

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"

Кафедра физики фазовых переходов

Авторы-составители: **Краузин Павел Васильевич**

Рабочая программа дисциплины
ДИФФУЗИЯ И БРОУНОВСКИЕ ЯВЛЕНИЯ
Код УМК 87934

Утверждено
Протокол №12
от «14» мая 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Диффузия и броуновские явления

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 **Диффузия и броуновские явления** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

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

ОПК.8 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

ПК.4 способность применять теорию и методы математики, физики и информатики для построения качественных и количественных моделей

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	10
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 (10 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Диффузия и броуновские явления

К настоящему времени накоплено большое число экспериментальных данных о разнообразных аномальных процессах диффузии. В их числе — перенос зарядов в аморфных полупроводниках, ЯМР-диффузометрия в перколятивных и пористых системах, динамика полимерных систем, перенос на фрактальных структурах, диффузия во вращающихся потоках, «скользящая» диффузия по твердой поверхности, диффузия в пористых стеклах, в неоднородном скальном грунте, в квантовой оптике, в плазме и др.

Для описания этих процессов было развито несколько подходов, использующих переменные коэффициенты диффузии, корреляции дробного порядка, дробные лапласианы, скачкообразные блуждания, обобщения уравнений Ланжевена, Фоккера—Планка, термодинамический подход и др.

Одномерное, многомерное и вращательное броуновские движения

Случайные величины и процессы. Уравнение Смолуховского. Уравнение Ланжевена. Формула Эйнштейна для среднего квадрата скорости броуновской частицы. Высшие моменты скорости и формула Эйнштейна для среднего квадрата смещения свободной броуновской частицы. Броуновское движение осциллятора. Флуктуационно-диссипационная теорема. Уравнение Фоккера-Планка. Эргодичность. Спектральные представления. Вывод уравнения Фоккера-Планка из уравнения Лиувилля. Многомерное и вращательное броуновское движение. Интегралы Винера.

Метод дробных производных

Модель случайных блужданий с дискретным временем. Уравнение Башелье-Смолуховского-Чепмена-Колмогорова, его точное решение в прямом и обратном пространствах, асимптотическое решение. Пример: распределение Гаусса. Нарушение ЦПТ. Распределение Коши-Лоренца. Распределения Леви. Модель случайных блужданий с непрерывным временем. Формула Монтролла--Вайсса. Случайные блуждания с распределениями без "тяжелых" хвостов. Формула повторного интегрирования. Дробный интеграл. Дробная производная Римана-Лиувилля. Дробная производная Капуто, связь с дробной производной Римана-Лиувилля. Преобразование Лапласа от дробного интеграла и производной целого порядка. Преобразование Лапласа от дробных производных Римана-Лиувилля и Капуто. Левая и правая производные. Дробная производная Рисса. Преобразование Фурье от дробных производных.

Аномальная диффузия Леви-Хинчина

Аномальная диффузия как случайный процесс. Устойчивые законы. Аномальная диффузия как асимптотика скачкообразных процессов. Кинетика с конечной скоростью свободного движения. Случайные блуждания с долгими остановками. Различные формы записи уравнения субдиффузии. Случайные блуждания с длинными прыжками. Уравнение супердиффузии ("полеты Леви").

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. Методы решения задач тепломассопереноса. Теплопроводность и диффузия в неподвижной среде : учебное пособие / В. И. Коновалов, А. Н. Пахомов, Н. Ц. Гагапова, А. Н. Колиух. — Тамбов : Тамбовский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2012. — 81 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/64112.html>
2. Мартынов Г. А. Классическая статистическая механика. Теория жидкостей:[монография]/Г. А. Мартынов.-Долгопрудный:Интеллект,2011, ISBN 978-5-91559-086-0.-328.-Библиогр.: с. 325
3. Михнев Л. В. Термодинамика и статистическая физика:Практикум/Михнев Л. В..-Ставрополь:Северо-Кавказский федеральный университет,2016.-125. <http://www.iprbookshop.ru/69442.html>

Дополнительная:

1. Гуньков, В. В. Моделирование случайного блуждания : методические указания к лабораторному практикуму / В. В. Гуньков. — Оренбург : Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2005. — 9 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/51575>
2. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов : в 10 т. Т. 10. Физическая кинетика/Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; ред. Л. П. Питаевский.- Москва:ФИЗМАТЛИТ,2002, ISBN 5-9221-0125-0.-536

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

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

<https://www.theoretical-physics.net/0.1/index.html> Справочник по теоретической физике.

<https://elementy.ru> Научно-популярный проект «Элементы большой науки».

<http://www.feynmanlectures.caltech.edu> Фейнмановские лекции по физике.

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

Образовательный процесс по дисциплине **Диффузия и броуновские явления** 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:

- просмотрщик PDF файлов;
- 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 групповых (индивидуальных) консультаций и проведения текущего контроля 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 компьютера 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
Диффузия и броуновские явления**

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

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ОПК.8 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</p>	<p>ЗНАТЬ: фундаментальные разделы математики, основные понятия и терминологию броуновских явлений. УМЕТЬ: строить математические модели диффузии и броуновских явлений. ВЛАДЕТЬ: навыками программной реализации математических моделей диффузии и броуновских явлений с помощью компьютерных средств, интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей.</p>	<p align="center">Неудовлетворител Отсутствие знаний. Не знает основ дисциплины, необходимых при формировании компетенции. Отсутствие умений. Отсутствие навыков.</p> <p align="center">Удовлетворительн Общие, но не структурированные знания фундаментальных разделов математики, основных понятий и терминологии броуновских явлений. Частично сформированное умение построения математических моделей диффузии и броуновских явлений. Фрагментарное применение навыков программной реализации математических моделей диффузии и броуновских явлений с помощью компьютерных средств, интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей.</p> <p align="center">Хорошо Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания фундаментальных разделов математики, основных понятий и терминологии броуновских явлений. Умеет строить математические модели диффузии и броуновских явлений. В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков программной реализации математических моделей диффузии и броуновских явлений с помощью компьютерных средств, интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей.</p> <p align="center">Отлично Сформированные систематические знания фундаментальных разделов математики, основных понятий и терминологии</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>броуновских явлений. Сформированное умение построения математических моделей диффузии и броуновских явлений. Успешное и систематическое применение навыков программной реализации математических моделей диффузии и броуновских явлений с помощью компьютерных средств, интерпретации полученных результатов с учетом границ применимости моделей.</p>
<p>ПК.4 способность применять теорию и методы математики, физики и информатики для построения качественных и количественных моделей</p>	<p>ЗНАТЬ: теорию дробных производных. ВЛАДЕТЬ: навыками применения физико-математических методов для построения качественных и количественных моделей броуновских явлений.</p>	<p style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> <p>Отсутствие знаний. Не знает основ дисциплины, необходимых при формировании компетенции. Отсутствие навыков.</p> <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания теории дробных производных. Фрагментарное владение навыками применения физико-математических методов для построения качественных и количественных моделей броуновских явлений.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания теории дробных производных. В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы навыков применения физико-математических методов для построения качественных и количественных моделей броуновских явлений.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания теории дробных производных. Успешное и систематическое применение физико-математических методов для построения качественных и количественных моделей броуновских явлений.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС ПМФ

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	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Одномерное, многомерное и вращательное броуновские движения Входное тестирование	Знает определения функций распределения дискретной и непрерывной случайных величин. Умеет находить математическое ожидание и дисперсию. Владеет навыками взятия интегралов Пуассоновского типа.
ОПК.8 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	Одномерное, многомерное и вращательное броуновские движения Письменное контрольное мероприятие	Знание формулы Эйнштейна для среднего квадрата скорости броуновской частицы, умение ее вывести. Знание уравнения Фоккера-Планка, умение его получения из уравнения Лиувилля. Умение вывода и получения решения уравнения Ланжевена для броуновской частицы.
ОПК.8 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	Метод дробных производных Письменное контрольное мероприятие	Знание теории броуновского движения как винеровского процесса. Умение вывода уравнения Смолуховского для многомерного броуновского движения.

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ПК.4 способность применять теорию и методы математики, физики и информатики для построения качественных и количественных моделей	Аномальная диффузия Леви-Хинчина Итоговое контрольное мероприятие	Умение получения распределения Гаусса и Леви-Хинчина как решения уравнения Башелье-Смолуховского-Чепмена-Колмогорова. Знание описания метода случайных блужданий и его приложений.

Спецификация мероприятий текущего контроля

Одномерное, многомерное и вращательное броуновские движения

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.5 часа**

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

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

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Входной контроль имеет 5 заданий. Верно выполненное задание, либо с незначительными ошибками оценивается в 2 балла. В случае правильного хода решения, но отсутствия окончательного результата - 1 балл.	10

Одномерное, многомерное и вращательное броуновские движения

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

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

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

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Вывод уравнения Фоккера-Планка из уравнения Лиувилля.	2
Вывод и решение уравнения Ланжевена для броуновской частицы.	1
Вывод формулы Эйнштейна для среднего квадрата скорости броуновской частицы.	1
Описание шкалы оценивания. Максимальный первичный балл - 4, проходной первичный балл - 2. 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

Метод дробных производных

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
Теория броуновского движения как винеровский процесс.	2

Вывод уравнения Смолуховского для многомерного броуновского движения.	2
Описание шкалы оценивания. Максимальный первичный балл - 4, проходной первичный балл - 2. 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

Аномальная диффузия Леви-Хинчина

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
Распределения Гаусса и Леви-Хинчина как решения уравнения Башелье-Смолуховского-Чепмена-Колмогорова.	2
Описание метода случайных блужданий и его приложений.	2
Описание шкалы оценивания. Максимальный первичный балл - 4, проходной первичный балл - 2. 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