

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное 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 «08» июня 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Физическая кинетика

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 **Физическая кинетика** 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

Направления подготовки	03.03.02 Физика (направленность: Фундаментальная физика)
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
Проведение лабораторных работ, занятий по иностранному языку	0
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

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 аудиторные 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).

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
Физическая кинетика**

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

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p>	<p>Знать: основные физические положения и математические методы макроскопической и микроскопической кинетики. Уметь: находить соответствие между кинетическими явлениями и коэффициентами по теореме Онсагера, описывать перекрёстные явления, случайные процессы. Владеть: методами описания макроскопических кинетических явлений и подходами к исследованию и решению кинетических уравнений Больцмана и Фоккера-Планка</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не знает основные физические положения и математические методы макроскопической и микроскопической кинетики. Не умеет находить соответствие между кинетическими явлениями и коэффициентами по теореме Онсагера, описывать перекрёстные явления, случайные процессы. Не владеет методами описания макроскопических кинетических явлений и подходами к исследованию и решению кинетических уравнений Больцмана и Фоккера-Планка</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания основных физических положений и математических методов макроскопической и микроскопической кинетики. Демонстрирует частично сформированное умение находить соответствие между кинетическими явлениями и коэффициентами по теореме Онсагера, описывать перекрёстные явления, случайные процессы. Имеет представление о методах описания макроскопических кинетических явлений и подходах к исследованию и решению кинетических уравнений Больцмана и Фоккера-Планка</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных физических положений и математических методов макроскопической и микроскопической кинетики. В целом успешные, но содержащие</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>отдельные пробелы умения находить соответствие между кинетическими явлениями и коэффициентами по теореме Онсагера, описывать перекрёстные явления, случайные процессы. В целом успешно, но с отдельными пробелами владеет методами описания макроскопических кинетических явлений и подходами к исследованию и решению кинетических уравнений Больцмана и Фоккера-Планка</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания основных физических положений и математических методов макроскопической и микроскопической кинетики. Сформированное умение находить соответствие между кинетическими явлениями и коэффициентами по теореме Онсагера, описывать перекрёстные явления, случайные процессы. Успешное и систематическое применение методов описания макроскопических кинетических явлений и подходов к исследованию и решению кинетических уравнений Больцмана и Фоккера-Планка</p>
<p>ОПК.7 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач</p>	<p>Знать базовые 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 style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> <p>Не знает базовые 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 style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Общие, но не структурированные знания базовых 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>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания базовых 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 style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Сформированные систематические знания базовых 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>

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	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Неравновесные состояния и процессы. Входное тестирование	Термодинамическое описание равновесных состояний и процессов
ПК.1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин ОПК.7 способность использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	Перекрестные явления. Термодиффузия. Термоэлектричество. Теорема Онсагера. Письменное контрольное мероприятие	Знание базовых понятий макроскопической кинетики, умение описывать явления диффузии, вязкости и теплопроводности, перекрестные явления, владение применением теоремы Онсагера
ПК.1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Вычисление кинетических коэффициентов газа на основе решений уравнения Больцмана. Письменное контрольное мероприятие	Знание подходов к описанию диффузии в электролитах, кинетических явлений в анизотропных средах. Умение вычислять кинетические коэффициенты систем на основе решений уравнения Больцмана.

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ПК.1 способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин	Кинетика однодоменных магнитных частиц. Итоговое контрольное мероприятие	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, выставляемый 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, выставляемый 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, выставляемый 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, выставляемый 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