

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор по образовательной  
деятельности

\_\_\_\_\_ С.Т. Князев  
«\_\_» \_\_\_\_\_

### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1164409	Неравновесные процессы в материальных средах

Екатеринбург

Перечень сведений о рабочей программе модуля	Учетные данные
<b>Образовательная программа</b> 1. Физика	<b>Код ОП</b> 1. 03.03.02/33.01
<b>Направление подготовки</b> 1. Физика	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 03.03.02

Программа модуля составлена авторами:

№ п/п	Фамилия Имя Отчество	Ученая степень, ученое звание	Должность	Подразделение
1	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико-математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Е.С. Комарова

# 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ **Неравновесные процессы в материальных средах**

## 1.1. Аннотация содержания модуля

В модуль входят дисциплины «Кинетическая теория газов», «Кинетические явления в полупроводниках», «Теплофизика», «Физика поверхности», «Физика твердого тела». В модуле изучаются теплофизические свойства твердого тела, жидкости и газа, методы экспериментального и теоретического исследования равновесных и неравновесных свойств веществ и тепловых процессов. Обсуждаются различные механизмы теплообмена. Модуль дает представление о структуре и свойствах веществ в конденсированной и плотной газообразной фазах, об особенностях жидкого состояния вещества, изучаются методы и подходы описания жидкого состояния, основанные на использовании частичных функций распределения и корреляционных функций. Дисциплина «Кинетическая теория газов» дает представление о процессах переноса и релаксации в разреженных газах на основе законов движения и взаимодействия молекул. Дисциплина «Кинетические явления в полупроводниках» формирует знания зонной теории полупроводников, рассматривает влияние дефектов и примеси на зонную структуру, изучает механизмы рассеяния носителей заряда, явления переноса, изучает магнитные квантовые эффекты. Цель дисциплины «Физика поверхности» заключается в формировании у студентов качественных и количественных представлений о явлениях, происходящих на поверхности раздела фаз газ – твердое тело. На основе анализа экспериментальных данных, используя современные методы теоретической физики, рассматриваются основные законы и уравнения, используемые при описании процессов, происходящих на межфазной границе газ-твердое тело. Дисциплина «Физика твердого тела» помогает студентам овладеть методами решения физических задач физики твердого тела, навыками проведения физико-математического моделирования свойств кристаллов с использованием современных компьютерных технологий. В рамках курса «Теплофизика» будут изучены теплофизические свойства твердого тела, жидкости и газа, методы экспериментального и теоретического исследования равновесных и неравновесных свойств веществ и тепловых процессов. Обсуждаются различные механизмы теплообмена.

## 1.2. Структура и объем модуля

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Кинетические явления в полупроводниках	3
2	Физика поверхности	2
3	Кинетическая теория газов	3
4	Теплофизика	4
5	Физика твердого тела	4
ИТОГО по модулю:		16

## 1.3. Последовательность освоения модуля в образовательной программе

<b>Пререквизиты модуля</b>	1. <a href="#">Общая физика</a> 2. <a href="#">Теоретическая физика</a>
<b>Постреквизиты и кореквизиты модуля</b>	Не предусмотрены

#### 1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю

Таблица 2

<b>Перечень дисциплин модуля</b>	<b>Код и наименование компетенции</b>	<b>Планируемые результаты обучения (индикаторы)</b>
1	2	3
<a href="#">Кинетическая теория газов</a>	<a href="#">УК-1 - Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач, в том числе в цифровой среде</a>	<p><a href="#">3-2 - Излагать принципы системного исследования объектов мира и процессов познания, закономерностей развития природы и общества и его роль в развитии научного, технического и практически-ориентированного знания</a></p> <p><a href="#">3-4 - Излагать принципы системного подхода к исследованию закономерностей и этапов общественного развития и его роль в развитии исторического знания</a></p> <p><a href="#">3-10 - Демонстрировать понимание научной, в том числе физической, картины мира, с позиций системного подхода к познанию важнейших принципов и общих законов, лежащих в основе окружающего мира</a></p> <p><a href="#">У-11 - Анализировать, сопоставлять и систематизировать информацию, выводить умозаключения, опираясь на законы логики, и правильно формулировать суждения для решения поставленных задач</a></p> <p><a href="#">П-4 - Предлагать пути решения поставленных задач, опираясь на философский анализ закономерностей и тенденций развития природы, общества, в том числе глобальной цифровизации, и познания</a></p> <p><a href="#">П-7 - Иметь опыт разработки вариантов решения поставленных задач, совершая мыслительные процедуры и операции в</a></p>

		<p>соответствии с законами логики и правилами мышления</p> <p>Д-1 - Проявлять способность к логическому и критическому мышлению</p>
	<p>ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности</p>	<p>З-1 - Демонстрировать понимание основных закономерностей, законов, теорий математики, их взаимосвязь с другими дисциплинами</p> <p>З-2 - Интерпретировать основные теоретические положения фундаментальных разделов естественных наук, необходимые для освоения компетенций по профилю деятельности</p> <p>У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики</p> <p>П-1 - Демонстрировать навыки применения простейших математических теорий и моделей для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>Д-1 - Демонстрировать навыки самообразования</p>
	<p>ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния</p>	<p>З-1 - Знать основные методы теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> <p>П-1 - Предлагать использование методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач</p>
<p>Кинетические явления в полупроводниках</p>	<p>УК-1 - Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач, в</p>	<p>З-3 - Объяснять основные принципы критического мышления, методы анализа и оценки достижений современной цивилизации, включая достижения глобальной цифровизации</p> <p>З-9 - Демонстрировать понимание смысла построения логических формализованных систем, своеобразие системного подхода к</p>

<p>том числе в цифровой среде</p>	<p>изучению мышления по сравнению с другими науками</p> <p>У-4 - Самостоятельно вырабатывать технологии критического мышления как способа противодействия неконструктивному коммуникативному и социальному влиянию</p> <p>У-7 - Оценивать достижения современной цивилизации, основные тенденции общественного и научно-технического развития и глобальной цифровизации, используя методы критического анализа</p> <p>У-11 - Анализировать, сопоставлять и систематизировать информацию, выводить умозаключения, опираясь на законы логики, и правильно формулировать суждения для решения поставленных задач</p> <p>П-2 - Определять пути решения поставленных задач, в том числе в цифровой среде, опираясь на методики поиска, системного анализа и коррекции информации</p> <p>П-5 - Предлагать пути решения актуальных проблем с опорой на собственную нравственную и гражданскую позицию, критический анализ и оценку ключевых современных политических и исторических процессов, событий и явлений</p> <p>Д-1 - Проявлять способность к логическому и критическому мышлению</p>	<p>изучению мышления по сравнению с другими науками</p> <p>У-4 - Самостоятельно вырабатывать технологии критического мышления как способа противодействия неконструктивному коммуникативному и социальному влиянию</p> <p>У-7 - Оценивать достижения современной цивилизации, основные тенденции общественного и научно-технического развития и глобальной цифровизации, используя методы критического анализа</p> <p>У-11 - Анализировать, сопоставлять и систематизировать информацию, выводить умозаключения, опираясь на законы логики, и правильно формулировать суждения для решения поставленных задач</p> <p>П-2 - Определять пути решения поставленных задач, в том числе в цифровой среде, опираясь на методики поиска, системного анализа и коррекции информации</p> <p>П-5 - Предлагать пути решения актуальных проблем с опорой на собственную нравственную и гражданскую позицию, критический анализ и оценку ключевых современных политических и исторических процессов, событий и явлений</p> <p>Д-1 - Проявлять способность к логическому и критическому мышлению</p>
<p>ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности</p>	<p>3-2 - Интерпретировать основные теоретические положения фундаментальных разделов естественных наук, необходимые для освоения компетенций по профилю деятельности</p> <p>У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики</p> <p>П-1 - Демонстрировать навыки применения простейших математических теорий и моделей для решения задач профессиональной деятельности</p>	<p>3-2 - Интерпретировать основные теоретические положения фундаментальных разделов естественных наук, необходимые для освоения компетенций по профилю деятельности</p> <p>У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики</p> <p>П-1 - Демонстрировать навыки применения простейших математических теорий и моделей для решения задач профессиональной деятельности</p>

		<p>П-2 - Демонстрировать навыки использования основных естественнонаучных законов, теорий и принципов в важнейших практических приложениях</p> <p>Д-1 - Демонстрировать навыки самообразования</p>
	<p>ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния</p>	<p>З-1 - Знать основные методы теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> <p>П-1 - Предлагать использование методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач</p>
Теплофизика	<p>УК-1 - Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач, в том числе в цифровой среде</p>	<p>З-2 - Излагать принципы системного исследования объектов мира и процессов познания, закономерностей развития природы и общества и его роль в развитии научного, технического и практически-ориентированного знания</p> <p>З-9 - Демонстрировать понимание смысла построения логических формализованных систем, своеобразие системного подхода к изучению мышления по сравнению с другими науками</p> <p>У-2 - Критически анализировать информацию, формировать собственное мнение и формулировать аргументы для защиты своей позиции</p> <p>У-5 - Критически оценивать надежность источников информации в условиях неопределенности и избытка/недостатка информации для решения поставленных задач, в том числе в цифровой среде</p> <p>П-2 - Определять пути решения поставленных задач, в том числе в цифровой среде, опираясь на методики</p>

		<p>поиска, системного анализа и коррекции информации</p> <p>П-4 - Предлагать пути решения поставленных задач, опираясь на философский анализ закономерностей и тенденций развития природы, общества, в том числе глобальной цифровизации, и познания</p> <p>П-8 - Иметь опыт поиска и обобщения научного материала, опираясь на системный анализ процессов и явлений природы и окружающей среды, для решения поставленных задач</p> <p>Д-3 - Демонстрировать аналитические умения и критическое мышление, любознательность</p>
	<p>ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности</p>	<p>З-2 - Интерпретировать основные теоретические положения фундаментальных разделов естественных наук, необходимые для освоения компетенций по профилю деятельности</p> <p>У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики</p> <p>П-1 - Демонстрировать навыки применения простейших математических теорий и моделей для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>П-2 - Демонстрировать навыки использования основных естественнонаучных законов, теорий и принципов в важнейших практических приложениях</p> <p>Д-1 - Демонстрировать навыки самообразования</p>
	<p>ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений,</p>	<p>З-1 - Знать основные методы теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> <p>П-1 - Предлагать использование методов теоретических и экспериментальных</p>



	<p>медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния</p>	<p>физических исследований при решении поставленных задач</p>
	<p>ПК-2 - Способен создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p>	<p>З-1 - Сделать обзор основных методов физического, математического и алгоритмического моделирования, применимых для формализации и решения задач в области профессиональной деятельности</p> <p>У-1 - Определять оптимальные методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении задач в области профессиональной деятельности</p> <p>П-1 - Предлагать и разрабатывать методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении поставленных задач в области профессиональной деятельности</p>
<p>Физика поверхности</p>	<p>УК-1 - Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач, в том числе в цифровой среде</p>	<p>З-2 - Излагать принципы системного исследования объектов мира и процессов познания, закономерностей развития природы и общества и его роль в развитии научного, технического и практически-ориентированного знания</p> <p>З-9 - Демонстрировать понимание смысла построения логических формализованных систем, своеобразии системного подхода к изучению мышления по сравнению с другими науками</p> <p>З-10 - Демонстрировать понимание научной, в том числе физической, картины мира, с позиций системного подхода к познанию важнейших принципов и общих законов, лежащих в основе окружающего мира</p> <p>У-3 - Определять достоверность и обоснованность выводов, выявлять и анализировать типовые ошибки в рассуждениях и когнитивные искажения в работе с информацией</p> <p>У-6 - Выявлять проблемы современного общества, осмыслять место человека в нём, определять познавательные возможности</p>

		<p>человека при решении поставленных задач, используя методологию системного подхода</p> <p>П-1 - Выявлять и анализировать проблемную ситуацию, выделяя ее структурные составляющие и связи между ними</p> <p>П-8 - Иметь опыт поиска и обобщения научного материала, опираясь на системный анализ процессов и явлений природы и окружающей среды, для решения поставленных задач</p> <p>Д-1 - Проявлять способность к логическому и критическому мышлению</p>
	<p>ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности</p>	<p>З-2 - Интерпретировать основные теоретические положения фундаментальных разделов естественных наук, необходимые для освоения компетенций по профилю деятельности</p> <p>У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики</p> <p>У-2 - Анализировать результаты наблюдений и экспериментов с использованием знаний фундаментальных разделов естественных наук и объективных законов природы</p> <p>П-1 - Демонстрировать навыки применения простейших математических теорий и моделей для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>Д-1 - Демонстрировать навыки самообразования</p>
	<p>ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики</p>	<p>З-1 - Знать основные методы теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> <p>П-1 - Предлагать использование методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач</p>

	конденсированного состояния	
Физика твердого тела	УК-1 - Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач, в том числе в цифровой среде	<p>З-2 - Излагать принципы системного исследования объектов мира и процессов познания, закономерностей развития природы и общества и его роль в развитии научного, технического и практически-ориентированного знания</p> <p>З-9 - Демонстрировать понимание смысла построения логических формализованных систем, своеобразии системного подхода к изучению мышления по сравнению с другими науками</p> <p>З-11 - Сделать обзор методов анализа и осмысления научных знаний о процессах и явлениях природы и окружающей среды, ее сохранении, месте и роли человека в природе</p> <p>У-2 - Критически анализировать информацию, формировать собственное мнение и формулировать аргументы для защиты своей позиции</p> <p>У-12 - Распознавать и описывать природные объекты, выявлять основные признаки материальных и нематериальных систем и причинно-следственные связи в процессах и явлениях природы и окружающей среды, используя методы критического и системного анализа</p> <p>П-1 - Выявлять и анализировать проблемную ситуацию, выделяя ее структурные составляющие и связи между ними</p> <p>Д-1 - Проявлять способность к логическому и критическому мышлению</p>
	ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности	<p>З-2 - Интерпретировать основные теоретические положения фундаментальных разделов естественных наук, необходимые для освоения компетенций по профилю деятельности</p> <p>У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики</p>

		<p>У-2 - Анализировать результаты наблюдений и экспериментов с использованием знаний фундаментальных разделов естественных наук и объективных законов природы</p> <p>П-1 - Демонстрировать навыки применения простейших математических теорий и моделей для решения задач профессиональной деятельности</p> <p>П-2 - Демонстрировать навыки использования основных естественнонаучных законов, теорий и принципов в важнейших практических приложениях</p> <p>Д-1 - Демонстрировать навыки самообразования</p>
	<p>ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния</p>	<p>З-1 - Знать основные методы теоретических и экспериментальных физических исследований</p> <p>У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p> <p>П-1 - Предлагать использование методов теоретических и экспериментальных физических исследований при решении поставленных задач</p>
	<p>ПК-2 - Способен создавать математические модели типовых профессиональных задач и интерпретировать полученные результаты с учетом границ применимости моделей</p>	<p>З-1 - Сделать обзор основных методов физического, математического и алгоритмического моделирования, применимых для формализации и решения задач в области профессиональной деятельности</p> <p>У-1 - Определять оптимальные методы физического, математического и алгоритмического моделирования при решении задач в области профессиональной деятельности</p> <p>П-1 - Предлагать и разрабатывать методы физического, математического и алгоритмического моделирования при</p>

		решении поставленных задач в области профессиональной деятельности
--	--	--

### **1.5. Форма обучения**

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Кинетические явления в полупроводниках**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Германенко Александр Викторович	доктор физико- математических наук, доцент	Заведующий кафедрой	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем
2	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 7 от 29.09.2023 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Германенко Александр Викторович, Заведующий кафедрой, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
- Тебеньков Александр Владимирович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	История. Основные свойства полупроводников	История открытия полупроводников. Ранние исследования. Основные свойства полупроводников. Применение полупроводников в науке и технике. Классификация полупроводников (по составу, по ширине запрещенной зоны, разделение на прямозонные и непрямозонные материалы, по магнитным свойствам).
P2	Спектр полупроводников. Зонная структура	Элементы зонной теории. Формулировка общей квантово-механической задачи. Роль кулоновского взаимодействия в формировании спектра. Адиабатическое приближение и его применимость. Одноэлектронное приближение. Простейшие модели: одномерный ящик и модель Кронига-Пенни. Теорема Блоха. Предсказания моделей и их соответствие реальной ситуации. Зонный характер спектра в модели Кронига-Пенни. Волновая функция электрона в периодическом потенциале. Форма краев зон. Характер движения электрона в периодическом потенциале (движение во внешнем электрическом поле). Понятие групповой скорости. Эффективная масса. Типы зонной структуры в кристаллических телах: металлы, полуметаллы, диэлектрики. Зонная структура конкретных полупроводников: германий, кремний, полупроводники со структурой цинковой обманки. Бесщелевые и узкозонные полупроводники. Полуметаллы.

		Модель Кейна (характерные особенности и различные предельные случаи). Модель Латтинжера. Лёгкие и тяжёлые дырки. Энергетический спектр твердых растворов на HgCdTe и их магнитных аналогов HgMnTe. Влияние одноосного и всестороннего сжатия на спектр носителей.
<b>P3</b>	Дефекты в полупроводниках	Энергетический спектр реальных полупроводников. Классификация дефектов. Различные виды дефектов (примеси замещения, внедрения, вакансии, наличие границы). Мелкие примесные уровни (водородоподобная примесь). Спектр и волновые функции мелких донорных и акцепторных состояний. Спектр слабо- и сильнолегированных полупроводников. Переход Мотта.
<b>P4</b>	Статистика полупроводников	Статистика полупроводников. Распределение Ферми-Дирака. Уровень Ферми. Вырожденный и невырожденный электронный газ. Плотность состояний. Плотность состояний в анизотропной зоне. Эффективная масса плотности состояний. Концентрация носителей заряда в зонах и на локальных уровнях. Интегралы Ферми. Решение уравнения электронейтральности для собственного полупроводника. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике. Решение уравнения электронейтральности в полупроводнике с одним типом однозарядных доноров. Температурная зависимость концентрации электронов в полупроводнике с одним типом однозарядных доноров. Решение уравнения электронейтральности и температурная зависимость концентрации электронов при одновременном наличии донорной и акцепторной примеси.
<b>P5</b>	Явления переноса	Явления электронного переноса. Электропроводность. Подвижность. Транспортное время релаксации импульса. Закон Ома в анизотропных полупроводниках. “Дрейфовая” эффективная масса. Эффект Холла (один тип носителей, двигающихся с одинаковой скоростью, малые магнитные поля). Характер движения электронов и дырок в скрещенных электрическом и магнитном полях. Тензор электропроводности, эффект Холла и магнитосопротивление в произвольном магнитном поле. Эффект Холла и магнитосопротивление для двух типов носителей заряда – электронов и дырок. Температурная и магнитополевая зависимость коэффициента Холла.
<b>P6</b>	Уравнение Больцмана	Уравнение Больцмана. Правило усреднения времени релаксации импульса. Эффект Холла и магнитосопротивление для невырожденного и вырожденного электронного газа. Холл-фактор. Коэффициент магнитосопротивления. Время релаксации и вероятность квантовых переходов. Рассеяние на ионизированной примеси. Зависимость времени релаксации от энергии для различных механизмов рассеяния. Температурная зависимость подвижности.
<b>P7</b>	Магнитные квантовые эффекты	Магнитные квантовые эффекты. Энергетический спектр электронов и дырок в магнитном поле. Плотность состояний. Учет спина. Осцилляции Шубникова-де Гааза. Условия наблюдения. Определение концентрации и эффективной массы



		из осцилляций Шубникова-де Газа. Магнитофонный резонанс (МФР). Определение эффективной массы из МФР. Межзонное и примесное магнитное вымораживание носителей. Циклотронный резонанс (классическое рассмотрение).
--	--	--

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	профориентационная деятельность	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Кинетические явления в полупроводниках

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Бонч-Бруевич, В. Л.; Физика полупроводников; Наука, Москва; 1977; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483346> (Электронное издание)
2. Киттель, Ч., Ч.; Введение в физику твердого тела; Наука, Москва; 1978; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483361> (Электронное издание)
3. Займан, Д., Д.; Принципы теории твердого тела; Мир, Москва; 1974; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483413> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Бонч-Бруевич, В. Л.; Физика полупроводников; Наука, Москва; 1990 (18 экз.)
2. Киттель, Ч., Гусев, А. А., Пахнев, А. В.; Введение в физику твердого тела; Наука, Москва; 1978 (53 экз.)

3. Займан, Дж. М., Бонч-Бруевич, В. Л.; Принципы теории твердого тела : Пер. со 2-го англ. изд.; Мир, Москва; 1974 (26 экз.)

4. Шалимова, К. В.; Физика полупроводников : Учебник для вузов по специальности "Полупроводниковые и микроэлектрон. приборы"; Энергоатомиздат, Москва; 1985 (9 экз.)

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

1. Электронная научная библиотека <https://elibrary.ru>
2. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
3. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Кинетические явления в полупроводниках**

**Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

<b>№ п/п</b>	<b>Виды занятий</b>	<b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения</b>
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		<p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	
3	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	<b>Не требуется</b>
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p>	<b>Не требуется</b>

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Физика поверхности**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Поликарпов Филипп Джонович	без ученой степени, без ученого звания	Старший преподаватель	департамент фундаментальной и прикладной физики
2	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико-математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 7 от 29.09.2023 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Поликарпов Филипп Джонович, Старший преподаватель, департамент фундаментальной и прикладной физики
- Тебеньков Александр Владимирович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	Предмет науки о физике поверхности. Роль поверхности в различных физико-химических процессах. Основные этапы в истории развития физики поверхности.
P2	Силы взаимодействия между атомами и поверхностью	Силы Ван-дер-Ваальса. Выражение для энергий взаимодействия в случае: ориентационного эффекта; электростатической индукции; дисперсионного эффекта. Обменные силы. Гетерополярные (кулоновские) силы. Некоторые модельные потенциалы взаимодействия. Потенциал Морзе. Потенциал 6-12 Леннарда-Джонса. Потенциал Сюзерленда. Прямоугольная потенциальная яма. Потенциал твердых сфер.
P3	Строение поверхности твердых тел	Идеальная поверхность. Индексы Миллера. Классификация Вуда. Точечные и линейные дефекты на поверхности твердого тела. Неоднородности поверхности: физическая, химическая и индуцированная.
P4	Способы приготовления и очистки поверхностей	Понятие "чистой" поверхности. Методы предварительной очистки. Механическая обработка. Промывка и травление. Электролитическое осаждение. Восстановление веществ из растворов. Вакуумная очистка поверхностей. Метод

		термической десорбции. Ионное травление. Метод ионных пучков. Напыление в вакууме. Метод скола.
<b>Р5</b>	Спектроскопия поверхности твердого тела	Способы классификации методов диагностики поверхности твердых тел. Электронная спектроскопия, её значение в исследовании твердых тел. Дифракционные методы: дифракция электронов, рентгеноструктурный анализ. Спектральные методы: Оже-электронная спектроскопия, рентгеноэлектронная спектроскопия, масс-спектрометрия вторичных ионов, ИК-Фурье спектроскопия.
<b>Р6</b>	Поверхность твердого тела в условиях сверхвысокого вакуума	Вакуумные условия в исследованиях межфазной границы газ – твёрдое тело. Техника сверхвысокого вакуума. Основные элементы вакуумных систем.

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	профориентационная деятельность	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Физика поверхности

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Мамонова, М. В.; Физика поверхности. Теоретические модели и экспериментальные методы : монография.; Физматлит, Москва; 2011; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457455> (Электронное издание)

## Печатные издания

1. Владимиров, Г. Г.; Физика поверхности твердых тел : учебное пособие для студентов направлений подготовки "Физика", "Прикладная математика и физика", "Радиофизика".; Лань, Санкт-Петербург; 2016 (1 экз.)
2. Зенгуил, Э.; Физика поверхности; Мир, Москва; 1990 (7 экз.)
3. Давыдов, С. Ю.; Элементарное введение в теорию наносистем : [учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлениям подготовки "Электроника наноэлектроника" и "Нанотехнологии и микросистемная техника"].; Лань, Санкт-Петербург [и др.]; 2014 (3 экз.)
4. Кобаяси, Н., Патрикеев, Л. Н., Хачоян, А. В.; Введение в нанотехнологию; БИНОМ. Лаборатория знаний, Москва; 2008 (20 экз.)
5. Кобаяси, Кобаяси Н., Хачоян, А. В., Патрикеев, Л. Н.; Введение в нанотехнологию; БИНОМ. Лаборатория знаний, Москва; 2005 (26 экз.)

## Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Электронная научная библиотека <https://elibrary.ru>
2. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
3. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

## Материалы для лиц с ОВЗ

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

## Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Физика поверхности

**Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		<p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	
2	Практические занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
3	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p>	<b>Не требуется</b>



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Кинетическая теория газов**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем
2	Черняк Владимир Григорьевич	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 7 от 29.09.2023 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- **Тебеньков Александр Владимирович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем**
- **Черняк Владимир Григорьевич, Профессор, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем**

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	Предмет и задачи курса. Модель разреженного газа.
P2	Величины, характеризующие газ	Динамическое описание. Фазовое пространство. Ансамбль Гиббса неравновесной системы. N-частичная функция распределения. Усеченные функции распределения. Гипотеза молекулярного хаоса. Локальная микроскопическая фазовая плотность. Функция распределения для разреженного газа. Средние величины для однокомпонентного газа (числовая плотность молекул, макроскопическая скорость движения газа, температура). Векторы потоков для однокомпонентного газа (поток массы, тензор напряжений, давление, плотность теплового потока). Динамика парных столкновений. Модели межмолекулярных потенциалов. Частота столкновений. Средняя длина свободного пробега молекул.
P3	Уравнение Больцмана и его свойства	Физический вывод уравнения Больцмана. Свойство симметрии интеграла столкновений. H-теорема. Принцип детального равновесия. Функция распределения Максвелла. Линеаризованное уравнение Больцмана.
P4	Уравнения сохранения	Общее уравнение переноса для отдельного компонента и всей газовой смеси. Уравнение неразрывности. Уравнение

		сохранения импульса. Уравнение сохранения внутренней энергии. Незамкнутость системы уравнений сохранения.
<b>P5</b>	Метод Чепмена-Энскога	<p>Цели и задачи метода. Приведение уравнения Больцмана к безразмерному виду. Число Кнудсена как малый параметр. Разложение функции распределения в степенной ряд по числу Кнудсена. Цепочка интегральных уравнений для функции распределения. Уравнение нулевого порядка. Система уравнений Эйлера. Уравнение первого порядка. Вид общего решения уравнения первого порядка. Макроскопические потоки и коэффициенты переноса. Механизмы диффузии и теплопереноса в газовых смесях (концентрационная диффузия, бародиффузия, динодиффузия, термодиффузия, теплопроводность, эффект Дюфура). Замкнутая система уравнений сохранения. Уравнения Навье – Стокса. Бинарная смесь газов. Уравнения диффузии Фика. Коэффициент теплопроводности однокомпонентного газа.</p> <p>Коэффициент вязкости однокомпонентного газа. Коэффициент взаимной диффузии в бинарной газовой смеси. Коэффициент термодиффузии в бинарной газовой смеси. Обсуждение результатов. Сравнение с экспериментом.</p>

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	профориентационная деятельность	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы

### 1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## **2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Кинетическая теория газов**

#### **Электронные ресурсы (издания)**

1. Чепмен, С., С.; Математическая теория неоднородных газов; Издательство иностранной литературы, Москва; 1960; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495504> (Электронное издание)
2. Резибуа, П., П.; Классическая кинетическая теория жидкостей и газов; Мир, Москва; 1980; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=495535> (Электронное издание)

#### **Печатные издания**

1. Чепмен, С., Малиновская, Е. В., Боголюбов, Н. Н.; Математическая теория неоднородных газов; Издательство иностранной литературы, Москва; 1960 (4 экз.)
2. Черняк, В. Г.; Введение в кинетическую теорию разреженного газа : учебное пособие.; УрГУ, Свердловск; 1989 (51 экз.)
3. Гиршфельдер, Д., Ступоченко, Е. В.; Молекулярная теория газов и жидкостей : перевод с английского.; Издательство иностранной литературы, Москва; 1961 (4 экз.)
4. Базаров, И. П.; Неравновесная термодинамика и физическая кинетика : учеб. пособие для ун-тов.; Изд-во МГУ, Москва; 1989 (16 экз.)
5. Ляпилин, И. И.; Физическая кинетика : Учеб. пособие.; Изд-во Урал. гос. ун-та, Екатеринбург; 1998 (2 экз.)
6. Биккин, Х. М.; Неравновесная термодинамика и физическая кинетика; [УрО РАН], Екатеринбург; 2009 (3 экз.)
7. Ландау, Л. Д., Питаевский, Л. П.; Теоретическая физика : [учебное пособие для физических специальностей университетов. Т. 10. Физическая кинетика ; Наука, Москва; 1979 (19 экз.)

#### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

1. Электронная научная библиотека <https://elibrary.ru>
2. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
3. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

#### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

#### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

### 3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### Кинетическая теория газов

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
3	Консультации	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Не требуется
5	Самостоятельная работа студентов	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Не требуется

		соответствии с количеством студентов	
--	--	--------------------------------------	--

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Теплофизика**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Поликарпов Алексей Филиппович	кандидат физико- математических наук, доцент	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем
2	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 7 от 29.09.2023 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Поликарпов Алексей Филиппович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем
- Тебеньков Александр Владимирович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*

*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Введение	Предмет теплофизики. Определение основных понятий курса. Задачи курса.
P2	Теплопроводность твердых тел	Температурное поле, градиент температуры, закон Фурье, коэффициент теплопроводности. Вывод уравнения теплопроводности. Начальные и граничные условия к уравнению теплопроводности.
P3	Методы решения нестационарного уравнения теплопроводности	Охлаждение (нагревание) неограниченной пластины. Решение для однородно прогретой пластины. Анализ решения для однородно прогретой пластины, внешняя и внутренняя задачи, оценка времени остывания. Вычисление потока тепла через поверхность. Вычисление количества отданного (полученного) тепла телом. Охлаждение (нагревание) бесконечно длинного цилиндра. Охлаждение (нагревание) шара. Охлаждение (нагревание) тел конечных размеров. Принцип стабильности теплового потока. Обобщение полученных результатов. Регулярный режим, теоремы Кондратьева. Преобразование Лапласа и его свойства. Теоремы разложения. Решение простейших дифференциальных уравнений с помощью преобразования Лапласа. Охлаждение (нагревание) бесконечной пластины. Решение с помощью преобразования Лапласа. Охлаждение (нагревание) бесконечной пластины. Температура среды - линейная функция времени. Решение с



		помощью преобразования Лапласа. Охлаждение (нагревание) бесконечной пластины. Температура среды – экспоненциальная функция времени. Решение с помощью преобразования Лапласа. Температурные волны. Неограниченная пластина. Температура среды – простая гармоническая функция времени. Расчет распределения температуры в полуограниченном стержне с помощью преобразования Лапласа.
<b>P4</b>	Стационарные задачи теплопроводности	Теплопередача через плоскую стенку. Многослойная стенка, последовательное и параллельное соединение теплопроводников. Теплопередача через плоскую стенку с учетом зависимости коэффициента теплопроводности от температуры. Теплопередача через плоскую стенку при граничных условиях второго (слева) и третьего (справа) рода. Теплопередача через цилиндрическую стенку. Многослойная цилиндрическая стенка, критический диаметр тепловой изоляции цилиндрической стенки. Теплопередача через сферическую стенку при граничных условиях первого и третьего рода. Многослойная сферическая стенка, критический радиус теплоизоляции сферической стенки. Теплопередача от стержня постоянного поперечного сечения (аналог оребрения).
<b>P5</b>	Стационарный теплообмен при наличии внутренних источников тепла	Однородная бесконечная пластина. Сплошной цилиндр с источниками тепла. Температурное поле сплошного цилиндра с источниками тепла и зависимостью коэффициента теплопроводности от температуры. Теплообмен цилиндрической стенки с источниками тепла и граничными условиями III рода; при известном радиусе максимума распределения температуры.
<b>P6</b>	Конвективный теплообмен	Система уравнений конвективного теплообмена, гидродинамический и тепловой пограничный слой. Безразмерная форма уравнений конвективного теплообмена. Критерии подобия.  Критериальная форма дифференциальных уравнений конвективного теплообмена. Тепловое и гидродинамическое подобие. Теплопередача при свободном движении жидкости в большом объеме. Теплоотдача при вынужденном ламинарном омывании плоской горизонтальной поверхности. Критериальные формулы для определения коэффициентов теплоотдачи для различных простых случаев теплообмена твердого тела и жидкости (газа).

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	профориентационная деятельность	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Способен использовать знания	У-1 - Самостоятельно формулировать

			<p>фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния</p>	<p>задачу в рамках рассматриваемой проблемы</p>
--	--	--	--	---

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Теплофизика

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Стоянов, Н. И.; Теоретические основы теплотехники: техническая термодинамика и тепломассообмен : учебное пособие.; Северо-Кавказский Федеральный университет (СКФУ), Ставрополь; 2014; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457750> (Электронное издание)
2. Видин, Ю. В.; Теоретические основы теплотехники: тепломассообмен : учебное пособие.; Сибирский федеральный университет (СФУ), Красноярск; 2015; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=497752> (Электронное издание)
3. Шаров, Ю. И.; Тепломассообмен : учебное пособие.; Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск; 2018; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=576520> (Электронное издание)
4. Черняк, В. Г.; Механика сплошных сред : учебное пособие.; Физматлит, Москва; 2006; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69276> (Электронное издание)
5. Бур, Я., Я., Сагалович, Н. М., Яковлев, И. Я.; Введение в молекулярную физику и термодинамику; Изд-во иностр. лит., Москва; 1962; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=210839> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Черняк, В. Г., Черняк, В. Г.; Механика сплошных сред : учебник для студентов вуза, обучающихся по направлению подготовки 03.03.02 "Физика".; Издательство Уральского университета, Екатеринбург; 2021 (11 экз.)
2. Ермаков, Г. В.; Термодинамические свойства и кинетика вскипания перегретых жидкостей : Учеб.пос.по курсу"Теплофизика".; Изд-во УрГУ, Екатеринбург; 1995 (71 экз.)
3. Сапожников, Б. Г., Белоусов, В. С.; Тепломассообмен : учебное пособие.; УГТУ-УПИ, Екатеринбург; 2007 (19 экз.)
4. Сорокин, В. С.; Макроскопическая необратимость и энтропия. Введение в термодинамику; ФИЗМАТЛИТ, Москва; 2004 (1 экз.)

5. Леонтович, М. А.; Введение в термодинамику. Статистическая физика : [учебное пособие для вузов].; Лань, Санкт-Петербург [и др.]; 2008 (12 экз.)

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

1. Электронная научная библиотека <https://elibrary.ru>
2. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>
3. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Теплофизика**

**Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

<b>№ п/п</b>	<b>Виды занятий</b>	<b>Оснащённость специальных помещений и помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения</b>
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная Периферийное устройство Подключение к сети Интернет	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM

		<p>Периферийное устройство</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	
3	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Персональные компьютеры по количеству обучающихся</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p>	<b>Не требуется</b>

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Физика твердого тела**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Колчанова Светлана Геннадьевна	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	Школа бакалавриата (ЕНиМ)
2	Тебеньков Александр Владимирович	кандидат физико- математических наук, без ученого звания	Доцент	физики конденсированног о состояния и наноразмерных систем

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Естественных наук и математики**

Протокол № 7 от 29.09.2023 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Колчанова Светлана Геннадьевна, Доцент, Школа бакалавриата (ЕНиМ)
- Тебеньков Александр Владимирович, Доцент, физики конденсированного состояния и наноразмерных систем

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

*\*Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получить упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*  
*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Гамильтониан кристалла в гармоническом приближении	Движение атомов. Механика атомного движения. Потенциал межатомного взаимодействия. Гармоническое приближение. Нормальные координаты кристалла. Нормальные моды колебаний.
P2	Динамика решетки кристалла	Динамическая матрица кристалла. Колебания одномерной цепочки. Акустические и оптические моды. Точечное восстановление фононного спектра. Динамическая матрица кристалла. Дисперсия нормальных мод кристаллической решетки. Фононы. Экспериментальные методы определения фононного спектра. Сингулярности Ван Хофа. Числа заполнения. Операторы рождения и уничтожения фононов. Фононный газ.
P3	Термодинамические свойства кристаллов и фононный спектр	Термодинамические свойства кристалла и фононный спектр. Модели Эйнштейна и Дебая твердых тел. Удельная теплоемкость металла в модели Эйнштейна и модели Дебая. Упругие постоянные твердых тел. Модель Коши. Дисперсия акустических фононов.
P4	Электрон-фононное взаимодействие и электропроводность	Гамильтониан электрон-фононного взаимодействия. Матричные элементы гамильтониана в простейшем случае. Взаимодействие электронов с продольными акустическими фононами. Уравнения Больцмана для электронов и фононов.

	металлов при низких температурах	Расчет времени релаксации для нормальных процессов. Электропроводность нормального металла при низких температурах. Сверхпроводимость. Электрон-электронное взаимодействие путем обмена виртуальными фононами Образование куперовских пар при температурах ниже критической. Возбуждение постоянного тока в сверхпроводнике. Сравнение с экспериментом. Эффект Мейсснера-Оксенфельда. Эффект Джозефсона.
--	----------------------------------	--

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Профессиональное воспитание	профориентационная деятельность	Технология самостоятельной работы	ПК-1 - Способен использовать знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач в области физики магнитных явлений, медицинской и теоретической физики, физики конденсированного состояния	У-1 - Самостоятельно формулировать задачу в рамках рассматриваемой проблемы

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Физика твердого тела

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Киттель, Ч., Ч.; Введение в физику твердого тела; Наука, Москва; 1978; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483361> (Электронное издание)
2. Займан, Д., Д.; Принципы теории твердого тела; Мир, Москва; 1974; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483413> (Электронное издание)
3. Маделунг, О., О., Ансельм, А. И.; Теория твердого тела; Наука, Москва; 1980; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483373> (Электронное издание)
4. Разумовская, И. В.; Физика твердого тела : учебное пособие. 2. Динамика кристаллической решетки.

Тепловые свойства решетки; Прометей, Москва; 2011; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=108460> (Электронное издание)

5. Ашкрофт, Н., Н.; Физика твердого тела; Мир, Москва; 1979; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483336> (Электронное издание)

6. Перлин, Е. Ю.; Лекции по физике твердого тела : учебное пособие. 2. ; Университет ИТМО, Санкт-Петербург; 2019; <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=566772> (Электронное издание)

#### **Печатные издания**

1. Киттель, Ч., Гусев, А. А., Пахнев, А. В.; Введение в физику твердого тела; Наука, Москва; 1978 (53 экз.)

2. Займан, Дж. М., Бонч-Бруевич, В. Л.; Принципы теории твердого тела : Пер. со 2-го англ. изд.; Мир, Москва; 1974 (26 экз.)

3. Маделунг, О., Мочан, И. В., Ансельм, А. И.; Теория твердого тела; Наука, Москва; 1980 (12 экз.)

4. Ашкрофт, Н.; Физика твердого тела: В 2 т. Т. 1. ; Мир, Москва; 1979 (33 экз.)

5. Ашкрофт, Н., Кугель, К. И., Михайлов, А. С., Каганов, М. И.; Физика твердого тела : в 2 томах. Т. 2. ; Мир, Москва; 1979 (33 экз.)

#### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

1. Электронная научная библиотека <https://elibrary.ru>

2. Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru>

3. Зональная научная библиотека УрФУ. URL: <http://lib.urfu.ru>

#### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

#### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

### **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

#### **Физика твердого тела**

#### **Сведения об оснащении дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM



		<p>соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	
2	Практические занятия	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p> <p>Периферийное устройство</p> <p>Подключение к сети Интернет</p>	Office Professional 2003 Win32 Russian CD-ROM
3	Консультации	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	<b>Не требуется</b>
4	Текущий контроль и промежуточная аттестация	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p> <p>Рабочее место преподавателя</p> <p>Доска аудиторная</p>	<b>Не требуется</b>
5	Самостоятельная работа студентов	<p>Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов</p>	<b>Не требуется</b>