.	6
Дан полный ответ на вопрос в билете. Есть незначительные неточности в ряде формулировок.	5
Дан полный ответ на вопрос в билете. Допущены несущественные ошибки в выводе формул, формулировках и определениях или математические выкладки не сопровождаются соответствующими текстовыми пояснениями.	4
Основное содержание ответа на вопросы билета представлено. Есть незначительные ошибки при выводе формул / формулировках / определениях. Математические выкладки не сопровождаются текстовыми пояснениями.	3
Основное содержание вопроса не раскрыто. При выводе формул допущены грубые ошибки.	2
Основное содержание вопроса не раскрыто. Отсутствуют основные определения и формулы. В ответе присутствует минимальная (отрывочная) информация, относящаяся к вопросу.	1
Нет ответа на вопрос билета или представлен ответ на вопрос другого билета. Здесь указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие.	0
Описание шкалы оценивания. Максимальный первичный балл - 6, проходной первичный балл - 3. Выше указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие.	0

Итоговые баллы в рейтинг по 100-балльной шкале рассчитывает ЕТИС согласно вкладу (30%) контрольного мероприятия в итоговую оценку.	
--	--

Дробно-дифференциальное исчисление

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **20**

Показатели оценивания	Баллы
Дан полный ответ на вопрос в билете. Отсутствуют ошибки в формулах и формулировках основных положений. Вывод формул сопровождается соответствующими текстовыми пояснениями.	6
Дан полный ответ на вопрос в билете. Есть незначительные неточности в ряде формулировок.	5
Дан полный ответ на вопрос в билете. Допущены несущественные ошибки в выводе формул, формулировках и определениях или математические выкладки не сопровождаются соответствующими текстовыми пояснениями.	4
Основное содержание ответа на вопросы билета представлено. Есть незначительные ошибки при выводе формул / формулировках / определениях. Математические выкладки не сопровождаются текстовыми пояснениями.	3
Основное содержание вопроса не раскрыто. При выводе формул допущены грубые ошибки.	2
Основное содержание вопроса не раскрыто. Отсутствуют основные определения и формулы. В ответе присутствует минимальная (отрывочная) информация, относящаяся к вопросу.	1
Нет ответа на вопрос билета или представлен ответ на вопрос другого билета. Здесь указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие.	0
Описание шкалы оценивания. Максимальный первичный балл - 6, проходной первичный балл - 3. Выше указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие. Итоговые баллы в рейтинг по 100-балльной шкале рассчитывает ЕТИС согласно вкладу (40%) контрольного мероприятия в итоговую оценку.	0

Применения метода

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Дан полный ответ на вопрос в билете. Отсутствуют ошибки в формулах и формулировках основных положений. Вывод формул сопровождается соответствующими текстовыми пояснениями.	6
Дан полный ответ на вопрос в билете. Есть незначительные неточности в ряде формулировок.	5

Дан полный ответ на вопрос в билете. Допущены несущественные ошибки в выводе формул, формулировках и определениях или математические выкладки не сопровождаются соответствующими текстовыми пояснениями.	4
Основное содержание ответа на вопросы билета представлено. Есть незначительные ошибки при выводе формул / формулировках / определениях. Математические выкладки не сопровождаются текстовыми пояснениями.	3
Основное содержание вопроса не раскрыто. При выводе формул допущены грубые ошибки.	2
Основное содержание вопроса не раскрыто. Отсутствуют основные определения и формулы. В ответе присутствует минимальная (отрывочная) информация, относящаяся к вопросу.	1
Нет ответа на вопрос билета или представлен ответ на вопрос другого билета. Здесь указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие.	0
Описание шкалы оценивания. Максимальный первичный балл - 6, проходной первичный балл - 3. Выше указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие. Итоговые баллы в рейтинг по 100-балльной шкале рассчитывает ЕТИС согласно вкладу (30%) контрольного мероприятия в итоговую оценку.	0