

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

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

**Кафедра теоретической физики**

Авторы-составители: **Демин Виталий Анатольевич  
Марценюк Михаил Андреевич  
Голдобин Денис Сергеевич**

Рабочая программа дисциплины

**ФИЗИЧЕСКАЯ КИНЕТИКА**

Код УМК 57533

Утверждено  
Протокол №6  
от «04» июня 2021 г.

Пермь, 2021

## **1. Наименование дисциплины**

Физическая кинетика

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

Дисциплина входит в обязательную 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 **Физическая кинетика** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

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

**ОПК.3** Способен применять базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности, в том числе педагогической деятельности, для проведения научных исследований, анализа объектов, систем, процессов, явлений и методов, их экспериментального и теоретического (включая построение их качественных и количественных моделей) изучения и для использования полученных результатов на практике

##### **Индикаторы**

**ОПК.3.2** Понимает физические методы теоретического и экспериментального изучения систем, явлений и процессов в природе и применяет их на практике

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

##### **Индикаторы**

**ПК.1.1** Осваивает новые теоретические и экспериментальные методы исследования

#### 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>	28
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	14
<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

### Физическая кинетика. Первый семестр

#### Основные понятия макроскопической кинетики

##### Неравновесные состояния и процессы.

Введение. Предмет кинетики. Микро-, макро- и мезо- уровни описания больших систем. Понятие о равновесных и неравновесных состояниях термодинамической системы. Время релаксации к равновесию. Диссипативные процессы.

##### Диффузия. Теплопроводность. Вязкость.

Линейные процессы переноса: диффузия, теплопроводность, вязкость, электропроводность. Примеры. Кинетические коэффициенты.

Диффузия. Понятие о локальной концентрации и плотности потока вещества. Основное феноменологическое соотношение линейной теории диффузии. Коэффициент диффузии. Вывод основного уравнения диффузии (уравнения Фика) на основе закона сохранения вещества и основного феноменологического соотношения теории диффузии. Оценка диффузионного времени выравнивания. Вывод основного уравнения теории теплопроводности (уравнения Фурье) на основе закона сохранения энергии и основного феноменологического соотношения теории теплопроводности. Оценка времени выравнивания температуры. Оценка расстояния, на которое распространяются температурные волны.

##### Феноменологическая теория объемной вязкости. Теория Мандельштама-Леонтовича

Распространение звука в жидкости. Диссипативные механизмы поглощения звука. Качественное объяснение механизма дисперсии поглощения звука при наличии в газе процесса релаксации внутренних макроскопических степеней свободы на основе теории Мандельштама-Леонтовича. Понятие о неполном равновесии системы. Расчет дисперсии поглощения звука при наличии процесса релаксации внутренней макроскопической степени свободы.

##### Перекрестные явления. Термодиффузия. Термоэлектричество. Теорема Онсагера.

Абстрактная запись линейной зависимости между потоками и градиентами. Термодинамические силы и термодинамические потоки. Перекрестные явления переноса. Принцип симметрии кинетических коэффициентов Онсагера. Пример: термоЭДС.

Вывод закона теплопередачи для плоского слоя. Коэффициент теплосопrotivления. Вывод интегральной формы закона Ома.

#### Кинетика газов. Уравнение Больцмана.

##### Диффузия в растворах электролитов. Электрофорез.

Диссоциация. Подвижность ионов и проводимость электролитов. Особенности диффузии в сильных и слабых электролитах.

##### Кинетические явления в анизотропных средах.

Диффузия и теплопроводность в кристаллах. Тензор коэффициентов диффузии. Тензор теплопроводности.

##### Кинетическое уравнение Больцмана. H-теорема.

Механическое, кинетическое и гидродинамическое описание состояния газа. Связь между ними. Фазовое пространство. Функция распределения. Число столкновений между молекулами газа, отнесенное к единице объема и к единице времени. Связь функции W с эффективным сечением столкновений. Принцип детального равновесия.

Вывод уравнения Больцмана кинетической теории газов. Равновесное решение уравнения Больцмана.

Статистический вес макроскопического состояния. Энтропия и статистический вес. Вывод формулы для энтропии неравновесного состояния газа (через функцию распределения). Закон возрастания энтропии изолированной системы. H-теорема Больцмана (доказательство возрастания энтропии газа на основе уравнения Больцмана).

### **Вычисление кинетических коэффициентов газа на основе решений уравнения Больцмана.**

Вычисление коэффициента теплопроводности газа на основе уравнения Больцмана.

а) локально-равновесная функция распределения; б) вывод уравнения для неравновесной добавки к локально-равновесной функции распределения; в) вычисление коэффициента теплопроводности по известному решению уравнения Больцмана.

Вычисление коэффициента сдвиговой вязкости газа на основе уравнения Больцмана. а) локально-равновесная функция распределения; б) вывод уравнения для неравновесной добавки к локально-равновесной функции распределения; в) вычисление коэффициента сдвиговой вязкости по известному решению уравнения Больцмана.

Понятие о вариационном методе решения линеаризованного кинетического уравнения Больцмана.

Схема вычисления кинетических коэффициентов через матричные элементы интеграла столкновений.

### **Уравнение Фоккера-Планка. Случайные процессы**

#### **Кинетика плотных газов и жидкостей. Уравнение Фоккера-Планка.**

Случайные процессы. Корреляционная функция. Время корреляции. Белый шум. Марковские процессы.

Диссипативная функция. Обобщенная восприимчивость. Соотношения Крамерса-Кронига.

Флуктуационно-диссипативная теорема. Уравнение Ланжевена. Уравнение Фоккера-Планка.

#### **Кинетика однодоменных магнитных частиц.**

Магнитные жидкости. S-диполи и A-диполи. Вращательная диффузия. Релаксация намагничённости магнитной суспензии. Магнитная вязкость. Квантовая кинетика. Квантовое кинетическое Уравнение Паули. Случайные квантовые процессы. Уравнение Блоха ядерной магнитной релаксации. Понятие о синергетике. Неравновесные фазовые переходы.

## **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. 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
2. Прудников, В.В. Термодинамика, статистическая физика и физическая кинетика : учебное пособие / В.В. Прудников, П.В. Прудников, М.В. Мамонова. — Омск : ОмГУ, 2018. — 40 с. — ISBN 978-5-7779-2148-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. <https://elis.psu.ru/node/619861>

### Дополнительная:

1. Чернов, А. В. Кинетические уравнения физических систем с хаотическим внутренним строением : монография / А. В. Чернов. — Саров : Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 2009. — 214 с. — ISBN 978-5-9515-0108-0. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/60850>
2. Жиганов С. Н. Анализ динамических систем: Учебное пособие / Жиганов С. Н. - Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2018, ISBN 978-5-4486-0085-2. - 202. <http://www.iprbookshop.ru/72794.html>
3. 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> Электронные ресурсы Научной библиотеки ПГНИУ

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

Образовательный процесс по дисциплине **Физическая кинетика** 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 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  
Физическая кинетика**

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

**ОПК.3**

**Способен применять базовые знания в области математики, физики и других наук в профессиональной деятельности, в том числе педагогической деятельности, для проведения научных исследований, анализа объектов, систем, процессов, явлений и методов, их экспериментального и теоретического (включая построение их качественных и количественных моделей) изучения и для использования полученных результатов на практике**

<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Планируемые результаты обучения</b>	<b>Критерии оценивания результатов обучения</b>
<p><b>ОПК.3.2</b> Понимает физические методы теоретического и экспериментального изучения систем, явлений и процессов в природе и применяет их на практике</p>	<p>Знать элементарные подходы к описанию неравновесных состояний и процессов. Уметь строить феноменологическое описание диффузии, теплопроводности, вязкости. Владеть навыками анализа перекрестных явлений, определения термодинамических сил и потоков.</p>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает элементарные подходы к описанию неравновесных состояний и процессов. Не умеет строить феноменологическое описание диффузии, теплопроводности, вязкости. Не владеет навыками анализа перекрестных явлений, определения термодинамических сил и потоков.</p> <p align="center"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания элементарных подходов к описанию неравновесных состояний и процессов. Частично сформированное умение строить феноменологическое описание диффузии, теплопроводности, вязкости. Имеет представление о принципах анализа перекрестных явлений, определения термодинамических сил и потоков.</p> <p align="center"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания элементарных подходов к описанию неравновесных состояний и процессов. В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение строить феноменологическое описание диффузии, теплопроводности, вязкости. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет навыками анализа перекрестных явлений, определения термодинамических сил и потоков.</p> <p align="center"><b>Отлично</b></p> <p>Сформированные систематические знания</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>элементарных подходов к описанию неравновесных состояний и процессов. Сформированное умение строить феноменологическое описание диффузии, теплопроводности, вязкости. Систематическое применение навыков анализа перекрестных явлений, определения термодинамических сил и потоков.</p>

### ПК.1

#### Способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.1.1</b> Осваивает новые теоретические и экспериментальные методы исследования</p>	<p>Знать основные физические положения и математические методы микроскопической кинетики. Уметь описывать случайные процессы. Владеть подходами к исследованию и решению кинетических уравнений Больцмана и Фоккера-Планка.</p>	<p style="text-align: center;"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает основные физические положения и математические методы микроскопической кинетики. Не умеет описывать случайные процессы. Не владеет подходами к исследованию и решению кинетических уравнений Больцмана и Фоккера-Планка</p> <p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Общие, но не структурированные знания основных физических положений и математических методов микроскопической кинетики. Демонстрирует частично сформированное умение описывать случайные процессы. Имеет представление о подходах к исследованию и решению кинетических уравнений Больцмана и Фоккера-Планка</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных физических положений и математических методов микроскопической кинетики. В целом успешные, но содержащие отдельные пробелы умения описывать случайные процессы. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет подходами к исследованию и решению кинетических уравнений Больцмана и Фоккера-Планка</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></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>Сформированные систематические знания основных физических положений и математических методов микрокинетической кинетики. Сформированное умение описывать случайные процессы. Успешное и систематическое применение подходов к исследованию и решению кинетических уравнений Больцмана и Фоккера-Планка</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 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>Входной контроль</b>	Неравновесные состояния и процессы. <b>Входное тестирование</b>	Термодинамическое описание равновесных состояний и процессов
<b>ОПК.3.2</b> Понимает физические методы теоретического и экспериментального изучения систем, явлений и процессов в природе и применяет их на практике	Перекрестные явления. Термодиффузия. Термоэлектричество. Теорема Онсагера. <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Знание базовых понятий макроскопической кинетики, умение описывать явления диффузии, вязкости и теплопроводности, перекрестные явления, владение применением теоремы Онсагера
<b>ПК.1.1</b> Осваивает новые теоретические и экспериментальные методы исследования	Вычисление кинетических коэффициентов газа на основе решений уравнения Больцмана. <b>Письменное контрольное мероприятие</b>	Знание подходов к описанию диффузии в электролитах, кинетических явлений в анизотропных средах. Умение вычислять кинетические коэффициенты систем на основе решений уравнения Больцмана.
<b>ПК.1.1</b> Осваивает новые теоретические и экспериментальные методы исследования	Кинетика однодоменных магнитных частиц. <b>Итоговое контрольное мероприятие</b>	Знание положений кинетики плотных газов и жидкостей, умение работать с уравнением Фоккера-Планка и его решениями. Владение методами физической кинетики при описании систем однодоменных магнитных частиц.

### Спецификация мероприятий текущего контроля

#### Неравновесные состояния и процессы.

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

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

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

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Термодинамические потенциалы	5
Флуктуации термодинамических величины	5
Свойства идеального газа	5
Свойства статистических распределений.	5

**Перекрестные явления. Термодиффузия. Термоэлектричество. Теорема Онсагера.**

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Теорема Онсагера	7
Модели диффузии, вязкости, теплопроводности	6
Феноменологическое описание перекрестных явлений	6
Методы макроскопической кинетики	6
Элементарная теория неравновесных состояний и процессов	5

**Вычисление кинетических коэффициентов газа на основе решений уравнения Больцмана.**

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

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

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

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Базовые приемы вычисления кинетических коэффициентов	7
Описание диффузии в электролитах	6
Знание подходов к описанию кинетических явлений в анизотропных средах.	6
Построение решений уравнения Больцмана	6
Знание свойств кинетических коэффициентов	5

**Кинетика однодоменных магнитных частиц.**

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

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

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

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
Вывод уравнения Фоккера-Планка.	10

Анализ простейших решений уравнения Фоккера-Планка.	9
Описание кинетики однодоменных частиц	8
Свойства однодоменных частиц	7
Описание взаимодействия частиц в плотных газах и жидкостях	6