

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

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

**Кафедра физики фазовых переходов**

Авторы-составители: **Макаров Дмитрий Владимирович  
Поперечный Игорь Сергеевич**

Рабочая программа дисциплины  
**ФИЗИКА КИНЕТИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ**  
Код УМК 88732

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

Пермь, 2021

## **1. Наименование дисциплины**

Физика кинетических явлений

## **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 **Физика кинетических явлений** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

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

**ПК.1** Способен планировать и проводить теоретические (аналитические и имитационные) исследования и (или) научные эксперименты в избранной предметной области

#### **Индикаторы**

**ПК.1.1** Применяет фундаментальные понятия, законы и теории современной физики

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	03.03.01 Прикладные математика и физика (направленность: Программа широкого профиля)
<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>	28
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	14
<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 кинетических явлений**

Рассматриваются методы и подходы теории неравновесных статистических систем.

#### **Случайные процессы. Броуновское движение**

Рассматриваются методы описания случайных процессов, в частности, броуновского движения. Список основных изучаемых вопросов:

- Определение случайного процесса, способы задания случайных функций.
- Условия эргодичности стационарного случайного процесса.
- Марковские процессы.
- Уравнение Смолуховского.
- Уравнение Фоккера - Планка.
- Примеры точного решения уравнения Фоккера-Планка.
- Дельта-коррелированные случайные процессы.
- Стохастические дифференциальные уравнения (уравнения Ланжевена).

#### **Кинетические уравнения в статистической механике**

Рассматриваются основы микроскопической теории неравновесных статистических систем. Список основных изучаемых вопросов:

- Способы задания микроскопического состояния статистической системы. Теорема и уравнение Лиувилля.
- Структура кинетического уравнения для одночастичной функции распределения. Интеграл столкновений.
- Кинетическое уравнение с релаксационным членом.
- Цепочка уравнений Боголюбова.
- Кинетическое уравнение Больцмана.
- Решения уравнения Больцмана в поле внешних сил. H-теорема Больцмана.
- Приближение самосогласованного поля. Уравнение Власова.

#### **Термодинамическая теория необратимых процессов**

Рассматриваются избранные вопросы феноменологической термодинамики необратимых процессов:

- Способы термодинамического описания неравновесных систем.
- Принцип локального равновесия.
- Понятие обобщённых координат, обобщённых потоков и обобщённых термодинамических сил.
- Соотношения симметрии Онсагера.
- Физические примеры использования теории Онсагера.
- Понятие обобщённой восприимчивости и соотношения Крамерса-Кронига.
- Способы описания сильно неравновесных 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. Ландау, Л.Д. Курс теоретической физики. Статистическая физика : учебное пособие / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. — 5-е изд., стер. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001. — 616 с. — ISBN 978-5-9221-0054-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. <https://elis.psu.ru/node/619858>
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
3. Жоу, Дэвид Расширенная необратимая термодинамика / Дэвид Жоу, Хосе Касас-Баскес, Джорджи Лебон ; перевод И. А. Макаров ; под редакцией П. К. Галенко. — Москва, Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. — 528 с. — ISBN 978-5-4344-0655-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/91995>
4. Дмитриев, А. В. Основы статистической физики материалов : учебник / А. В. Дмитриев. — Москва : Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2004. — 672 с. — ISBN 5-211-04830-X. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/13062>
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

### Дополнительная:

1. Журавлев, В. А. Термодинамика необратимых процессов в задачах и решениях / В. А. Журавлев. — Ижевск : Регулярная и хаотическая динамика, Институт компьютерных исследований, 2019. — 152 с. — ISBN 978-5-4344-0791-5. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/92070>
2. Щеголев И. Ф. Элементы статистической механики, термодинамики и кинетики: [учебное пособие] / И. Ф. Щеголев. -Долгопрудный: Издательский дом "Интеллект", 2008, ISBN 978-5-91559-006-8.-207.

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

<https://www.journals.elsevier.com/stochastic-processes-and-their-applications/> Открытый архив журнала "Journal of Stochastic Processes and their Applications" (издательство Elsevier)

[https://journals.aps.org/prx/subjects?subject\\_area%5B%5D=statistical](https://journals.aps.org/prx/subjects?subject_area%5B%5D=statistical) Журнал открытого доступа "Physical Review X". Статьи по статистической физике.

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

Образовательный процесс по дисциплине **Физика кинетических явлений** 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».

Дисциплина не предусматривает использование специального программного обеспечения.

При освоении материала и выполнении 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 и практических занятия занятий требуется аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

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

Для 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  
Физика кинетических явлений**

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

**ПК.1**

**Способен планировать и проводить теоретические (аналитические и имитационные) исследования и (или) научные эксперименты в избранной предметной области**

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.1.1</b> Применяет фундаментальные понятия, законы и теории современной физики</p>	<p><b>ЗНАТЬ:</b> методы анализа случайных процессов в физических системах; базовые положения термодинамической теории Онсагера; основные кинетические уравнения статистической механики. <b>УМЕТЬ:</b> выводить уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка для различных физических объектов; делать заключения о линейном отклике статистической системы на основе её обобщённой восприимчивости; строить цепочку кинетических уравнений Боголюбова в различных приближениях. <b>ВЛАДЕТЬ:</b> техникой решения стохастических уравнений со случайным воздействием аддитивного типа; способами устанавливать связи между кинетическими коэффициентами; навыками решения кинетического уравнения с релаксационным членом вместо интеграла столкновений.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает методы анализа случайных процессов в физических системах, базовые положения термодинамической теории Онсагера и основные кинетические уравнения статистической механики. Не умеет выводить уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка для различных физических объектов, делать заключения о линейном отклике статистической системы на основе её обобщённой восприимчивости и строить цепочку кинетических уравнений Боголюбова в различных приближениях. Не владеет техникой решения стохастических уравнений со случайным воздействием аддитивного типа, навыками установления связей между кинетическими коэффициентами, а также методами решения кинетического уравнения с релаксационным членом вместо интеграла столкновений.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Демонстрирует частично сформированное знание методов анализа случайных процессов в физических системах, базовых положений термодинамической теории Онсагера и основных кинетических уравнений статистической механики. Демонстрирует частично сформированное умение выводить уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка для различных физических объектов, делать заключения о линейном отклике статистической системы на основе её обобщённой восприимчивости и строить цепочку кинетических уравнений Боголюбова в различных приближениях. Демонстрирует частично сформированное</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>владение техникой решения стохастических уравнений со случайным воздействием аддитивного типа, навыками установления связей между кинетическими коэффициентами, а также методами решения кинетического уравнения с релаксационным членом вместо интеграла столкновений.</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы знание методов анализа случайных процессов в физических системах, базовых положений термодинамической теории Онсагера и основных кинетических уравнений статистической механики.</p> <p>Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы умение выводить уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка для различных физических объектов, делать заключения о линейном отклике статистической системы на основе её обобщённой восприимчивости и строить цепочку кинетических уравнений Боголюбова в различных приближениях.</p> <p>Демонстрирует сформированное, но содержащее отдельные пробелы владение техникой решения стохастических уравнений со случайным воздействием аддитивного типа, навыками установления связей между кинетическими коэффициентами, а также методами решения кинетического уравнения с релаксационным членом вместо интеграла столкновений.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Знает методы анализа случайных процессов в физических системах, базовые положения термодинамической теории Онсагера и основные кинетические уравнения статистической механики.</p> <p>Умеет выводить уравнения Ланжевена и Фоккера-Планка для различных физических объектов, делать заключения о линейном отклике статистической системы на основе её обобщённой восприимчивости и строить</p>

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
		<p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>цепочку кинетических уравнений Боголюбова в различных приближениях. Владеет техникой решения стохастических уравнений со случайным воздействием аддитивного типа, навыками установления связей между кинетическими коэффициентами, а также методами решения кинетического уравнения с релаксационным членом вместо интеграла столкновений.</p>

## 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
<b>Входной контроль</b>	Случайные процессы. Броуновское движение <b>Входное тестирование</b>	Основы термодинамики и классической статистической физики равновесных систем
<b>ПК.1.1</b> Применяет фундаментальные понятия, законы и теории современной физики	Кинетические уравнения в статистической механике <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Общее определение случайного процесса. Эргодичность случайного процесса. Марковский случайный процесс. Уравнение Смолуховского. Уравнение Фоккера-Планка. Точные решения уравнения Фоккера-Планка. Применение уравнения Фоккера-Планка для описания броуновского движения. Формула Эйнштейна. Случайные функции с независимыми приращениями. Дельта-коррелированный случайный процесс. Стохастические дифференциальные уравнения (уравнения Ланжевена).

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>ПК.1.1</b> Применяет фундаментальные понятия, законы и теории современной физики	Термодинамическая теория необратимых процессов <b>Итоговое контрольное мероприятие</b>	Термодинамическое описание неравновесных систем. Принцип локального равновесия. Обобщённые координаты, обобщённые потоки и обобщённые силы. Соотношения взаимности Онсагера. Описание термоэлектрических явлений с помощью теории Онсагера. Обобщённая восприимчивость. Способы описания сильно неравновесных систем.
<b>ПК.1.1</b> Применяет фундаментальные понятия, законы и теории современной физики	Термодинамическая теория необратимых процессов <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Фазовое пространство. Теорема Лиувилля. Уравнение Лиувилля. Общая структура кинетического уравнения для одночастичной функции распределения. Интеграл столкновений. Кинетическое уравнение с релаксационным членом. Цепочка уравнений Боголюбова. Кинетическое уравнение Больцмана. Н-теорема Больцмана. Линеаризованное уравнение Больцмана. Приближение самосогласованного поля. Уравнение Власова.

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### Случайные процессы. Броуновское движение

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
Решение каждого задания входного контроля оценивается по следующей схеме: верный ответ - 1 балл; неверный ответ - 0 баллов. Всего 6 заданий.	6

#### Кинетические уравнения в статистической механике

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**

Показатели оценивания	Баллы
<p>Решение каждого задания контрольной работы оценивается по следующей схеме: верный ответ - от 1 до 4 баллов в зависимости от сложности задания; неверный ответ - 0 баллов.</p> <p>Здесь указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие.</p> <p>Итоговые баллы в рейтинг по 100-балльной шкале рассчитывает ЕТИС согласно вкладу (40%) контрольного мероприятия в итоговую оценку.</p>	8

### Термодинамическая теория необратимых процессов

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

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

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **10**

Показатели оценивания	Баллы
<p>Решение каждого задания контрольной работы оценивается по следующей схеме: верный ответ - от 1 до 4 баллов в зависимости от сложности задания; неверный ответ - 0 баллов.</p> <p>Здесь указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие.</p> <p>Итоговые баллы в рейтинг по 100-балльной шкале рассчитывает ЕТИС согласно вкладу (20%) контрольного мероприятия в итоговую оценку.</p>	8

### Термодинамическая теория необратимых процессов

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**

Показатели оценивания	Баллы
<p>Решение каждого задания контрольной работы оценивается по следующей схеме: верный ответ - от 1 до 4 баллов в зависимости от сложности задания; неверный ответ - 0 баллов.</p> <p>Здесь указаны критерии получения первичных баллов за контрольное мероприятие.</p> <p>Итоговые баллы в рейтинг по 100-балльной шкале рассчитывает ЕТИС согласно вкладу (40%) контрольного мероприятия в итоговую оценку.</p>	8