

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
*Физический факультет*

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Квантовая теория твердого тела**

Кафедра теоретической и вычислительной физики,  
физического факультета

**Образовательная программа**  
03.04.02 Физика

Профиль подготовки  
Теоретическая и математическая физика

Уровень высшего образования  
Магистратура

Форма обучения  
очная

Статус дисциплины:  
входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений

Махачкала 2022

Рабочая программа дисциплины «Квантовая теория твердого тела» составлена в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 – «Физика» (уровень магистратура) от «07» августа 2020г. № 914.

Разработчик: кафедра теоретической и вычислительной физики  
Абдулвагабов Мизафрудин Шахович, к.ф.-м.н., доцент, \_

**Рабочая программа дисциплины одобрена:**

на заседании кафедры теоретической и вычислительной физики от «23» марта 2022 г., протокол № 7

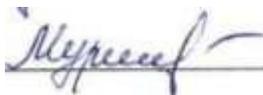
Зав. кафедрой



Муртазаев А.К.

На заседании Методической комиссии Физического факультета от «25» марта 2022 г., протокол №7

Председатель



Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением «30» марта 2022 г.

Начальник УМУ



Гасангаджиева А.Г.

## Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Квантовая теория твердого тела» входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы магистратуры по направлению 03.04.02 – «Физика» (профиль – Теоретическая и математическая физика).

Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой теоретической и вычислительной физики.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением двумерных решеточных моделей в статистической физике, допускающих аналитическое решение и их приложения к современным задачам.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

универсальных – УК-1

общепрофессиональных - ОПК-1;

профессиональных - ПК-4, ПК-5, ПК-6.

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельную работу.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме текущий контроль в форме опросов и контрольной работы и промежуточный контроль в форме экзамена.

Объем дисциплины 4 зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Сем е стр	Учебные занятия							СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированн ый зачет, экзамен
	в том числе								
	Всего	Контактная работа обучающихся с преподавателем					СРС, в том числе экзамен		
		Всего	из них						
	Лекции		Лабораторн ые занятия	Практичес кие занятия	КСР	консульт ации			
2	144	36	18	-	18	-	-	108	экзамен

## 1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Квантовая теория твердого тела» являются изучение двумерных решеточных моделей в статистической физике, допускающих аналитическое решение и их приложения к современным задачам.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП магистратуры

Дисциплина входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений образовательной программы магистратуры по направлению 03.04.02 – «Физика» (профиль – Теоретическая и математическая физика).

Студенты, проходящие специализацию по кафедре теоретической и вычислительной физики должны иметь базовые знания о точно решаемых методах в теоретической физике. Для освоения дисциплины необходимы знания дисциплин: математический анализ, дифференциальные уравнения, дифференциальная геометрия и топология, электродинамика и квантовая теория, статистическая физика. Освоение дисциплины позволит в дальнейшем изучать курсы естественнонаучного цикла, спецкурсы по выбору студента. Данная дисциплина призвана выработать профессиональные компетенции, связанные со способностью использовать теоретические знания в области квантовой механики, статистической физики, теория поля, классической электродинамики для решения конкретных точно решаемых задач статистической физики.

Данная дисциплина является одной из основных в подготовке студентов по направлению «Физика» и по профилю «Теоретическая и математическая физика».

### 3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения).

Код и наименование компетенции из ОПОП	Код и наименование индикатора достижения компетенций	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
УК-1 Способность осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий.	М-ИУК-1.1. Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними	<b>Знает:</b> методы системного и критического анализа; <b>Умеет:</b> применять методы системного подхода и критического анализа проблемных ситуаций; <b>Владеет:</b> методологией системного и критического анализа проблемных ситуаций.	Устный опрос, письменный опрос;
	М-ИУК-1.2. Определяет пробелы в информации, необходимой для решения проблемной ситуации, и проектирует процессы по их устранению	Умеет: выявлять проблемные ситуации, используя методы анализа, синтеза и абстрактного мышления.	
	М-ИУК-1.3. Критически оценивает надежность источников информации, работает с противоречивой информацией из разных источников	Умеет: производить анализ явлений и обрабатывать полученные результаты; оценивать адекватность и достоверность информации о проблемной ситуации, работать с противоречивой информацией из разных источников	
	М-ИУК-1.4. Разрабатывает и содержательно аргументирует стратегию решения проблемной ситуации на основе системного и междисциплинарного подходов	Умеет: осуществлять поиск решений проблемных ситуаций на основе действий, эксперимента и опыта; определять в рамках выбранного алгоритма вопросы (задачи), подлежащие дальнейшей разработке и предлагать способы их решения; <b>Владеет:</b> технологиями	

		выхода из проблемных ситуаций, навыками выработки стратегии действий	
	М-ИУК-1.5 Строит сценарии реализации стратегии, определяя возможные риски и предлагая пути их устранения	Знает: методики разработки стратегии действий для выявления и решения проблемной ситуации; Умеет: разрабатывать стратегию действий, принимать конкретные решения для ее реализации; Владеет: методиками постановки цели, определения способов ее достижения, разработки стратегий действий	
ОПК-1. Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности	ОПК-1.1. Владеет фундаментальными знаниями в области физики	<b>Знает:</b> - физико-математический аппарат, необходимый для решения задач профессиональной деятельности - тенденции и перспективы развития современной физики, а также смежных областей науки и техники; - основные понятия, идеи, методы, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач физики; <b>Умеет:</b> - применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности; - выявлять естественно-научную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, анализировать	Устный опрос, письменный опрос;

		<p>и обрабатывать соответствующую научно-техническую литературу с учетом зарубежного опыта.</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками находить и критически анализировать информацию, выявлять естественнонаучную сущность проблем.</li> <li>- основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности</li> </ul>	
	<p><b>ОПК-1.2.</b> Использует фундаментальные знания в области физики при решении научно-исследовательских задач.</p>	<p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать фундаментальные знания в области физики при решении научно-исследовательских задач.</li> <li>- реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области научно-исследовательской деятельности.</li> </ul>	
	<p><b>ОПК-1.3.</b> Применяет специальные технологии и методы для реализации преподавательской деятельности.</p>	<p><b>Знает:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основы качественного и количественного анализа методов решения выявленной проблемы.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- применять специальные технологии и методы для реализации преподавательской</li> </ul>	

		<p>деятельности;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбирать метод решения выявленной проблемы, проводить его качественный и количественный анализ, при необходимости вносить необходимые коррективы для достижения оптимального результата.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальными технологиями и методами для реализации преподавательской деятельности.</li> </ul>	
<p>ПК-4. Способен планировать работу и выбирать адекватные методы решения научно-исследовательских задач в выбранной области физики и смежных с физикой науках</p>	<p><b>ПК-4.1.</b> Составляет общий план исследования и детальные планы отдельных стадий исследований</p>	<p>Знает: теоретические и экспериментальные основы современных методов исследований изучаемых процессов и явлений. Умеет: самостоятельно ставить задачу и решать ее; использовать достижения современных информационно-коммуникационных технологий для выполнения экспериментальных и теоретических исследований; анализировать и интерпретировать результаты эксперимента на основе современных теоретических моделей; правильно организовать и планировать эксперимент; правильно применять различные теоретические модели для анализа результатов эксперимента. Владеет: основами современных методов экспериментальных исследований в данной области науки; основами теоретических разработок в своей области исследований;</p>	<p>Устный опрос, письменный опрос;</p>
	<p>ПК-4.2. Выбирает экспериментальные и расчетно-теоретические методы решения поставленной задачи исходя из имеющихся</p>		

	<p>материальных и временных ресурсов</p> <p><b>ПК-4.3.</b> Анализирует и обобщает результаты научно-исследовательских работ с использованием современных достижений науки и техники.</p> <p><b>ПК-4.4.</b> Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий.</p>	<p>адекватными методами планирования и решения научно-исследовательских задач в выбранной области физики и смежных с физикой науках;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками сбора, обработки, анализа и систематизации информации по теме исследования;</li> <li>- владеет логикой научного исследования, терминологическим аппаратом научного исследования в выбранной области физики и смежных с физикой науках;</li> <li>- современной аппаратурой и информационными технологиями для применения и внедрения результатов научной деятельности.:</li> </ul>	
<p><b>ПК-5.</b> Способен самостоятельно проводить физические исследования, анализировать, делать научные обобщения и выводы, выдвигать новые идеи, интерпретировать и представлять результаты научных исследований.</p>	<p><b>ПК-5.1.</b> Способен анализировать и обобщать результаты патентного поиска по тематике проекта в области фундаментальной физики.</p> <p><b>ПК-5.2.</b> Создает теоретические модели, позволяющие прогнозировать свойства исследуемых объектов, и разрабатывает предложения по внедрению результатов.</p> <p><b>ПК-5.3.</b> Осуществляет сбор научной информации, готовит обзоры, аннотации,</p>	<p><b>Знает:</b> методы исследований, проведения, обработки и анализа результатов испытаний и измерений; критерии выбора методов и методик исследований; правила и условия выполнения работ, технических расчетов, оформления получаемых результатов.</p> <p><b>Умеет:</b> проводить испытания, измерения и обработку результатов; регистрировать показания приборов; проводить расчёты критически анализировать результаты делать выводы.</p> <p><b>Владеет:</b> выбором испытательного и измерительного</p>	

	составляет рефераты и отчеты, библиографии.	оборудования, необходимого для проведения исследований; выполнением оценки и обработки результатов исследования; навыками выбора экспериментальных и расчетно-теоретических методов решения поставленной задачи исходя из имеющихся материальных и временных ресурсов.	
	<b>ПК-5.4.</b> Участвует в научных дискуссиях и процедурах защиты научных работ различного уровня, выступает с докладами и сообщениями по тематике проводимых исследований.		
ПК-6. Способен эксплуатировать современную аппаратуру и оборудование для выполнения научных и прикладных физических исследований в области физики твердого тела.	<b>ПК-6.1.</b> Имеет представления о методиках технологиях физических исследований с помощью современного оборудования.	<b>Знает:</b> методы обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики твердого тела; физические основы проведения исследований методами теоретической и математической физики; <b>Умеет:</b> пользоваться современной приборной базой для проведения экспериментальных и (или) теоретических физических исследований в области физики твердого тела; анализировать устройство используемых ими приборов и принципов их действия, приобрести навыки выполнения физических измерений, проводить обработку результатов измерений с использованием статистических методов и современной вычислительной техники. <b>Владеет:</b> методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики твердого тела; некоторыми диагностические методы	
	<b>ПК-6.2.</b> Знает теорию и методы физических исследований в теоретической и математической физике		
	<b>ПК-6.3.</b> Знает теорию и методы физических исследований в области физики твердого тела.		
	<b>ПК-6.4.</b> Способен собирать, обрабатывать, анализировать и обобщать результаты экспериментов и исследований в соответствующей области знаний, проводить эксперименты и наблюдения,		

	составлять отчеты по теме или по результатам проведенных экспериментов	исследования теоретической и математической физики; методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической информации в области физики твердого тела навыками исследования физических процессов, протекающих в сложных физических системах.	
--	--	---	--

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

4.1. Объем дисциплины составляет 4 зачетные единицы, 144 академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоят. работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)
				Лекции	Практические занятия	Лабораторные	Контроль		Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
<b>Модуль 1. Теория проводимости металлов. Периодические структуры.</b>									
1.	Теория проводимости металлов. Основные предположения модели. Столкновения и времена релаксации. Статистическая электропроводность. Высокочастотная теплопроводность.	1		4	2			14	опрос

2.	Трансляционная симметрия. Периодические функции. Кристаллические решетки. Решетка Бравэ. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтда. Теорема Блоха.		2	4		14	опрос
<b>Итого по модулю 1</b>			6	6		24	
<b>Модуль 2. Обратная решетка. Электронные состояния.</b>							
1.	Обратная решетка как решетка Бравэ. Привидение к зоне Бриллюэна. Граничные условия. Подсчет состояний. Колебания решетки. Свойства колебаний решетки. Удельная теплоемкость решетки.	1	6	6		24	опрос
<b>Итого по модулю 2</b>			6	6		24	
<b>Модуль 3.</b>							
2.	Свободные электроны. Образование энергетических зон. Дифракция валентных электронов. Модель почти свободных электронов. Метод сильной связи.		6	6		24	опрос
<b>Итого по модулю 3</b>			6	6		24	
<b>Модуль 4</b>						36	экзамен
<b>ИТОГО</b>			18	18		72	

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

#### 4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине.

**Модуль 1. Теория проводимости металлов. Периодические структуры.** Основные предположения модели. Столкновения и времена релаксации. Статистическая электропроводность. Высокочастотная теплопроводность. Теплопроводность. Трансляционная симметрия. Периодические функции. Кристаллические решетки. Решетка Бравэ. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтда. Теорема Блоха.

**Модуль 2. Обратная решетка. Электронные состояния.** Обратная решетка как решетка Бравэ. Привидение к зоне Бриллюэна. Граничные условия. Подсчет состояний. Колебания решетки. Свойства колебаний решетки. Удельная теплоемкость решетки. Свободные электроны. Образование энергетических зон. Дифракция валентных электронов. Модель почти свободных электронов. Метод сильной связи.

#### 4.3.2. Содержание лабораторно-практических занятий по дисциплине.

<i>Модуль 1. Теория проводимости металлов. Периодические структуры.</i>		
<i>Название темы</i>	<i>Содержание темы</i>	<i>Объем в часах</i>
Статистическая и высокочастотная электропроводности металла.	Теория Друде. Статистическая электропроводность металла. Столкновения и времена релаксации. Высокочастотная электропроводность.	2
Кристаллические решетки.	Решетка Бравэ и основные векторы. Кубические решетки. Примитивная ячейка. Ячейки Вигнера – Зейтца и условная решетка.	2
<i>Модуль 2. Обратная решетка. Электронные состояния.</i>		
Удельная теплоемкость решетки.	Колебания решетки. Удельная теплоемкость решетки. Температура Дебая. Закон Дюлонга и Пти. Модель Эйнштейна.	2
Уровни электрона в периодическом потенциале.	Периодический потенциал и теорема Блоха. Электроны в слабом периодическом потенциале.	2
	Метод сильной связи.	2

## 5. Образовательные технологии

В течение семестра студенты посещают лекции, решают задачи, указанные преподавателем, к каждому семинару. В семестре проводятся контрольные работы (на семинарах). Аттестация проводится после решения всех задач контрольных работ, выполнения домашних и самостоятельных работ.

При проведении занятий используются компьютерные классы, оснащенные современной компьютерной техникой. При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской.

Обучающие и контролирующие модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (<http://edu.icc.dgu.ru>), к которым студенты имеют свободный доступ.

В рамках учебного процесса предусмотрено приглашение для чтения лекций

ведущих ученых из центральных вузов и академических институтов России.

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.**

### **Самостоятельная работа студентов:**

- проработка учебного материала (по конспектам лекций учебной и научной литературе) и подготовка докладов на семинарах и практических занятиях;
- написание рефератов;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки;
- решение некоторых задач с применением компьютера.

<b>Разделы и темы для самостоятельного изучения</b>	<b>Виды и содержание самостоятельной работы</b>
Теория проводимости металлов.	Основные предположения модели. Столкновения и времена релаксации. Теплопроводность.
Кристаллические решетки.	Трансляционная симметрия. Периодические функции. Кристаллические решетки. Простая, объемно-центрированная и гранецентрированная кубические решетки кубические решетки.
Обратная решетка.	Определения и примеры. Первая зона Бриллюэна. Атомные плоскости и индексы Миллера. Колебания решетки. Свойства колебаний решетки.

Теория энергетических зон электронов.	Образование энергетических зон. Свободные электроны. Дифракция валентных электронов. Модель почти свободных электронов.
---------------------------------------	---

Результаты самостоятельной работы учитываются при аттестации магистранта (экзамен). При этом проводятся: тестирование, опрос на практических занятиях, заслушиваются доклады, проверка контрольных работ и т.д.

## 7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

### 7.1. Типовые контрольные задания

#### 7.1.1. Перечень примерных контрольных тестов для текущего и итогового контроля подготовленности студентов по курсу.

1. Приближение почти свободных электронов дает более или менее удовлетворительной результат зонной структуры для:

- 1) полупроводников ,
- 2) диэлектриков,
- 3) для аморфных проводников,
- 4) металлов.

2. Блоховская функция имеет вид:

$$1) \psi_k(r) = U_k(r)e_{ikr}, \quad 2) \psi(r) = c e_{ikr}, \quad 3) \psi(r) = \sum_n (c + 1)e_{ikr}, \quad 4) \psi(r) = U(r) \sin kr.$$

3. Решетка Бравэ образованна всеми точками с радиусами- векторами  $\vec{R}$  вида  $\vec{R} = n_1 \vec{a}_1 + n_2 \vec{a}_2 + n_3 \vec{a}_3$ , где  $\vec{a}_1, \vec{a}_2, \vec{a}_3$  - любые три вектора, не лежащие все

в одной плоскости, а  $n_1, n_2, n_3$  -

- 1) все возможные четные числа
- 2) все возможные целые числа

- 3) сумма  $n_i$  обязательно четная
- 4) все возможные нечетные числа.

4. Какие из энергетических зонных структур нарисованы для полупроводников и диэлектриков?

- |   |  |
|---|--|
| 1) <u>зона проводимости</u><br><u>валентная зона</u> ▲                            | 2) <u>свободная зона</u> ▲<br><u>полузаполненная зона</u><br><u>валентная зона</u> |
| 3) <u>зона проводимости</u> ▲<br><u>запрещенная зона</u><br><u>валентная зона</u> | 4) <u>валентная зона</u> ▲<br><u>запрещенная зона</u><br><u>свободная зона</u>     |

5. Сколько разрешенных состояний в  $k$  пространстве на единицу объема.

$$1) \begin{pmatrix} k^2 \\ 2\pi \end{pmatrix}, 2) \begin{pmatrix} k_x k_y + k_y k_z \\ 2\pi \end{pmatrix}, 3) \begin{pmatrix} k \\ 2\pi \end{pmatrix}, 4) \begin{pmatrix} 2\pi \\ k^3 \end{pmatrix}.$$

6. Для одномерной решетки с переходом от значения волнового вектора в произвольной точке задаются выражением:

1) $k = \frac{\pi}{d} + \frac{2\pi}{d} n, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2.$	3) $k = \frac{d}{2\pi} n, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2.$
2) $k = \frac{\pi}{d} (n+1), \quad n = 0, \pm 1, \pm 2.$	4) $k = \frac{2\pi d}{2\pi} + \frac{d}{2\pi} n, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2.$

7. В одномерной решетке с периодом  $d$  границы зон соответствуют следующим значениям волнового вектора  $k$ .

1) $k = \frac{\pi}{d}$	3) $k = \pm \frac{\pi}{d}, \pm \frac{2\pi}{d}, \dots$
2) $k = \frac{\pi}{d} + d$	4) $k = \pm \frac{d}{\pi}, \pm \frac{2d}{\pi}, \dots$

8. Среднее расстояние между соседними уровнями энергии в разрешенной зоне с параметром решетки  $a = 0,4 \text{ нм}$ , в кристалле с объемом  $V = 1 \text{ см}^3$ , при ширине зоны 1 эВ.:

$$1) \Delta E = 10^6 \text{ эВ}, \quad 2) \Delta E = 1 \text{ мэВ}, \quad 3) \Delta E = 10^{-22} \text{ эВ}, \quad 4) \Delta E = 10^{-25} \text{ эВ}.$$

9. Положение уровня Ферми в полупроводнике n- типа проходит:

- 1) по зоне проводимости
- 2) выше зоны проводимости
- 3) ниже середины запрещенной зоны

4) выше середины запрещенной зоны.

**10.** Для обозначения плоскостей гексагональных кристаллов используется четырехосная система координат. Каждая плотность обозначается четырьмя индексами.

а) дополнительный индекс  $i$  ставится на 2-м месте и вычисляется через  $h$  и  $k$ :  $i=(h+k)$

б) дополнительный индекс  $i$  ставится на 1-м месте и вычисляется через  $k$  и  $l$ :  $i=-(k+l)$

в) дополнительный индекс  $i$  ставится на 3-м месте и вычисляется через  $h$  и  $l$ :  $i=h-l$

г) дополнительный индекс  $i$  ставится на 1-м месте и вычисляется через  $k$  и  $h$ :  $i=-(h+k)$ .

**11.** Для гексагональных кристаллов плотность базиса параллельная осям  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  имеет индексы.

а)  $(0\ 0\ 0\ 1)$ , б)  $(0\ 1\ 0\ 0)$ , в)  $(1\ 0\ 0\ 1)$ , г)  $(1\ 1\ 0\ 0)$ .

**12.** Плоскости отсекают на осях отрезки  $A=1/2$ ,  $B=2$ ,  $C=1/3$ . Плоскость обозначают так:

а)  $(4\ 6\ 1)$ , б)  $(1\ 6\ 4)$ , в)  $(4\ 1\ 6)$ , г)  $(6\ 4\ 1)$ .

**13.** Плоскости, параллельные базовым граням призмы, имеют индексы типа:

а)  $(1\ 1\ 0\ 0)$ , б)  $(1\ 0\ \bar{1}\ 0)$ , в)  $(\bar{1}\ 0\ 1\ 0)$ , г)  $(1\ 0\ 0\ \bar{1})$ .

**14.** Каждый энергетический уровень, не вырожденной в изолированном атоме, расщепляется на:

а)  $2N$ , б)  $(N+1)$ , в)  $2(N+1)$ , г)  $N$ .

близко расположенных друг от друга подуровней, образующих энергетическую зону.

**15.** Если энергетический уровень имел в атоме  $(2\ell + 1)$ - кратное вырождение, то соответствующая ему энергетическая зона будет состоять из:

а)  $2N(1+1)$ , б)  $2IN$ , в)  $l(N+1)$ , г)  $N(2l+1)$  подуровней.

**16.** С увеличением энергии электроны в атоме:

а) ширина разрешенных зон увеличивается, ширина запрещенных зон - уменьшается.

б) ширина разрешенной зон остается неизменной, ширина запрещенной зоны - уменьшается.

- в) ширина разрешенных зон и ширина запрещенных зон остается постоянной.
- г) ширина разрешенных зон уменьшается, ширина запрещенных зон – увеличивается.

17. В методе сильной связи получаем зонную структуру соответствующей S-зоны:

$$\text{а) } E(k) = E_s + \frac{\beta + \sum \gamma(R) e^{i\vec{k}\vec{R}}}{1 + \sum \alpha(R) e^{i\vec{k}\vec{R}}}, \quad \text{б) } E(k) = E_s - \frac{\beta + \sum \gamma(R) e^{i\vec{k}\vec{R}}}{1 + \sum \alpha(R) e^{i\vec{k}\vec{R}}},$$

$$\text{в) } E(k) = E_s + \beta + \sum \alpha(R) e^{i\vec{k}\vec{R}}, \quad \text{г) } E(k) = \frac{E_s + \beta - \sum \gamma(R) e^{i\vec{k}\vec{R}}}{1 + \sum \alpha(R) e^{i\vec{k}\vec{R}}}.$$

18. В методе сильной связи зонная структура соответствующей S-зоны в случае Г.Ц.К.

$$\text{а) } E(k) = E_s - \beta - 4\gamma \left( \frac{1}{\cos \frac{k_x a}{2} \cos \frac{k_y a}{2} + \cos \frac{k_y a}{2} \cos \frac{k_z a}{2} + \cos \frac{k_z a}{2} \cos \frac{k_x a}{2}} \right),$$

$$\text{б) } E(k) = E_s - \beta - 4\gamma \left( \frac{1}{\cos \frac{k_x a}{2} + \cos \frac{k_y a}{2} + \cos \frac{k_z a}{2}} \right),$$

$$\text{в) } E(k) = E_s - \beta - 4\gamma (\cos k_x a + \cos k_y a + \cos k_z a).$$

$$\text{г) } E(k) = E_s + \beta + 12\gamma (\cos k_x a + \cos k_y a + \cos k_z a).$$

19. Ортогонализованная плоская волна  $\Phi_k$  имеет вид:

$$\text{а) } \Phi_k = \sum_c b_c \psi_c(k), \quad \text{б) } \Phi_k = U_k(r) e^{i\vec{k}\vec{R}}, \quad \text{в) } \Phi_k = \sum_c b_c \psi_c(k) + U_k(r) e^{i\vec{k}\vec{R}},$$

$$\text{г) } \Phi_k = e^{i\vec{k}\vec{R}} + \sum_c b_c \psi_c(r).$$

20. Псевдопотенциал определяется как:

- а) сумма реального периодического потенциала  $U$  и величины  $V^R$ ,
- б) сумма реального периодического потенциала  $U$ .
- в) сумма реального кристаллического потенциала.
- г) сумма функций Ванье.

21. Для расчета зон с использованием МТ-потенциала широко применяются:

- а) два метода (метод присоединенных плоских волн и метод ККР),

- б) только метод ККР,
- в) только метод присоединенных плоских волн,
- г) методы ОПВ и ППВ.

22. МТ - потенциал совпадает:

- а) с потенциалом свободного атома,
- б) с потенциалом изолированного иона,
- в) в Кулоновском потенциалом,
- г) с псевдопотенциалом.

23. Геометрический структурный фактор имеет вид:

$$\text{а) } S_k = \beta + \sum_{j=1}^n e^{ikR_j}, \quad \text{б) } S_k = \beta + \sum_{j=1}^n e^{ik(r+R_j)}, \quad \text{в) } S_k = \sum_{j=1}^n e^{ikd_j} \quad \text{г) } S_k = \sum_{j=1}^n e^{ikR_j}.$$

24. Первая зона Бриллюэна есть совокупность точек:

- а) в  $k$  – пространстве, которых логично достичь из начальной точки, не пересекая ни одной брэгговской плоскости,
- б) в  $k$  – пространстве, которых можно достичь, пересекая всего одну брэгговскую плоскость,
- в) в  $k$  – пространстве, удовлетворяющая условию периодичности, которых можно достичь из начальной точки,
- г) в  $k$  – пространстве, которых можно достичь из начальной точки путем трансляции вектора  $VR$ .

25. Особенности Ван-Хова называют, когда в формуле

$$g_n(\varepsilon) = \int_{s_n(\varepsilon)} \frac{ds}{4\pi^3} \frac{1}{|\nabla \varepsilon_n(k)|} \quad \text{плотности уровней:}$$

- а) интеграл имеет максимальное значение,
- б) в каждой элементарной ячейке  $g_n(\varepsilon)$  имеет минимальное значение,
- в) в каждой ячейке  $g_n(\varepsilon)$  имеет постоянное значение,
- г) когда градиент  $\varepsilon_n$  обращается в нуль, в подынтегральном выражении.

26. В  $k$  – пространстве каждой частично заполненной зоне соответствует поверхность, называя поверхность Ферми:

- а) отделяющая занятые уровни от незанятых,
- б) поверхность примыкающая к свободной зоне,
- в) поверхность с максимальной энергией электронов
- г) поверхность, образуемая в заполненной зоне.

27. Координационным числом называется – это:
- а) общее число соседей в ячейке Вигнера - Зейтца,
  - б) число атомов в элементарной ячейке,
  - в) число решеток Бравэ в примитивной ячейке,
  - г) число ближайших соседей в решетке Бравэ.

**Таблица ответов к тестам.**

<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>
4	1	2	3	3	1	3	3	4	4	4	1	3	4
<b>15</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	
4	1	2	1	1	1	1	2	3	4	4	1	4	

**7.1.2. Перечень вопросов к зачету:**

1. Основные предположения модели Друде.
2. Статистическая электропроводность.
3. Столкновения и времена релаксации.
4. Высокочастотная электропроводность металлов.
5. Теплопроводность металла.
6. Решетка Бравэ и основные векторы.
7. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера – Зейтца.
8. Обратная решетка.
9. Обратная решетка как решетка Бравэ.
10. Первая зона Бриллюэна.
11. Теорема Блоха.
12. Модель почти свободных электронов.
13. Метод сильной связи.
14. Граничное состояние Борна – Кармана.
15. Подсчет состояний.
16. Поверхность Ферми.
17. Плотность уровней.
18. Свойства колебаний решетки.
19. Удельная теплоемкость решетки.
20. Температура Дебая.
21. Закон Дюлонга – Пти.
22. Модель Эйнштейна.

**7.1.3. Тематика контрольных работ.**

1. Определение плотности состояний из спектральной зависимости коэффициента поглощения.

2. Спектроскопия локализованных состояний.
3. Энергетическая зонная структура p-зоны с сильной связью в кубических кристаллах.
4. Метод Гриновских функций Корринги Кона и Ростокера(К.К.Р).
5. Свойства волновых функций валентных зон.
6. Комбинированные методы расчета зонной структуры полупроводников.
7. Зависимость энергии электронов вдоль главных направлений симметрии в приближении сильной связи для энергий s-зоны в г.ц.к. кристалле.
8. Плотность уровней.
9. Периодические потенциалы в одномерном случае.
10. Электроны в слабом периодическом потенциале.

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.**

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля - 50% и промежуточного контроля - 50%.

Текущий контроль по дисциплине включает:

#### Лекции

- посещение занятий – 10 баллов,
- активное участие на лекциях – 15 баллов,
- устный опрос, тестирование, коллоквиум – 60 баллов,
- и др. (выполнение домашних работ, доклады, рефераты) – 15 баллов.

#### Практические занятия

- посещение занятий – 10 баллов,
- активное участие на практических занятиях – 15 баллов,
- выполнение домашних работ – 15 баллов,
- выполнение самостоятельных работ – 20 баллов,
- выполнение контрольных работ – 40 баллов.

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос – 60 баллов,
- письменная контрольная работа – 30 баллов,
- тестирование – 10 баллов.

## **8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.**

### **б) основная литература:**

1. Борчердс Р.Е. Квантовая теория поля [Электронный ресурс] / Р.Е. Борчердс. — Электрон. текстовые данные. — Москва, Ижевск: Регулярная и хаотическая динамика, Ижевский институт компьютерных исследований, 2006. — 96 с. — 978-5-93972-627-6. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/16540.html> (17.10.2018)
2. Пайерлс Р. Квантовая теория твердых тел / М.: Книга по Требованию, 2012. — 260 с.;
3. Анималу, Александр О. Е. Квантовая теория кристаллических твердых тел / А. Анималу; Пер. с англ. Е. Л. Ивченко, А. Л. Эфроса. — Москва: Мир, 1981. — 574 с.;
4. Ашкрофт Н., Мермин Н., «Физика твердого тела» / М., 1979г.;
5. Киттель Ч., «Введение в физику твердого тела» / М., 1978г.;
6. Займан Дж. «Принципы теории твердого тела» / М., 1974г.;
7. О.Маделунг. Физика твердого тела. Локализованные состояния / М.: «Наука» 1985г.;
8. Каллуэй Дж. «Теория энергетической зонной структуры» / М.: Мир, 1969г.;
9. Бассани, Дж. Пастори Парравичини. «Электронные состояния и оптические переходы в твердых телах» / М., 1882г.

### **дополнительная литература:**

1. Кащенко А.П. Физика твердого тела. Физика ядра. Ядерные реакции [Электронный ресурс] : методические указания к практическим занятиям и домашним заданиям по дисциплинам: «Взаимодействие излучения с веществом», «Теоретическая физика», «Физические свойства твердых тел» / А.П. Кащенко, Г.С. Строковский, С.И. Шарапов. — Электрон. текстовые данные. — Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2015. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/55674.html> (12.10.2018)
2. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. «Физика твердого тела» / М.: Высшая школа, 2000г.;
3. Ансельм А.И. «Введение в теорию полупроводников» / М.: Наука 1978г.;
4. Брич- Бруевич В.Л, Калашников С.Т. «Физика полупроводников», М., 1977г.;
5. Киреев П.С. «Физика полупроводников» / М.: Высшая школа, 1975г.;

6. Шалимова К.В. «Физика полупроводников» / М.: Энергоавтомиздат,
7. Харрисон У. Теория твердого тела / М.: "Мир", 1972г.

## 9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>  
Лицензионный договор № 2693/17 от 02.10.2017г. об оказании услуг по предоставлению доступа. Доступ открыт 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.рф/>. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 от 1.08.2017г. Договор действует в течении 1 года с момента его подписания.
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 государственного университета.
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

## **10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.**

Перечень учебно-методических материалов, предоставляемых студентам во время занятий:

- рабочие тетради студентов;
- наглядные пособия;
- словарь терминов;
- тезисы лекций,
- раздаточный материал по тематике лекций.

Оптимальным путем освоения дисциплины является посещение всех лекций и семинаров, выполнение предлагаемых заданий в виде задач, тестов и устных вопросов.

На лекциях рекомендуется деятельность студента в форме активного слушания, т.е. предполагается возможность задавать вопросы на уточнение понимания темы и рекомендуется конспектирование лекции. На семинарских занятиях деятельность студента заключается в активном обсуждении задач, решенных другими студентами, решении задач самостоятельно, выполнении контрольных заданий. В случае, если студентом пропущено лекционное или семинарское занятие, он может освоить пропущенную тему самостоятельно с опорой на план занятия, рекомендуемую литературу и консультативные рекомендации преподавателя.

Перед проведением экзамена проводится коллективная аудиторная консультация, на которой даются советы по подготовке к экзамену. В целом рекомендуется регулярно посещать занятия и выполнять текущие задания, что обеспечит достаточный уровень готовности к сдаче экзамена.

## **11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.**

- Программное обеспечение для лекций: MS PowerPoint (MS PowerPoint Viewer), Adobe Acrobat Reader, средство просмотра изображений, табличный процессор.

- Программное обеспечение в компьютерный класс: MS PowerPoint (MS PowerPoint Viewer), Adobe Acrobat Reader, средство просмотра изображений, Интернет, E-mail.
- Электронная библиотека механико-математического факультета МГУ. <http://lib.mexmat.ru/>
- Научно-образовательный центр при МИАН <http://www.mi.ras.ru/>.

## **12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.**

Лекционные и практические занятия проводятся в аудиториях факультета. Технические средства обучения, используемые в учебном процессе для освоения дисциплины:

1. компьютерное оборудование, которое используется в ходе изложения лекционного материала;
2. пакет плакатов и графиков, используемых в ходе текущей работы, а также для промежуточного и итогового контроля;
3. электронная библиотека курса и Интернет-ресурсы – для самостоятельной работы.