



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
Учреждение высшего образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Физический факультет  
*Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем*



УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по научной  
работе и инновациям  
Н.А. Ашурбеков

« 26 » 03 2020 г.

**Рабочая программа дисциплины**

## **ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

по направлению подготовки: **03.06.01 физика и астрономия**

Уровень образования: подготовка кадров высшей квалификации (аспирантура)

Направленность (профиль) программы  
*Физика конденсированного состояния*

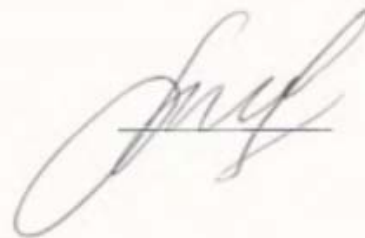
Квалификация (степень) выпускника  
Исследователь, преподаватель - исследователь

Форма обучения: **Очная**

**Махачкала 2020**

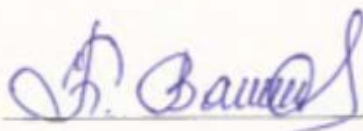
Рабочая программа по дисциплине «Физика конденсированного состояния» составлена в 2020 году в соответствии с требованиями Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки **03.06.01 - Физика и астрономия** квалификация выпускника: «Исследователь. Преподаватель-исследователь», утвержденным приказом Минобрнауки РФ от «30» июня 2014 г. № 867.

Составитель рабочей программы:  
Палчасв Даир Каирович, д.ф.-м.н., профессор



Рабочая программа утверждена на заседании ученого совета физического факультета, протокол № 6 от 28.02.2020 г.

Председатель совета  
физического факультета, профессор  
от 28.02.2020 г.



Курбанисмаилов В.С.

Согласовано:  
Начальник управления  
аспирантуры и докторантуры

« 26 » марта 2020 г.



Э.Т. Рамазанова

## Аннотация рабочей программы дисциплины

входит в Блок 1, вариативной части, дисциплин по выбору образовательной программы аспирантуры по направлению 03.06.01 – Физика и астрономия, научная специальность 01.04.07 — физика конденсированного состояния.

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой физики конденсированного состояния и наносистем.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением физических основ конденсированного состояния и физической сущности явлений, происходящих в конденсированных средах при механических, тепловых, электрических, магнитных, оптических воздействиях, а так же особенности формирования структуры и свойств конденсированных средах, в том числе наносистемах, в композиционных материалах.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций *выпускника: универсальных: УК-1; общепрофессиональных: ОПК-1; профессиональных: ПК-2.*

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, лабораторных работ и самостоятельной работы.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме: контрольная работа, и пр. и в форме зачета.

### 1. Область применения и нормативные ссылки

Настоящая программа учебной дисциплины устанавливает минимальные требования к знаниям и умениям обучающегося в аспирантуре по направлению подготовки кадров высшей квалификации и определяет содержание и виды учебных занятий и отчетности.

Программа предназначена для преподавателей, ведущих данную дисциплину, и обучающихся направления подготовки 03.06.01 – Физика и астрономия, изучающих дисциплину Физика конденсированного состояния.

Программа разработана в соответствии с:

- Федеральным государственным образовательным стандартом <http://science.dgu.ru/eduprogram/03.06.01.pdf> от 30 июля 2014 года №867
- Образовательной программой 03.06.01 Физика и астрономия, квалификация: «Исследователь. Преподаватель – исследователь».
- Учебным планом университета по направлению подготовки 03.06.01 Физика и астрономия, утвержденным в 2018г.

Объем дисциплины **3** зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий: **72** ч.

Се- местр	Учебные занятия						СРС, в том числе экза- мен	Форма проме- жуточной атте- стации (зачет, дифференциро- ванный зачет, экзамен
	в том числе							
	Контактная работа обучающихся с преподавателем							
	Все го	из них						
Лек- ции		Лабора- торные занятия	Практи- ческие занятия	КСР	консуль- тации			
2	72	12	6	-	-	-	54	зачет

## Цели и задачи изучения дисциплины, требования к уровню освоения содержания дисциплины

Целями освоения дисциплины «Физика конденсированного состояния» являются подготовка аспирантов к профессиональной деятельности в сфере науки конденсированного состояния, высшего профессионального фундаментального образования и в высокотехнологичных отраслях создающих инновационную продукцию на уровне современных международных стандартов

**Задачи дисциплины:** формирование и углубление целостных представлений о современных аспектах Физика конденсированного состояния, а также формирование вектора выбранного направления исследований и задач для достижения цели диссертационной работы.

## 2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре

При освоении программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре обучающийся должен овладеть следующими общими результатами обучения настоящей дисциплины:

Компетенции	Формулировка компетенции из ФГОС ВО	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)
УК-1	Способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях	<b>Знать:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Основные методы научно-исследовательской работы.</li><li>• Методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях</li></ul> <b>Уметь:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Выделять и систематизировать основные идеи в научных текстах, критически оценивать научную информацию.</li><li>• Анализировать альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и оценивать результаты реализации этих вариантов;</li><li>• При решении исследовательских и практических задач генерировать новые идеи</li></ul> <b>Владеть:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Навыками анализа методологических проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.</li><li>• Навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению ис-</li></ul>

		следователских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.
ОПК-1	Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Цели и задачи научных исследований по направлению деятельности, базовые принципы и методы их организации.</li> <li>• Современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-графические методы исследования.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического анализа информации по тематике проводимых исследований.</li> <li>• Навыками планирования научного исследования, анализа получаемых результатов и формулировки выводов.</li> <li>• Навыками представления и продвижения результатов интеллектуальной деятельности.</li> </ul>
ПК-2	Способностью к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов и обработке и интерпретации полученных результатов, а так же обосновывать принятое техническое решение, оценивать возможные последствия его внедрения.	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики;</li> <li>• физические основы экспериментальных исследований структуры и свойств конденсированных сред;</li> <li>• Методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики конденсированного состояния;</li> <li>• Нормативные документы для составления заявок, грантов, проектов НИР.</li> <li>• Требования к содержанию и правила оформления рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию в области физики конденсированного состояния;</li> <li>• Использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения задач по физике конденсированного состояния;</li> <li>• Пользоваться теоретическими основами, основными понятиями, законами и моде-</li> </ul>

		<p>лями формирования физики конденсированных сред;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Представлять научные результаты по теме диссертации в виде публикаций в рецензируемых научных изданиях;</li> <li>• Готовить заявки на получение научных грантов и заключения контрактов по НИР в выбранной сфере научной деятельности.</li> <li>• Представлять результаты НИР (в т.ч., диссертационной работы) академическому и бизнес сообществу.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики конденсированного состояния;</li> <li>• Экспресс анализом и диагностическими методами исследования конденсированных сред;</li> <li>• Методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики конденсированного состояния;</li> <li>• Знаниями по разделам физики, необходимыми для решения научно – инновационных задач и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.</li> <li>• Методами планирования, подготовки проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по специальности диссертационной работы.</li> <li>• Навыками составления и подачи конкурсных заявок на выполнение НИР и проектных работ по специальности диссертационной работы.</li> </ul>
--	--	--

В результате изучения дисциплины обучающийся осваивает следующие компетенции:

Компетенция	Код по ФГОС	Дескрипторы – основные признаки освоения (показатели достижения результата)	Формы и методы обучения, способствующие формированию и развитию компетенции
универсальные	УК-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Демонстрирует знания методов научно-исследовательской работы и критического анализа и оценки современных научных достижений.</li> <li>• Использует индуктивный и дедуктивный методы при генерировании новых идей и при решении ис-</li> </ul>	Активное и интерактивное методы при чтении лекций, проведении практических, лабораторных работ и обсуж-

		<p>следовательских и практических задач.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Демонстрирует умение систематизировать основные идеи в научных текстах, критически оценивать научную информацию.</li> <li>• Использует альтернативные варианты решения исследовательских и практических задач и обосновывает результаты реализации этих вариантов;</li> <li>• Владеет навыками анализа проблем, возникающих при решении исследовательских и практических задач и.</li> <li>• Навыками критического анализа и оценки современных научных достижений и результатов деятельности по решению исследовательских и практических задач.</li> </ul>	<p>дении результатов самостоятельной работы</p>
обще профессиональные	ОПК-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Применяет базовые принципы и методы их организации для достижения цели и решения задач научных исследований по направлению деятельности.</li> <li>• Использует современные информационно-коммуникационные технологии в выбранной сфере деятельности.</li> <li>• Демонстрирует навыки эффективного поиска и критического анализа информации по тематике проводимых исследований.</li> <li>• Обосновывает планируемые научные исследования, и результаты анализа получаемых результатов</li> </ul>	<p>Активное и интерактивное методы при чтении лекций, проведении практических, лабораторных работ и обсуждении результатов самостоятельной работы</p>
профессиональные	ПК-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Демонстрирует знания особенностей формирования наносистем и об основных подходах по исследованию структуры и свойств конденсированных сред.</li> <li>• Излагает и способен критически анализировать базовую информацию в области конденсированного состояния;</li> <li>• Демонстрирует способность проводить соответствующие измерения структуры и свойств и интерпретацию полученных данных.</li> </ul>	<p>Активное и интерактивное методы при чтении лекций, проведении практических, лабораторных работ и обсуждении результатов самостоятельной работы</p>

### 3. Место дисциплины в структуре ОПОП аспирантуры

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» входит в Блок Б1.В.ДВ.2 «Дисциплины по выбору» - вариативная часть основной образовательной программы аспирантуры по направлению подготовки кадров высшей квалификации 03.06.01 – Физика и астрономия. Для освоения дисциплины требуются знания и умения, приобретенные в результате освоения ряда дисциплин (разделов дисциплин), таких как: Теоретическая физика; Термодинамика и статфизика; Кантовая механика; Знания в области математики и химии.

### 4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, 72 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость в часах				Самостоятельная раб.	Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации
				Лекции	Практич.	Лаборат. занятия	Контр. самостоят. раб		
<b>Модуль 1</b>									
1	Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии. Кристаллические и аморфные твердые тела. Кристаллических структуры и элементы симметрии кристаллов. Дефекты в кристаллах. Дифракция в кристаллах.	2	1-3	3		2		15	
2	Колебания кристаллической решетки. Приближение сильной и слабой связи электронов. Энергетические спектры электронов и фононов. Зонная теория. Квантовые явления и элементарные возбуждения в конденсированных средах.	2	3-4	3				10	
Рубежная контрольная работа							2		Контр. работа
<i>Итого по модулю 1: 36ч.</i>				6		2	2	25	
<b>Модуль 2</b>									



3	Электрические, магнитные и оптические свойства конденсированных сред. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Контактные и гальваномагнитные явления. Сверхпроводимость и сверхпроводники, Эффекты Джозефсона.	2	5-7	3		4		17	
4	Современные представления особенностей формирования механических, тепловых, электрических, магнитных и оптических свойств конденсированных сред в зависимости от температуры и наличия внешних полей.	2	7-9	3				8	
Рубежная контрольная работа								2	Контр. работа
<i>Итого по модулю 2: 36ч.</i>				6		4		2	25
<b>Итого: 72 часа</b>				12		6		4	50
									зачет

#### 4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

##### Модуль 1.

**Тема 1.** Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии. Кристаллические и аморфные твердые тела. Кристаллических структуры и элементы симметрии кристаллов. Дефекты в кристаллах. Дифракция в кристаллах.

**Самостоятельная работа.** Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера - Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита CaTiO<sub>3</sub>. Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита. Распространение волн в кристаллах.

**Лаб. раб.** Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.

**Тема 2.** Колебания кристаллической решетки. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Приближение сильной и слабой связи электронов. Энергетические спектры электронов и фононов. Зонная теория. Квантовые явления и элементарные возбуждения в конденсированных средах.

**Самостоятельная работа.** Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Полосатый спектр энергии. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс. Приближение почти свободных электронов. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний.

**(Лаб. раб.)** Исследования температурных зависимостей электросопротивления и теплового расширения металлов.

## Модуль 2.

**Тема 3.** Электрические, магнитные и оптические свойства конденсированных сред. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Контактные и гальваномагнитные явления. Сверхпроводимость и сверхпроводники, Эффекты Джозефсона.

**Самостоятельная работа.** Особенности зонной структуры металлов и полупроводников. Проводимость металлов, полупроводников и диэлектриков. Фазовые переходы в конденсированных средах. Законы Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости. Природа ферромагнетизма. Магнитные фазовые переходы в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.

**Лаб. Раб.** Исследования температурной зависимости электросопротивления керамики на основе YBCO. Исследование морфологии и элементного состава  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$   
 $\text{BiFeO}_3$

## Модуль 3.

**Тема 4** Современные представления особенностей формирования механических, тепловых, электрических, магнитных и оптических свойств конденсированных сред в зависимости от температуры и наличия внешних полей. эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение.

**Самостоятельная работа.** Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой).

Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра). Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.

**Лаб. Раб.** Исследования комплекса электрических свойств мультиферроика  $\text{BiFeO}_3$  Оптические и фотоэлектрические свойства полупроводников

## 5. Оценочные средства для текущего контроля и аттестации обучающегося

### Тематика заданий текущего контроля в письменной форме - контрольной работы

№	Тема	Содержание
1	Кристаллических структуры и элементы симметрии кристаллов. Дефекты в кристаллах. Дифракция в кристаллах.	Электронная структура атомов. Химическая связь и валентность. Типы сил связи в конденсированном состоянии. Кристаллические и аморфные твердые тела. Кристаллических структуры и элементы симметрии кристаллов. Дефекты в кристаллах. Дифракция в кристаллах. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера - Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Элементы симметрии кристаллов: повороты, отражения, инверсия, инверсионные повороты, трансляции. Операции (преобразования) симметрии. Элементы теории групп, группы симметрии. Возможные порядки поворотных осей в кристалле. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы). Классификация решеток Браве. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ, структура типа $\text{CsCl}$ , типа $\text{NaCl}$ , структура типа перовскита $\text{CaTiO}_3$ . Структура веществ с ковалентными связями. Структура веществ типа селена. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах. Структура типа алмаза и графита. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах
2	Колебания кристаллической решетки. Приближение сильной и слабой связи электронов. Энергетические спектры электронов и фононов. Зонная теория.	Колебания кристаллической решетки. Акустические и оптические колебания. Квантование колебаний. Фононы. Приближение сильной и слабой связи электронов. Энергетические спектры электронов и фононов. Зонная теория. Квантовые явления и элементарные возбуждения в конденсированных средах. Уравнения движения атомов. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Де-

		<p>бая. Основные приближения зонной теории. Граничные условия Борна - Кармана. Теорема Блоха. Блоховские функции. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны. Полосатый спектр энергии. Приближение сильносвязанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс. Приближение почти свободных электронов. Заполнение энергетических зон электронами. Поверхность Ферми. Плотность состояний. Методы Исследования температурных зависимостей электросопротивления и теплового расширения металлов.</p>
3	<p>Электрические, магнитные и оптические свойства конденсированных сред. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Сверхпроводимость</p>	<p>Электрические, магнитные и оптические свойства конденсированных сред. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики. Контактные и гальваномагнитные явления. Сверхпроводимость и сверхпроводники, Эффекты Джозефсона. Особенности зонной структуры металлов и полупроводников Проводимость металлов, полупроводников и диэлектриков. Фазовые переходы в конденсированных средах. Законы Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости. Природа ферромагнетизма. Магнитные фазовые переходы в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри и восприимчивость ферромагнетика. Электронный парамагнитный резонанс. Ядерный магнитный резонанс. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Методы исследования температурной зависимости электросопротивления керамики на основе YBCO. Методы исследования морфологии и элементного состава <math>YBa_2Cu_3O_{7-\delta}</math> <math>BiFeO_3</math></p>
4	<p>Особенностей формирования механических, тепловых, электрических, магнитных и оптических свойств конденсированных сред в зависимости от температуры и наличия внешних полей.</p>	<p>Современные представления особенностей формирования механических, тепловых, электрических, магнитных и оптических свойств конденсированных сред в зависимости от температуры и наличия внешних полей. эффект Холла, термоЭДС, фотопроводимость, оптическое поглощение. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой). Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра). Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя. Методы исследования комплекса электрических свойств мультиферроика <math>BiFeO_3</math> Методы исследования Оптические свойства оптических и фотоэлектрических свойств.</p>

## Тематика заданий текущего контроля в виде выполнения лабораторных работ

№	Тема	Содержание
1	Лабораторная работа (28 часов.) Изучение методов исследования структуры  Изучение электрических и тепловых свойств	Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах. (13 часов)  Исследования температурных зависимостей электропроводности и теплового расширения металлов. (15 часов)
2	Лабораторная работа (62 часа.)  Исследования структуры и комплекса свойств $\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ $\text{BiFeO}_3$  Исследования комплекса оптических и фотоэлектрических свойств полупроводников	Исследования температурной зависимости электропроводности керамики на основе YBCO. Исследования морфологии и элементного состава $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ $\text{BiFeO}_3$ (32 часа)  Исследования комплекса электрических свойств мультиферроика $\text{BiFeO}_3$ (15 часов) Оптические и фотоэлектрических свойств полупроводников (15 часов)

### Вопросы для оценки качества освоения дисциплины

1. Электронная структура атомов
2. Химическая связь и валентность.
3. Типы сил связи в конденсированном состоянии: ван-дер-ваальсова связь, ионная связь, ковалентная связь, металлическая связь.
4. Примеры кристаллических структур, отвечающих плотным упаковкам шаров: простая кубическая, ОЦК, ГЦК, ГПУ
5. Структура типа CsCl, типа NaCl, структура типа перовскита  $\text{CaTiO}_3$ .
6. Структура веществ с ковалентными связями.
7. Гибридизация атомных орбиталей в молекулах и кристаллах.
8. Структура типа алмаза и графита.
9. Кристаллические и аморфные твердые тела.
10. Трансляционная инвариантность. Базис и кристаллическая структура.
11. Элементарная ячейка. Ячейка Вигнера - Зейтца. Решетка Браве.
12. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле.
13. Обратная решетка, ее свойства.
14. Зона Бриллюэна.
15. Элементы симметрии кристаллов
16. Элементы теории групп, группы симметрии.
17. Возможные порядки поворотных осей в кристалле.
18. Пространственные и точечные группы (кристаллические классы).
19. Классификация решеток Браве.
20. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.
21. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.

22. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле.
23. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.
24. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.
25. Колебания кристаллической решетки.
26. Распространение волн в кристаллах.
27. Уравнения движения атомов.
28. Простая и сложная одномерные цепочки атомов. Закон дисперсии упругих волн.
29. Акустические и оптические колебания.
30. Квантование колебаний.
31. Фононы.
32. Электрон-фононное взаимодействие.
33. Теплоемкость твердых тел.
34. Решеточная теплоемкость. Электронная теплоемкость.
35. Температурная зависимость решеточной и электронной теплоемкости.
36. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике.
37. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.
38. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания.
39. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана - Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.
40. Проводимость.
41. эффект Холла.
42. термоЭДС.
43. фотопроводимость, оптическое поглощение.
44. Основные приближения зонной теории.
45. Граничные условия Борна - Кармана.
46. Теорема Блоха. Блоховские функции.
47. Квазиимпульс. Зоны Бриллюэна. Энергетические зоны.
48. Брэгговское отражение электронов при движении по кристаллу.
49. Полосатый спектр энергии.
50. Приближение сильносвязанных электронов.
51. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием волновых функций атомов.
52. Закон дисперсии. Тензор обратных эффективных масс.
53. Приближение почти свободных электронов.
54. Брэгговские отражения электронов.
55. Заполнение энергетических зон электронами.
56. Поверхность Ферми. Плотность состояний.
57. Металлы, диэлектрики и полупроводники. Полуметаллы.
58. Намагниченность и восприимчивость.
59. Диамагнетики, парамагнетики и ферромагнетики.
60. Законы Кюри и Кюри - Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
61. Природа ферромагнетизма.
62. Фазовый переход в ферромагнитное состояние. Роль обменного взаимодействия. Точка Кюри
63. Восприимчивость ферромагнетика.
64. Ферромагнитные домены. Причины появления доменов. Доменные границы (Блоха, Нееля).
65. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля.

66. Восприимчивость антиферромагнетиков.
67. Ферромагнетики. Магнитная структура ферромагнетиков.
68. Спиновые волны, магноны.
69. Электронный парамагнитный резонанс.
70. Ядерный магнитный резонанс.
71. Комплексная диэлектрическая проницаемость и оптические постоянные.
72. Коэффициенты поглощения и отражения. Соотношения Крамерса-Кронига.
73. Поглощения света в полупроводниках (межзонное, примесное поглощение, поглощение свободными носителями, решеткой).
74. Определение основных характеристик полупроводника из оптических исследований.
75. Магнитооптические эффекты (эффекты Фарадея, Фохта и Керра).
76. Проникновение высокочастотного поля в проводник. Нормальный и аномальный скин-эффекты. Толщина скин-слоя.
77. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток.
78. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства.
79. Вихри Абрикосова. Глубина проникновения магнитного поля в образец.
80. Эффект Джозефсона.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 6.1. Основная литература:

1. Черевко А.Г. Физика конденсированного состояния. Часть 1. Кристаллы и их тепловые свойств [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Г. Черевко. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. — 81 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69566.html>
2. Тимохин В.М. Физика диэлектриков. Термоактивационная и диэлектрическая спектроскопия кристаллических материалов. Протонный транспорт [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Тимохин. — Электрон. текстовые данные. — М. : Издательский Дом МИСиС, 2013. — 258 с. — 978-5-87623-677-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/56586.html>
3. Ливанов Д.В. Физика металлов [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Д.В. Ливанов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Издательский Дом МИСиС, 2006. — 280 с. — 5-87623-168-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/56569.html>
4. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1990. <http://old.pskgu.ru/ebooks/bbkfpp> <http://ffmgu.ru/images/5/5f>
5. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Энергоатомиздат, 2010. <http://www.kaf70.mephi.ru/pdf/shalimov.pdf>
6. Физика твёрдого тела / Блейкмор, Джон ; Под ред. Д.Г. Андрианова, В.И. Фистуля. - М. : Мир, 1988. - 608 с. : ил. ; 22 см. - Библиогр.: с. 11-12. Библиогр. в конце глав. - Предм. указ.: с. 599-606. - ISBN 5-03-001256-7 : 3-00. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
7. Блатт, Фрэнк Дж. Физика электронной проводимости в твёрдых телах / Блатт, Фрэнк Дж. ; Пер. с англ. Г.Л. Краско и Р.А. Суриса. - М. : Мир, 1971. - 470 с. : ил. ; 22 см. - 2-22. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
8. Ашкрофт, Н. Физика твёрдого тела : [в 2-х т.]. [Т.]2 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ.: К.И.Кугеля и А.С.Михайлова; под ред. М.И.Каганова. - М. : Мир, 1979. - 422 с. :

- ил. ; 25 см. - Библиогр. в конце гл. - Предм. указ.: с. 392-417. - 2-90. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
9. Займан, Дж. Принципы теории твёрдого тела / Займан, Дж. ; Под ред. проф. В.Л. Бонч-Бруневича. - М. : Мир, 1974. - 472 с. : с черт. ; 22 см. - Список лит.: с. 455-464. Предм. указ.: с. 465-469. - 2-21. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
  10. Киттель, Чарлз. Введение в физику твёрдого тела / Киттель, Чарлз ; пер. А.А.Гусева и А.В.Пахнева; под общ. ред. А.А.Гусева. - М. : Наука, 1978. - 791 с. : ил. ; 22 см. - Список лит.: с. 769-791. - 2-10. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
  11. Тепловые свойства твёрдых тел : задания для проведения лаб. работ / М-во образования РФ, Дагест. гос. ун-т; [Сост. Палчаев Д.К., Мурлиева Ж.Х., Палчаева Х.С.] . - Махачкала : ИПЦ ДГУ, 2002. - 38 с. - 5-00.
  12. Энергетический спектр фонов и тепловые свойства конденсированных сред : учебно-метод. пособие / [Д.К.Палчаев и др.] Минобрнауки России, Дагест. гос. ун-т. - Махачкала : Изд-во ДГУ, 2014. - 55-00. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ

## **6.2. Дополнительная литература:**

1. Разумовская И.В. Физика твердого тела. Часть 2. Динамика кристаллической решетки. Тепловые свойства решетки [Электронный ресурс] / И.В. Разумовская. — Электрон. текстовые данные. — М. : Прометей, 2011. — 64 с. — 978-5-4263-0032-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/9611.html>
2. Гольдаде В.А. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Белорусская наука, 2009. — 648 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/11505.html>
3. Егоров-Тисменко Ю. К. Кристаллография и кристаллохимия : учебник / Ю . К. Егоров-Тис менко ; по д ред. академик а В. С. Урусова . — М.: КДУ, 2005. — 592 с [http://geo.web.ru/~ujin/books/Crystallography\\_and\\_crystallochemistry.pdf](http://geo.web.ru/~ujin/books/Crystallography_and_crystallochemistry.pdf)
4. Румянцев А.В. Введение в физику конденсированного состояния вещества [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Румянцев. — Электрон. текстовые данные. — Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2012. — 119 с. — 978-5-9971-0221-0. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23770.html>
5. Анфимов И.М. Физика конденсированного состояния. Электронная структура твердых тел [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / И.М. Анфимов, С.П. Кобелева, И.В. Щемеров. — Электрон. текстовые данные. — М. : Издательский Дом МИСиС, 2014. — 76 с. — 978-5-87623-724-8. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/56588.html>
6. Штаб А.В. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / А.В. Штаб, Л.П. Арефьева. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016. — 124 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66121.html>
7. Новиков А.Ф. Строение вещества [Электронный ресурс] : электронные оболочки атомов. Химическая связь. Конденсированное состояние вещества. Учебное пособие / А.Ф. Новиков. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2013. — 93 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/68156.html>



### 6.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Даггосуниверситет имеет доступ к комплектам библиотечного фонда основных отечественных и зарубежных академических и отраслевых журналов по профилю подготовки магистра по направлению 03.04.02 – физика:

1. ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/> Лицензионный договор № 2693/17от 02.10.2017г. об оказании услуг по предоставлению доступа. Доступ открыт с с 02.10.2017 г. до 02.10.2018 по подписке (доступ будет продлен)
2. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru) договор № 55\_02/16 от 30.03.2016 г. об оказании информационных услуг. (доступ продлен до сентября 2019 года).
3. Доступ к электронной библиотеки на <http://elibrary.ru> основании лицензионного соглашения между ФГБОУ ВПО ДГУ и «ООО» «Научная Электронная библиотека» от 15.10.2003. (Раз в 5 лет обновляется лицензионное соглашение).
4. Национальная электронная библиотека <https://нэб.пф/>. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 от 1.08.2017г. Договор действует в течении 1 года с момента его подписания(доступ будет продлен).
5. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/> (единое окно доступа к образовательным ресурсам).
6. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
7. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
8. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
9. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
10. Федеральный центр образовательного законодательства <http://www.lexed.ru>
11. <http://www.phys.msu.ru/rus/library/resources-online/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета МГУ.
12. <http://www.phys.spbu.ru/library/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского госуниверситета.
13. Springer. Доступ ДГУ предоставлен согласно договору № 582-13SP подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. <http://link.springer.com>. Доступ предоставлен на неограниченный срок
14. SCOPUS <https://www.scopus.com> Доступ предоставлен согласно сублицензионному договору №Scopus/73 от 08 августа 2017г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса. Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (доступ будет продлен)
15. Web of Science - [webofknowledge.com](http://webofknowledge.com) Доступ предоставлен согласно сублицензионному договору № WoS/280 от 01 апреля 2017г. подписанный Министерством образования и науки предоставлен по контракту 2017-2018 г.г., подписанный ГПНТБ с организациями-победителями конкурса Договор действует с момента подписания по 30.03.2017г. (доступ будет продлен)
16. «Pro Quest Dissertation Theses Global» (PQDT Global). - база данных зарубежных – диссертации. Доступ продлен согласно сублицензионному договору № ProQuest/73 от 01 апреля 2017 года <http://search.proquest.com/>. Договор действует с момента подписания по

- 31.12.2017г. (доступ будет продлен)
17. Sage - мультидисциплинарная полнотекстовая база данных. Доступ продлен на основании сублицензионного договора № Sage/73 от 09.01.2017 <http://online.sagepub.com/> Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (доступ будет продлен)
  18. American Chemical Society. Доступ продлен на основании сублицензионного договора №ACS/73 от 09.01.2017 г. [pubs.acs.org](http://pubs.acs.org) Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (доступ будет продлен)
  19. Science (академическому журналу The American Association for the Advancement of Science (AAAS) <http://www.sciencemag.org/>. Доступ продлен на основании сублицензионного договора № 01.08.2017г. Договор действует с момента подписания по 31.12.2017г. (доступ будет продлен)

#### 6.4. Программное обеспечение

Программное обеспечение для лекций: MS PowerPoint (MS PowerPointViewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, табличный процессор.

Программное обеспечение в компьютерный класс: MS PowerPoint (MS PowerPointViewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, Интернет, E-mail.

#### 6.5. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

1. Международная база данных Scopus по разделу физика полупроводников <http://www.scopus.com/home.url>
2. Научные журналы и обзоры издательства Elsevier по тематике физика полупроводников <http://www.sciencedirect.com/>
3. Ресурсы Российской электронной библиотеки [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru), включая научные обзоры журнала Успехи физических наук [www.ufn.ru](http://www.ufn.ru)
4. Региональный ресурсный Центр образовательных ресурсов <http://rrc.dgu.ru/>
5. Электронные ресурсы Издательства «Лань» <http://e.lanbook.com/>
6. Ресурсы МГУ [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru).
7. Методы получения наноразмерных материалов/ курс лекций и руководство к лабораторным занятиям. Екатеринбург. 2007.
8. [http://www.chem.spbu.ru/chem/Programs/Bak/ultradisp\\_sost\\_SS.pdf](http://www.chem.spbu.ru/chem/Programs/Bak/ultradisp_sost_SS.pdf)
9. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>.
10. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
11. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредитации (<http://www.fepo.ru/>)
12. <http://www.nanometer.ru/lecture.html?id=165151&UP=156195&TP=USER>

#### 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

1. Закрепление теоретического материала и приобретение практических навыков исследования свойств и обработки данных обеспечивается лабораториями физического практикума Физика и технология функциональных материалов.
2. При проведении занятий используются оснащенные современным технологическим и измерительным оборудованием: лаборатории физического факультета, а также в научно-исследовательских институтах (институт физики и институт проблем геотермии ДНЦ РАН); лаборатории, научно-образовательных центрах факультета (НОЦ по «Физике плазмы» и «Нанотехнологии»), а также в проблемных научно-исследовательских лабораториях кафедр физической электроники и физики твердого тела ДГУ (НИЛ - Физики

плазмы и плазменных технологий, МНИЛ - Нанотехнологии и наноматериалы); центре коллективного пользования «Аналитическая спектроскопия»

3. При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный мультимедиа проекционным оборудованием.

## 8. Образовательные технологии

Основными видами образовательных технологий с применением, как правило, компьютерных и технических средств, учебного и научного оборудования являются:

- Информационные технологии.
- Проблемное обучение.
- Индивидуальное обучение.
- Работа в технологических и исследовательских лабораториях.
- Самостоятельная работа.

Для достижения определенных компетенций используются следующие формы организации учебного процесса: лекция (информационная, проблемная, лекция-визуализация, лекция-консультация и др.), семинарские занятия, самостоятельная работа, консультация. Допускаются комбинированные формы проведения занятий, такие как лекционно-практические занятия.

Реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий и организации внеаудиторной с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Основы зонной теории полупроводников» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность аспирантов.

Большая часть теоретического материала излагается с применением слайдов (презентаций) в программе Power Point, а также с использованием интерактивной доски.

Для реализации самостоятельной работы каждый аспирант обеспечен

- методическими рекомендациями;
- информационными ресурсами (учебными пособиями, индивидуальными заданиями, обучающими программами и т.д.);
- временными ресурсами;
- консультациями преподавателей;
- возможностью публичного обсуждения теоретических или практических результатов, полученные обучающимся самостоятельно (на конференциях, олимпиадах, конкурсах).