

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

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

**Кафедра теоретической физики**

Авторы-составители: **Циберкин Кирилл Борисович  
Кадыров Дальво Ибрагимович  
Демин Виталий Анатольевич**

Рабочая программа дисциплины  
**ФИЗИКА НЕРАВНОВЕСНЫХ ПРОЦЕССОВ**  
Код УМК 64389

Утверждено  
Протокол №6  
от «08» июня 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Физика неравновесных процессов

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

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

Направление: **03.03.02** Физика

направленность Фундаментальная физика

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Физика неравновесных процессов** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**03.03.02** Физика (направленность : Фундаментальная физика)

**ОПК.7** способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач

**ПК.1** способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	03.03.02 Физика (направленность: Фундаментальная физика)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	10
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	42
<b>Проведение лекционных занятий</b>	14
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	28
<b>Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку</b>	0
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	66
<b>Формы текущего контроля</b>	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Зачет (10 триместр)

## 5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

### Физика неравновесных процессов. Первый семестр

#### Функции линейного отклика

След оператора и его основные свойства. Инвариантность к выбору представления и перестановкам операторов. Полный набор коммутирующих наблюдаемых.

Определение чистого состояния. Свойства оператора чистого состояния. Определение смешанного состояния. Свойства статистического оператора смешанного состояния (матрицы плотности). Уравнение фон Неймана.

Оператор Лиувилля. Уравнение Лиувилля. Оператор временной эволюции и обратный ему оператор. Построение теории возмущений для оператора временной эволюции. Представление взаимодействия.

Возмущение в дипольном приближении. Теория возмущений для статистического оператора. Линейное приближение для статистического оператора. Отклик системы.

Понятие о функции отклика. Способы представления функции отклика. Соотношения Онсагера для функции отклика. Тождество Кубо.

Отклик системы на ступенчатое воздействие. Релаксационная функция. Свойства и способы представления. Связь с функцией отклика. Соотношения Онсагера для релаксационной функции.

#### Восприимчивость

Система в периодическом поле. Восприимчивость. Соотношения симметрии для действительной и мнимой частей восприимчивости. Статическая восприимчивость. Изотермическая восприимчивость. Поглощение.

Соотношения Крамерса-Кронига. Корреляционная функция. Спектральная функция. Связь корреляционной и релаксационной функции. Взаимосвязь спонтанных флуктуаций в системе и её диссипативных свойств. Соотношения между восприимчивостью и релаксационной функцией. Флуктуационно-диссипационная теорема для восприимчивости.

Моменты и асимптотики релаксационной функции. Вычисление асимптотического разложения восприимчивости. Примеры: гармонический осциллятор, электропроводность, магнитная восприимчивость, магнетосопротивление, теплопроводность сплошной среды.

#### Метод вторичного квантования

Операторы рождения и уничтожения. Полевые операторы. Построение одночастичных и двухчастичных операторов. Общий вид гамильтониана идеальных и взаимодействующих систем. Коллективные возбуждения. Квазичастицы. Одночастичные приближения. Метод Хартри-Фока.

#### Методы теории возмущений

Теория возмущений в квантовой механике. Стационарная теория возмущений в вырожденном и невырожденном случае. Нестационарная теория возмущений. Периодические возмущения.

Запаздывающие, опережающие и причинные функции Грина. Уравнения для функций Грина. Спектральные представления. Применение функций Грина к расчёту статических свойств и восприимчивости физических систем.

## **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. Кадыров Д. И., Циберкин К. Б. Физика неравновесных процессов: теория линейного отклика: учебно-методическое пособие для студентов, обучающихся по направлениям подготовки бакалавров "Физика", "Прикладная математика и физика", "Нанотехнологии и микросистемная техника" и по направлению подготовки магистров "Физика"/Д. И. Кадыров, К. Б. Циберкин.-Пермь:ПГНИУ,2015.-86.-Библиогр.: с. 85-86 <https://elis.psu.ru/node/590515>
2. Матухин, В. Л. Физика твердого тела : учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 224 с. — ISBN 978-5-8114-0923-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/262> (дата обращения: 02.10.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей. <https://elis.psu.ru/node/470283>

### Дополнительная:

1. Белко В. Н. Физика конденсированного состояния в примерах и задачах: Учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 04.03.02 «Химия, физика и механика материалов»/Белко В. Н..-Воронеж:Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ,2017.-79. <http://www.iprbookshop.ru/72951.html>
2. Гуревич А. Г. Физика твердого тела:учебное пособие для втузов/А. Г. Гуревич.-Санкт-Петербург:Невский Диалект,2004, ISBN 5-7940-0117-8.-320.-Библиогр.: с. 306-311
3. Прудников, В. В. Квантово-статистическая теория твердых тел : учебное пособие / В. В. Прудников, П. В. Прудников, М. В. Мамонова. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-2061-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/72587> (дата обращения: 02.10.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей. <https://elis.psu.ru/node/470450>
4. Ландау Л. Д. Теоретическая физика. учебное пособие для студентов физических специальностей университетов : в 10 т. Т. 9. Статистическая физика, Ч. 2: Теория конденсированного состояния/Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; ред. Л. П. Питаевский.-Москва:ФИЗМАТЛИТ,2004, ISBN 5-9221-0296-6.-496
5. Квасников И. А. Термодинамика и статистическая физика. учебное пособие : в 3 т. Т. 3. Теория неравновесных систем/И. А. Квасников.-2-е изд., перераб. и доп..-Москва:Едиториал УРСС,2003, ISBN 5-354-00079-3.-448

## **9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины**

<http://library.psu.ru/node/738> Ресурсы Научной библиотеки ПГНИУ

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

Образовательный процесс по дисциплине **Физика неравновесных процессов** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС)
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.
- Интернет-сервисы и электронные ресурсы (поисковые системы, электронная почта и т.д.)

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

- приложение, позволяющее просматривать PDF-файлы
- офисный пакет приложений «LibreOffice».

Дополнительный перечень используемых информационных технологий определяется преподавателями дисциплины.

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ ([student.psu.ru](http://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 занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

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

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.  
Самостоятельная работа студентов: 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  
Физика неравновесных процессов**

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

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>Знать методы неравновесной статистической физики теории конденсированного состояния. Уметь строить функции отклика, релаксационные функции, восприимчивость. Владеть методами теории линейного отклика.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает методы неравновесной статистической физики теории конденсированного состояния. Не умеет строить функции отклика, релаксационные функции, восприимчивость. Не владеет методами теории линейного отклика.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания методов неравновесной статистической физики теории конденсированного состояния. Демонстрирует частично сформированное умение строить функции отклика, релаксационные функции, восприимчивость. Имеет представление о применении методов теории линейного отклика.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы методы неравновесной статистической физики теории конденсированного состояния. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения строить функции отклика, релаксационные функции, восприимчивость. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет методами теории линейного отклика.</p> <p align="center"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные систематические знания методов неравновесной статистической физики теории конденсированного состояния. Сформированное умение находить строить функции отклика, релаксационные функции, восприимчивость. Успешное и систематическое применение методов теории линейного отклика.</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.1</b>  способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p>	<p>Знать основы приложений теории многих частиц и квантовой теории поля в физике конденсированных сред.  Уметь находить макроскопические величины, характеризующие статические и динамические свойства идеальных и слабозаимодействующих систем. Владеть методами вторичного квантования, теории функций Грина, теории возмущений.</p>	<p><b>Неудовлетворител</b>  Не знает основных приложений теории многих частиц и квантовой теории поля в физике конденсированных сред. Не умеет находить макроскопические величины, характеризующие статические и динамические свойства идеальных и слабозаимодействующих систем. Не владеет методами вторичного квантования, теории функций Грина, теории возмущений.</p> <p><b>Удовлетворительн</b>  Общие, но не структурированные знания приложений теории многих частиц и квантовой теории поля в физике конденсированных сред. Демонстрирует частично сформированное умение находить макроскопические величины, характеризующие статические и динамические свойства идеальных и слабозаимодействующих систем. Имеет представление о применении методов вторичного квантования, теории функций Грина, теории возмущений.</p> <p><b>Хорошо</b>  Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания приложений теории многих частиц и квантовой теории поля в физике конденсированных сред. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения находить макроскопические величины, характеризующие статические и динамические свойства идеальных и слабозаимодействующих систем. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет методами вторичного квантования, теории функций Грина, теории возмущений.</p> <p><b>Отлично</b>  Сформированные систематические знания основных приложений теории многих частиц и квантовой теории поля в физике конденсированных сред. Сформированное умение находить макроскопические величины, характеризующие статические и динамические свойства идеальных и слабозаимодействующих систем. Успешное</p>

<b>Компетенция</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
		<b>Отлично</b> и систематическое применение методов вторичного квантования, теории функций Грина, теории возмущений.

## 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	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>Входной контроль</b>	Функции линейного отклика <b>Входное тестирование</b>	Знание методов статистической физики. Умение находить средние значения макроскопических величин.
<b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин <b>ОПК.7</b> способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	Восприимчивость <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Знание методов теории линейного отклика. Умение строить функции отклика, релаксационные функции, вычислять восприимчивость физических систем.
<b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Метод вторичного квантования <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Знание подходов свойств операторов вторичного квантования. Владение базовыми представлениями метода квазичастиц. Умение строить уравнения одночастичного приближения.

<b>Компетенция</b>	<b>Мероприятие текущего контроля</b>	<b>Контролируемые элементы результатов обучения</b>
<b>ПК.1</b> способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Методы теории возмущений <b>Итоговое контрольное мероприятие</b>	Знание методом теории возмущений и основ теории функций Грина. Умение находить макроскопические характеристики систем на основе уравнений движения для функций Грина. Владение приемами построения поправок к энергетическим уровням и волновым функциям систем.

### **Спецификация мероприятий текущего контроля**

#### **Функции линейного отклика**

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**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Расчёт макроскопических свойств идеального газа.	5
Распределение Гиббса. Распределения Больцмана и Максвелла.	5

#### **Восприимчивость**

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**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Отклик на периодическое воздействие. Восприимчивость. Поглощение. Соотношения Кронига-Крамерса.	8
Вычисление восприимчивости простых систем. Вычисление электропроводности. Диффузия.	8
Свойства статистического оператора. Уравнение фон Неймана. Теория возмущений для оператора временной эволюции.	7
Функция отклика. Релаксационная функция.	7

#### **Метод вторичного квантования**

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**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Построение гамильтониана взаимодействующей системы общего вида.	8

Квазичастицы. Описание коллективных явлений.	8
Построение одночастичных и двухчастичных операторов. Переход к полевым операторам.	7
Вычисление эффективного среднего поля методом Хартри-Фока.	7

### **Методы теории возмущений**

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

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

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

Проходной балл: **20**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Уравнения движения для функций Грина. Системы многих частиц.	10
Стационарная теория возмущений. Невырожденный и вырожденный случай.	10
Теория возмущений для слабовзаимодействующих систем при нулевой температуре. Коллективные явления.	10
Нестационарная теория возмущений.	10