



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

Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Энергетические спектры электронов, фононов и свойства
конденсированных сред**

Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем

Образовательная программа
03.03.02 – Физика

Профиль подготовки:
Фундаментальная физика

Уровень высшего образования:
Бакалавриат

Форма обучения:
Очная

Статус дисциплины:
по выбору

Махачкала 2021

Рабочая программа дисциплины «Энергетический спектр электронов, фононов и свойства конденсированных сред» составлена в 2021 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки **03.03.02 – Физика**, профиль подготовки: Фундаментальная физика от 07 августа 2020г. № 891.

Разработчик(и): кафедра физики конденсированного состояния и наносистем,
доктора ф.-м.н., профессора Палчаев Д.К. и Мурлиева Ж.Х.



Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем от « 26 » июня 2021 г., протокол № 10.

1. Зав. кафедрой



Рабаданов М.Х. .

Утверждена на заседании методической комиссии физического факультета от «_30_» июня 2021 г., протокол №10.

Председатель



Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением «_9_» июля 2021 г.

Начальник УМУ



Гасангаджиева А.Г.

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Энергетический спектр электронов, фононов и свойства конденсированных сред» входит в вариативную часть ОПОП бакалавриата по направлению (специальности) 03.03.02 – Физика.

Дисциплина реализуется на кафедре физики конденсированного состояния и наносистем физического факультета. Спецкурс «Энергетический спектр электронов, фононов и свойства конденсированных сред» является одним из основополагающих разделов физики конденсированных сред. Цель спецкурса не только в получении фундаментальных знаний, но в расширении кругозора студентов, необходимого при решении нестандартных задач, в том числе и прикладного характера.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника: общепрофессиональных – ОПК-1 и ОПК-2 профессиональных – ПК-10, ПК-11. Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа. Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме – контрольная работа, коллоквиум и промежуточный контроль в форме зачета.

Объем дисциплины **72** часа, **2** зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

Семес тр	Учебные занятия						СРС, в том числе зачет	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцирован ный зачет, экзамен)
	в том числе							
	Контактная работа обучающихся с преподавателем							
	Всег о	из них						
Лекции		Лаборатор ные занятия	Практиче ские занятия	КСР	консульта ции			
7	72	18		34			20	зачет

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины «Энергетический спектр электронов, фононов и свойства конденсированных сред» являются: формирование у студентов системы знаний по физике конденсированного состояния, общекультурных и профессиональных компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 - Физика.

В результате изучения данной дисциплины студенты приобретают сведения о природе формирования энергетического спектра электронов и фононов, а также знания, необходимые для оценок свойств металлов и неметаллов. Кроме изложения основных вопросов курса рассматривается связь кинетических свойств с другими свойствами.

Изучение этого спецкурса будет способствовать формированию навыков при решении задач и постановке простейших экспериментов, необходимых для расширения кругозора, понимания и дальнейшего изучения различных разделов физики. В конечном итоге, все это направлено на подготовку профессиональных и конкурентоспособных специалистов в области физики конденсированного состояния, способных работать на инженерно-технических должностях в научно-исследовательских лабораториях НИИ, вузов, предприятий.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина «Энергетический спектр электронов, фононов и свойства конденсированных сред» входит в блок **Б1.В.ДВ.03.03** образовательной программы (ФГОС ВО) бакалавриата по направлению **03.03.02**– «Физика», профиля подготовки «Фундаментальная физика».

Особенность программы состоит в фундаментальном характере изложения дисциплины, направленной на выработку профессиональных компетенций, связанные со способностью использовать теоретические знания в области общей физики, статистической физики для решения конкретных практических задач с учетом особенностей спектра колебаний атомов кристаллической решетки.

В условиях возросшей актуальности в разработке технологии новых конструкционных материалов, в частности наноразмерных, необходимо повышение уровня образования студентов за счет изучения связи параметров неравновесной с параметрами равновесной термодинамики. Изучение особенностей энергетического спектра электронов и фононов расширяет возможности понимания процессов, происходящих в твердых телах, связанных с динамикой решетки атомов.

Микроскопическое рассмотрение природы формирования электро- и теплопроводности и их температурной зависимости с учетом ангармонизма колебаний атомов, в том числе в наноразмерных объектах, вырабатывает способность к абстрактному мышлению, применению математического аппарата, выявлению причинно-следственной связи различных процессах. Совокупность приобретенных знаний может быть полезной при создании и аттестации эксплуатационных характеристик новых конструкционных материалов.

Изучение настоящего спецкурса необходимо для облегчения усвоения студентами других разделов физики твердого тела: физики диэлектриков, физики полупроводников, физики металлов и физики магнитных явлений.

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

Код и наименование компетенции из ФГОС ВО	Код и наименование индикатора достижения компетенций (в соответствии с ПООП (при наличии))	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ОПК-1 Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональ	ОПК-1.1. Выявляет и анализирует проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности, основываясь на современной научной картине мира	Знает: - физико-математический аппарат, необходимый для решения задач профессиональной деятельности - тенденции и перспективы развития современной физики, а также смежных областей науки и техники. Умеет: - выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, анализировать и обрабатывать	Устный опрос

ной деятельности		соответствующую научнотехническую литературу с учетом зарубежного опыта. Владеет: - навыками находить и критически анализировать информацию, выявлять естественнонаучную сущность проблем.	
	ОПК-1.2. Реализует и совершенствует новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности	Знает: - основные понятия, идеи, методы, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач физики; - новые методологические подходы к решению задач в области профессиональной деятельности. Умеет: - реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности. Владеет: - навыками реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности	Устный опрос
	ОПК-1.3. Проводит качественный и количественный анализ выбранного методов решения выявленной проблемы, при необходимости вносит необходимые коррективы.	Знает: - основы качественного и количественного анализа методов решения выявленной проблемы. Умеет: - выбирать метод решения выявленной проблемы, проводить его качественный и количественный анализ, при необходимости вносить необходимые коррективы для достижения оптимального результата. Владеет: - навыками проводить качественный и количественный анализ методов решения выявленной проблемы, оценивать эффективность выбранного метода.	Устный опрос
ОПК-2 Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и	ОПК-2.1. Выбирает или самостоятельно формулирует тему исследования, составляет программу	Знает: - актуальные проблемы, основные задачи, направления, тенденции и перспективы развития физики, а также смежных областей науки и техники. - принципы планирования экспериментальных исследований для решения поставленной задачи.	Устный опрос

<p>процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные</p>	<p>исследования.</p>	<p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований; - рассматривать возможные варианты реализации экспериментальных исследований, оценивая их достоинства и недостатки. <p>Владеет: - навыками формулировать конкретные темы исследования, планировать эксперименты по заданной методике для эффективного решения поставленной задачи.</p>	
	<p>ОПК-2.2. Самостоятельно выбирает методы исследования, разрабатывает и проводит исследования.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - современные инновационные методики исследований, в том числе с использованием проблемно-ориентированных прикладных программных средств. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - предлагать новые методы научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению поставленных задач; - самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования. 	<p>Устный опрос</p>
	<p>ОПК-2.3. Анализирует, интерпретирует, оценивает, представляет и защищает результаты выполненного исследования с обоснованными выводами и рекомендациями.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные приемы обработки и представления результатов выполненного исследования; - передовой отечественный и зарубежный научный опыт и достижения по теме исследования. <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - использовать основные приемы обработки, анализа и представления экспериментальных данных; - формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по выполненной работе. <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками обработки, анализа и интерпретации полученных данных с использованием современных информационных технологий; 	<p>Устный опрос</p>

		формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по исследовательской работе.	
ПК-10 Владеет методами теоретической физики в применении к профессиональным задачам.	ПК-10.1. Владеет специальными знаниями в области квантовой теории.	<p>Знает: основные физические явления и основные принципы квантовой теории, границы их применения и применение принципов в важнейших практических приложениях; основные физические величины и константы теоретической физики, их определения, смысл, способы и единицы измерения; фундаментальные физические эксперименты в области исследования частиц и волн, и их роль в развитии науки.</p> <p>Умеет: объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления, эффекты и точки зрения фундаментальных физических взаимодействий; указать какие законы описывают то или иное явление (эффект); интерпретировать смысл физических величин и понятий; использовать методы адекватного физического и математического моделирования и методы теоретического анализа к решению конкретных проблем.</p> <p>Владеет: навыками использования основных физических законов и принципов в практических приложениях; навыками применения основных методов теоретического анализа связи электро- и тепло сопротивления с тепловым расширением.</p>	Устный опрос
	ПК-10.2. Владеет специальными знаниями в области теоретической механики и электродинамик и	<p>Знает: основные законы динамики материальной точки и системы материальных точек; основные законы движения материальной точки относительно неинерциальных систем отсчета; колебания систем со многими степенями свободы и их основные характеристики; законы и принципы аналитической механики, электродинамики.</p> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> • проводить теоретические оценки 	Устный опрос

		<p>(расчеты) температурных зависимостей кинетических (электро- и теплосопротивление) и равновесных (теплоемкость) свойств;</p> <ul style="list-style-type: none"> определять пределы возможности принятых теоретических моделей при интерпретации свойств конденсированных сред обусловленных эффектом ангармонизма; <p>Владеет: основными физическими законами и принципами использования теоретической механики и электродинамики в практических приложениях; методами использования основных методов теоретического анализа для решения задач, связанных с процессами переноса элементарных зарядовых решеточных возбуждений.</p>	
	<p>ПК-10.3. Применяет методы математической физики для постановки и решения задач в профессиональной деятельности</p>	<p>Знает: теоретические основы, основные понятия, законы и модели линейных и нелинейных уравнений математической физики.</p> <p>Умеет: понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями и моделями линейных и нелинейных уравнений математической физики.</p> <p>Владеет: методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации.</p>	Устный опрос
	<p>ПК-10.4. Способен использовать основные методы теоретической физики.</p>	<p>Знает: Основные модели и приближения, в частности соотношения Онсагера и Пригожина, возможности применения этих законов и принципов для понимания сути явлений переноса; основные стандарты, формы, правила составления научной документации и их отдельные особенности.</p> <p>Умеет: критически оценивать следствия тех или иных решений, открытий в теоретической физике, на дальнейший</p>	Устный опрос

		<p>ход развития науки в целом; применять знания, полученные при изучении теоретической физики, для решения конкретных физических задач; составлять доклады для выступления на различных форумах, заседаниях, семинарах.</p> <p>Владеет: возможностью применять методы теоретической физики для формирования общих взглядов на характер науки, научных исследований; типовыми методологиями, приемами, технологиями, применяемыми при написании, составлении обзоров проведенных научных исследований; существующими методами, законами теоретической физики, которые можно применить для решения задач в различных областях человеческой деятельности</p>	
<p>ПК-11 Способен понимать теорию и методы исследования физики конденсированного состояния вещества</p>	<p>ПК-11.1. Базовые теоретические знания по физике конденсированного состояния из фундаментальных разделов общей и теоретической физики;</p>	<p>Знает: типы связей в конденсированных средах, классификацию веществ – металлы полупроводники и диэлектрики; связь структуры и свойств конденсированных сред; диаграммы состояния многоатомных материалов.</p> <p>Умеет: оценивать тип связи в конденсированных средах согласно их классификации – металлы полупроводники и диэлектрики; строить бинарные диаграммы состояния материалов.</p> <p>Владеет: знаниями об энергии взаимодействия между атомами для различных типов связей; знаниями по расшифровке диаграмм состояния многоатомных материалов</p>	Устный опрос
	<p>ПК-11.2. Физические основы и природа кристаллических классов и пространственных групп.</p>	<p>Знает: принципы формирования структуры и элементы кристаллофизики: типы кристаллических решеток; сингонии; плотность упаковки элементарных ячеек; виды дефектов в кристаллах; методы дифракционного анализа.</p> <p>Умеет:</p>	Устный опрос

	<p>определять типы кристаллических решеток, направления и плоскости решеток; определять элементы симметрии; плотность упаковки элементарных ячеек; расшифровывать результаты дифракционного анализа.</p> <p>Владеет:</p> <p>знаниями об идеальных и реальных структурах; методами определения направления и плоскости решеток, а также элементов симметрии; методами оценки плотности упаковки элементарных ячеек; методами дифракционного анализа</p>	
<p>ПК-11.3. Современные представления о формировании физических свойств конденсированных сред.</p>	<p>Знает:</p> <p>формирование зарядовых возбуждений и их релаксацию; процессы формирования равновесных и транспортных свойств; температурные зависимости механических, электрических, тепловых, магнитных и оптических свойств конденсированных сред; связь структуры с механическими, электрическими, тепловыми, магнитными и оптическими свойствами.</p> <p>Умеет:</p> <p>оценивать параметры зарядовых возбуждений и их релаксации при формировании транспортных свойств; интерпретировать температурные зависимости механических, электрических, тепловых, магнитных и оптических свойств конденсированных сред.</p> <p>Владеет:</p> <p>методами оценки параметров температурных зависимостей электрических и тепловых свойств конденсированных сред по экспериментальным данным; методами теоретической оценки параметров, электрических и тепловых свойств, процессов формирования равновесных и транспортных свойств; методами интерпретации связи структуры с электрическими и тепловыми, свойствами.</p>	Устный опрос
<p>ПК-11.4. Особенности</p>	<p>Знает: физику отличительных особенностей формирования свойств в</p>	Устный опрос

	свойств в монокристаллических, керамических и нано материалах	моно- и микрокристаллических, керамических и наноматериалах. Умеет: Интерпретировать особенности кинетических свойств микрокристаллических, керамических и наноматериалов. Владеет: Способами оценки кинетических свойств наноструктурированных материалов.	
--	---	---	--

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 2 зачетные единицы, **72** академических часа.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учеб. раб., включая самост. раб. студ. и трудоемкость (в часах)				сам. Раб.	Форма текущего контроля успеваемости. (по неделям семестра.) Форма промежуточной аттестации (по неделям семестра)
				Лекции	Прак. Зан.	Лаб. зан.	Контроль сам. Раб.		
Модуль 1. Электронная структура и свойства металлов									
1.	Тема 1. Классические и квантово - механические представления в теории металлов. Приближение свободных электронов.	7	1-2	2	4	-	2	.	Контр. раб
2	Тема 2. Теплоемкость Ферми-газа. Плотность электронных состояний. Приближение почти свободных электронов.	7	3-4	2	4	-	2		Контр. раб
3	Тема 3. Зоны Бриллюэна. Закон дисперсии для обобществленных электронов в поле периодического потенциала.	7	5-6	2	4	-	4		Тест
4	Тема 4. Кинетические свойства металлов. Соотношения Онзагера. Обобщенные уравнения переноса.	7	7-8	2	4	-	4		Тест
Итого по модулю 1: 36 час.				8	16	-	12		

Модуль 2. Энергетический спектр фононов и тепловые свойства								
3	<u>Тема 1. Фононы</u> Границы частотного спектра колебаний решетки. Колебания цепочки из атомов одного сорта.	7	9-10	2	2	-	.	Коллоквиум
4	<u>Тема 2. Колебания цепочки из атомов двух сортов.</u> Акустические и оптические моды колебаний.	7	11-12	2	4	-	2	Контр. Раб.
5	<u>Тема 3. Теплоемкость твердых тел.</u> Приближение Эйнштейна и Дебая.	7	12-13	2	4	-	2	Тест
6	<u>Тема 4. Тепловое расширение</u> Микроскопическая и феноменологические теории..	7		2	4	-	2	Тест
7	<u>Тема 5. Теплопроводность.</u> Решеточн. теплопроводность. Расчет температурной зависимости теплопроводности (формула Лейбфрида и Шломана).	7		2	4	-	2	Контр. Раб.
8	Итого по модулю 2: 36 час			10	18	-	8	зачет
	Итого по дисциплине: 72 час			18	34	-	20	

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

4.3.1. Содержание лекционных занятий по дисциплине.

Модуль 1. Электронная структура и свойства металлов.

Тема 1. Понятие металла. Классическая электронная теория металлов.

Квантово-механические представления в теории металлов. Приближение свободных электронов.

Тема 2. Магнитная восприимчивость и теплоемкость Ферми-газа. Плотность электронных состояний. Приближение почти свободных электронов.

Тема 3. Зоны Бриллюэна. Построение зон Бриллюэна. Закон дисперсии для обобществленных электронов в поле периодического потенциала. Сравнение моделей слабой и сильной связей.

Тема 4. Кинетические свойства металлов. Соотношения Онзагера. Обобщенные уравнения переноса. Механизмы рассеяние электронов в переходных и непереходных металлах. Длина свободного пробега.

Модуль 2. Энергетический спектр фононов и тепловые свойства

Тема 1. Уравнение упругой волны. Границы частотного спектра колебаний решетки. Нулевые колебания. Фононы. Колебания цепочки из атомов одного сорта.

Тема 2. Колебания цепочки из атомов двух сортов. Закон дисперсии в акустической и оптической ветвях колебаний атомов.

Тема 3. Теплоемкость твердых тел. Функции спектральной плотности состояний в модели Дебая и Эйнштейна. Приближение Эйнштейна. Приближение Дебая. Соотношение между характеристическими температурами Дебая и Эйнштейна.

Тема 4. Тепловое расширение. Микроскопическая и феноменологические теории. Истинные и средние значения КТР. Связь теплового расширения с другими свойствами.

Тема 5. Решеточная теплопроводность. Нормальные процессы и процессы переброса. Выражение для расчета теплопроводности в квазигармоническом приближении (Лейбфрида и Шломана). Расчет теплосоппротивления с учетом ангармонизма колебаний атомов. Характеристическое теплосоппротивление.

4.3.2. Содержание лабораторно-практических занятий по дисциплине (Практические занятия.)

Модуль 1. Электронная структура и свойства металлов.

Тема 1. Газ электронов.

1. Энергия электронного газа.
2. Псевдопотенциал.

Тема 2.

3. Заполнение энергетических зон значениями энергий.
4. Электронная структура жидких металлов.

Тема 3.

5. Гальваномагнитные свойства металлов.
6. Формулы для расчета электросопротивления (Блоха-Грюнайзена, Дж. Займана, Кубо).

Тема 4.

7. Закон Видемана-Франца.
8. Природа связи электросопротивления с термической деформацией металлов

Модуль 2. Энергетический спектр фононов и тепловые свойства

Тема 1. Фононы

1. Нулевые колебания. Характеристическая температура Дебая.
2. Законы дисперсии частоты, фазовой и групповой скоростей для цепочки из атомов одного сорта.

Тема 2. Колебания атомных цепочек.

3. Особенности акустических и оптических мод колебаний для цепочки из атомов 2^x сортов. Ионно-плазменная частота. Запрещенная зона частот в ионных кристаллах.
4. Учет влияния взаимодействия атома с 4-мя ближайшими соседями.

Тема 3. Тепловое расширение.

5. Особенности теплового расширения анизотропных и рыхлоупакованных структур (отрицательные значения КТР).
6. Особенности теплового расширения композиционных сплошных и пористых материалов.

Тема 4. Теплоемкость

7. Расчет теплоемкости по модели Дебая и сравнение с экспериментом. Особенности теплоемкости в наноразмерных системах.

Тема 5. Фононное теплосоппротивление

8. Учет влияния ангармонизма при расчетах теплосоппротивления. Связь теплосоппротивления с термической деформацией.
9. Особенности теплосоппротивления анизотропных и рыхлоупакованных структур.

5. Образовательные технологии:

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по реализации компетентностного подхода, дисциплина предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм занятий в виде: лекции, семинаров, контрольных работ, коллоквиума, и зачета. В процессе преподавания дисциплины «Энергетический спектр электронов и фононов» применяются следующие образовательные технологии: развивающее обучение, проблемное обучение, коллективная система обучения, лекционно-зачетная система обучения. При чтении данного курса применяются такие виды лекций, как вводная, лекция-информация, обзорная, проблемная, лекция-визуализация. Лекции сопровождаются представлением материалов в виде презентаций с использованием анимации, выход на сайты, где представлены соответствующие иллюстрации и демонстрации для излагаемого материала.

При проведении занятий используются компьютерные классы, оснащенные современной компьютерной техникой: мультимедиа проекционным оборудованием и интерактивной доской.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах (лекция-беседа, лекция-дискуссия, лекция-консультация, проблемная лекция, лекция-визуализация, лекция с запланированными ошибками), определяется главной целью (миссией) программы, особенностью контингента обучающихся и содержанием конкретных дисциплин, и в целом, в учебном процессе по данной дисциплине они должны составлять не менее 20 часов аудиторных занятий. Число лекций от общего числа аудиторных занятий определено учебной программой.

Для выполнения физического практикума и подготовке к практическим (семинарским) занятиям изданы учебно-методические пособия и разработки, которые в сочетании с внеаудиторной работой способствуют формированию и развития профессиональных навыков обучающихся. В процессе лабораторного практикума формируется у студентов умение производить расчеты с помощью пакета стандартных компьютерных математических программ, что позволяет существенно приблизить уровень культуры статистической обработки результатов измерений в практикуме к современным стандартам, принятым в науке и производственной деятельности. На этих занятиях студенты закрепляют навыки (приобретенные на 1-2 курсах) по оценке погрешностей результатов измерений, что совершенно необходимо для работы в специальных учебных и производственных лабораториях.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студентов, предусмотрена учебным планом в объеме не менее 50%, в том числе подготовка к экзаменам и зачетам, от общего количества часов. Она необходима для более глубокого усвоения изучаемого курса, формирования навыков исследовательской работы и умение применять теоретические знания на практике. Самостоятельная работа должна носить систематический характер. Результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента (зачет, экзамен). При этом проводятся: тестирование, экспресс-опрос на семинарских и практических занятиях, заслушивание докладов, проверка письменных работ и т.д.

Самостоятельная работа студентов реализуется в виде:

- повторения пройденного материала;
- подготовки к лабораторно-практическим работам;
- оформления лабораторно-практических работ (заполнение таблиц, решение задач, написание выводов);
- подготовки к контрольным работам;
- выполнения индивидуальных заданий по основным темам дисциплины.

• **6.1. Примерное распределение времени самостоятельной работы студентов**

Вид самостоятельной работы	Примерная трудоёмкость, а.ч.		
	Очная	Очно-заочная	заочная
Текущая СРС			
работа с лекционным материалом, с учебной литературой	<i>10</i>		
самостоятельное изучение разделов дисциплины	-		
подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	<i>10</i>		
подготовка к контрольным работам, коллоквиумам, зачётам	-		
подготовка к экзамену (экзаменам)	-		
Итого СРС:	<i>20 часов</i>		

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

7.1. Примерные вопросы для самостоятельной работы по разделу «Электронная структура и свойства металлов»

1. Температурная зависимость электросопротивления металлов (сплавов);
2. Температурная зависимость теплового расширения металлов (сплавов);
3. Зависимость электросопротивления от термической деформации металлов (сплавов);
4. Разделение механизмов рассеяния электронов в различных проводниках;
5. Температурная зависимость магнитной восприимчивости металлов (сплавов);
6. Температурная зависимость теплопроводности металлов (сплавов);
7. Особенности изменения свойств металлов (сплавов) при фазовых переходах первого и второго рода;
8. Величина характеристического электросопротивления в зависимости от концентрации в двойных сплавах.
9. Связь между различными равновесными и неравновесными свойствами;
10. Особенности свойств сплавов: с гигантским магнитосопротивлением; с эффектом памяти формы; сплавов, обладающих сверхпластичностью и т.д.

7.1.1. Типовые контрольные тестовые задания

ВАРИАНТ 1

1. Что является следствием ограниченности размеров кристалла при рассмотрении поведения свободного электрона в металле?
 - 1) Верхний предел энергии свободных электронов.
 - 2) Дискретность энергетического спектра.
 - 3) Возможность пренебрежения общей потенциальной энергией.
 - 4) Рассмотрение поведения электронов в потенциальной яме (в металле)
 - 5) Возможность пренебрежения периодическим потенциалом.
2. Чем обусловлена слабость периодического потенциала?

- 1) Малостью потенциальной энергии взаимодействия электрона с ионом.
 - 2) Экранировкой ионов быстрыми электронами.
 - 3) Малостью превышения кинетической энергии над потенциальной.
 - 4) Большими значениями энергии Ферми.
 - 5) Незначительным превышением потенциальной энергии над кинетической.
3. Какие волновые вектора эквивалентны друг другу?
- 1) Отличающиеся на $2\pi/L$.
 - 2) Отличающиеся на $2\pi/a$
 - 3) Максимальный и минимальный вектора.
 - 4) Отличающиеся на K_F
 - 5) Отличающиеся на $2\pi/\lambda$.
4. Чем обусловлена температурная зависимость электросопротивления металлов?
- 1) Изменением вкладов рассеяния на дефектах при изменении температуры.
 - 2) Изменением амплитуды колебаний с температурой.
 - 3) Изменением ангармонизма колебаний с температурой.
 - 4) Изменением частоты колебаний атомов.
 - 5) Возрастанием числа статических дефектов решетки с температурой.
5. В каком случае закон дисперсии для электрона непрерывен?
- 1) Электрон в металле.
 - 2) Электрон в роле периодического потенциала.
 - 3) Электрон в бесконечном пространстве.
 - 4) Электрон в межатомном пространстве.
 - 5) Электрон осциллирует вблизи иона.
6. Число занятых энергетических состояний для трехвалентного металла:
- 1) $\frac{1}{2} N$; 2) N ; 3) $2N$; 4) $\frac{3}{2} N$; 5) $\frac{1}{3} N$.
7. Параметр, определяющий энергию Ферми:
- 1) Число электронов
 - 2) Валентность металла
 - 3) Размеры кристалла
 - 4) Плотность вещества
 - 5) Концентрация электронов.
8. Какие основные упрощения используются при рассмотрении приближения почти свободных электронов?
- 1) Пренебрегаются потенциалом взаимодействия электрона с ионом.
 - 2) Пренебрегается энергией, необходимой для вырывания электрона из металла.
 - 3) Пренебрегается суммарной потенциальной энергией электрона.
 - 4) Рассматривается электрон в потенциальной яме.
 - 5) Рассматривается движение одного электрона в поле ионов, экранированных остальными электронами.
9. Каким параметром определяется зона Бриллюэна?
- 1) Размером кристалла.
 - 2) Межатомным расстоянием.
 - 3) Импульсом Ферми.
 - 4) Энергией Ферми.
 - 5) Волновым вектором Ферми.

ВАРИАНТ 2

1. Каким параметром определяется минимальное и максимальное значения импульса электрона в металле, соответственно
 - 1) Размером кристалла и межатомным расстоянием.
 - 2) Фермиевской скоростью и массой электрона.
 - 3) Размером кристалла и размером атома.
 - 4) Размером атома и размером межатомного расстояния.
 - 5) Массой электрона и фермиевской скоростью.
2. Чем обусловлена слабость потенциала взаимодействия электрона с ионом?
 - 1) Экранировкой иона электронами.
 - 2) Явлением, приводящим к Фриделевским осцилляциям.
 - 3) Периодичностью потенциала.
 - 4) Большими значениями скорости Ферми электронов.
 - 5) Величиной разности кинетической и потенциальной энергии электрона.
3. Почему импульсы электронов в поле периодического потенциала не могут принимать значения выше $2\pi\hbar/a$?
 - 1) Значение импульса ограничено размерами кристалла.
 - 2) Вследствие многозначности импульса.
 - 3) Вследствие периодичности потенциала.
 - 4) Значение импульса ограничено межатомным расстоянием.
 - 5) Вследствие дискретности спектра.
4. Отличается ли температурный коэффициент фононного электросопротивления металла в твердом и жидком состояниях?
 - 1) Не отличается.
 - 2) В жидком больше, чем в твердом.
 - 3) В жидком меньше, чем в твердом.
 - 4) Определяется ходом изменения теплоемкости.
 - 5) Определяется ходом изменения теплового расширения.
5. Отличается ли закон дисперсии электрона в поле периодического потенциала от закона дисперсии свободного электрона в пределах зоны Бриллюэна?
 - 1) Отличается существенно.
 - 2) Не отличается.
 - 3) Отличается незначительно.
 - 4) Отличается в пределе малых энергий.
 - 5) Отличается в пределе больших энергий.
6. Какой объем приходится на разрешенные состояния импульсов в импульсном пространстве?
 - 1) $4/3\pi P_F^3$; 2) $\pi^2\hbar^3/L^3$; 3) $(2\pi/L)^3$; 4) $2\pi\hbar/V$; 5) $(2\pi\hbar/L)^3$.
7. Как зависит электросопротивление металлов от силы межатомного взаимодействия?
 - 1) Однозначная прямая пропорциональность.
 - 2) Неоднозначная прямая пропорциональность.
 - 3) Однозначная обратная пропорциональность.
 - 4) Неоднозначная обратная пропорциональность.
 - 5) Не зависит.
8. Чем обусловлена Фриделевские осцилляции?
 - 1) Периодичностью потенциала,
 - 2) Осцилляциями электрона вблизи иона.

- 3) Корпускулярно-волновым дуализмом свойств электрона.
 - 4) Экранировкой ионов электронами.
 - 5) Интерференцией быстрых электронов в решетке.
9. Каков объем сферы Ферми для двухвалентного металла?
- 1) Больше зоны Бриллюэна в 2 раза.
 - 2) Меньше зоны Бриллюэна в 2 раза.
 - 3) Равен зоне Бриллюэна.
 - 4) Значительно больше зоны Бриллюэна.
 - 5) Значительно меньше зоны Бриллюэна.

ВАРИАНТ3

1. Каким параметром определяется интервал между состояниями энергий электронов?
 - 1) Энергией Ферми.
 - 2) Размером металла.
 - 3) Размерами атомов.
 - 4) Межатомным расстоянием.
 - 5) Плотностью металла.
2. О чем гласит теорема Блоха?
 - 1) Волновое уравнение с периодическим потенциалом имеет вид произведения функции плоской волны на функцию, периодическую с периодом решетки.
 - 2) Собственные функции периодические с периодом кристалла имеют вид функции плоской волны на функцию, описывающую периодическим потенциалом.
 - 3) Собственные функции волнового уравнения имеют вид произведения плоской волны на функцию, описывающую периодичность потенциала с периодом решетки.
 - 4) Собственные функции волнового уравнения с периодическим потенциалом имеют вид произведения функции плоской волны на функцию потенциала - периодическую в решетке кристалла.
 - 5) Волновое уравнение с периодическим потенциалом имеет вид произведения периодической функции плоской волны на периодическую функцию потенциала.
3. Интервал физически значимых волновых векторов:
 - 1) $0 \div K_F$.
 - 2) Интервал волновых векторов, отличающихся от $2\pi/L$.
 - 3) Зона Бриллюэна.
 - 4) Зона запрещенных значений энергий.
 - 5) Зона разрешенных значений энергий.
4. Что в основном обуславливает рост теплоемкости металлов при высоких температурах?
 - 1) Термическое возбуждение обобществленных электронов.
 - 2) Термическое возбуждения ионов.
 - 3) Термическое возбуждение быстрых электронов.
 - 4) Термическое возбуждение быстрых электронов и ионов.
 - 5) Термическое возбуждение ионов и обобществленных электронов.
5. Чем определяется периодичность закона дисперсии энергии электронов в зависимости от импульса?
 - 1) Волновыми свойствами электронов.
 - 2) Многозначностью волнового вектора

- 3) Принципом Паули.
 - 4) Импульсом Ферми.
 - 5) Величиной псевдопотенциала.
6. Чему равно число занятых электронами энергетических состояний?
- 1) $ZN/2$; 2) $2ZN$; 3) ZN ; 4) $ZNe^{-\frac{\varepsilon_F}{k_B T}}$; 5) $ZNe^{\frac{\varepsilon_n - \varepsilon_F}{k_B T}}$
7. Максимальное значение энергии, которую теряет электрон при взаимодействии с фононом:
- 1) Равно значению энергии Ферми.
 - 2) Равно разности значений энергии Ферми и максимальной энергии колебаний атома.
 - 3) Равно значению тепловой энергии электрона.
 - 4) Равно максимальному значению энергии колебаний иона.
 - 5) Равно суммарному значению тепловых энергий электрона и фонона.
8. Какие основные упрощения используются при рассмотрении приближения свободных электронов?
- 1) Пренебрегаются потенциалом взаимодействия электрона с ионом.
 - 2) Пренебрегается энергией, необходимой для вырывания электрона из металла.
 - 3) Пренебрегается суммарной потенциальной энергией электрона.
 - 4) Рассматривается электрон в потенциальной яме.
 - 5) Рассматривается движение одного электрона в поле ионов, экранированных остальными электронами.
9. Каким параметром определяется зона Бриллюэна?
- 1) Размером кристалла.
 - 2) Межатомным расстоянием.
 - 3) Импульсом Ферми.
 - 4) Энергией Ферми.
 - 5) Волновым вектором Ферми.

ВАРИАНТ 4

1. Почему импульсы электронов в металле принимают дискретные значения?
 - 1) Из-за взаимодействия с ионами.
 - 2) Из-за взаимодействия с поверхностью металла.
 - 3) Из-за ограниченности размеров кристалла.
 - 4) Из-за периодичности потенциала.
 - 5) Из-за проявления волновой природы электронами.
2. Чем определяется интервал запрещенных значений энергий электронов?
 - 1) Энергией Ферми.
 - 2) Псевдопотенциалом.
 - 3) Периодом изменения потенциала.
 - 4) Размерами кристалла.
 - 5) Типом связи.
3. Чем различаются размеры зоны Бриллюэна различных металлов?
 - 1) Числом энергетических состояний.
 - 2) Числом физически значимых импульсов.
 - 3) Размером решетки.

- 4) Размером обратной решетки.
 - 5) Размером поверхности Ферми.
4. Чем обусловлена теплопроводность металлов?
- 1) Электронами.
 - 2) Больше электронами, меньше фононами.
 - 3) Меньше электронами, больше фононами.
 - 4) Электронами и фононами в равной мере.
 - 5) Фононами.
5. В чем причина разделения энергетического спектра электронов в поле периодического потенциала на разрешенные и запрещенные значения?
- 1) В различии зарядов ионов и электронов.
 - 2) В сильной подвижности электронов.
 - 3) В многозначности волнового вектора.
 - 4) В дифракции электронов на решетке ионов.
 - 5) В периодичности потенциала.
6. В чем основное различие интерпретаций физических свойств металлов в рамках квантовой и классической механики?
- 1) Числом электронов, формирующих свойства металлов.
 - 2) Величиной подвижности электронов.
 - 3) Разностью величин подвижности электронов и ионов
 - 4) Представлениями о длине свободного пробега.
 - 5) Представлениями об эффективной массе.
7. Что из себя представляет металл?
- 1) Вещество, содержащее совокупность сильносвязанных ионов и относительно свободных электронов, участвующих в проводимости тока.
 - 2) Вещество. Представляющее собой совокупность системы положительно заряженных ионов, образующих кристаллическую решетку (пространственную структуру) и системы сильно подвижных электронов.
 - 3) Совокупность ионов, образующих пространственную структуру и относительно сильно подвижных электронов, наделяющих вещество специфическими свойствами.
 - 4) Совокупность системы положительных, малоподвижных ионов, образующих пространственную структуру и системы свободных электронов, участвующих в проводимости тока.
 - 5) Совокупность системы положительных относительно малоподвижных ионов, образующих пространственную структуру (решетку) и системы сильноподвижных электронов, наделяющих вещество специфическими электронными свойствами.
8. Основное упрощение при рассмотрении приближения почти свободных электронов:
- 1) Одноэлектронное приближение.
 - 2) Строгая периодичность потенциала.
 - 3) Адиабатическое приближение.
 - 4) Малость потенциала взаимодействия электрона с ионами.
 - 5) Блоховская функция.
9. Что понимается под одномерной зоной Бриллюэна?
- 1) Интервал, определяемый величиной $2\pi/a$.
 - 2) Интервал, определяемый величиной ϵ_F .
 - 3) Интервал, определяемый величиной $2\pi/L$.

- 4) Интервал, определяемый величиной k_F .
- 5) Интервал, определяемый величиной $2\pi/L$.

ВАРИАНТ 5

1. Что является следствием периодичности волновой функции электрона в кристалле?
 - 1) Дискретность энергетического спектра.
 - 2) Многозначность спектра.
 - 3) Квазинепрерывность спектра.
 - 4) Осцилляции электрона вблизи иона.
 - 5) Возникновение зон запрещенных значений.
2. К чему приводит ограниченность размеров металла?
 - 1) К верхнему пределу энергии обобществленных электронов.
 - 2) К дискретности энергетического спектра.
 - 3) К возможности пренебрежения общей потенциальной энергией.
 - 4) К рассмотрению поведения электронов в потенциальной яме.
 - 5) К возможности пренебрежения периодическим потенциалом.
3. Что определяет малость псевдопотенциала?
 - 1) Малость потенциальной энергии взаимодействия электрона с ионом.
 - 2) Экранировка ионов электронами.
 - 3) Малость превышения кинетической энергии под потенциальной.
 - 4) Большие значения энергии Ферми.
 - 5) Незначительность превышения потенциальной энергии над кинетической.
4. Чем определяется эквивалентность волновых векторов?
 - 1) Величиной $2\pi/L$
 - 2) Величиной $2\pi/a$.
 - 3) Максимальным и минимальным значениями волнового вектора.
 - 4) Величиной k_F .
 - 5) Величиной $2\pi/\lambda$.
5. Температурная зависимость электросопротивления металлов обусловлена:
 - 1) Изменением вкладов рассеяния на дефектах при изменении температуры.
 - 2) Изменением амплитуды колебаний с температурой.
 - 3) Изменением ангармонизма колебаний с температурой.
 - 4) Изменением частоты колебаний атомов.
 - 5) Возрастанием числа статических дефектов решетки с температурой.
6. Закон дисперсии для электронов непрерывен, если рассматривается:
 - 1) Электрон в металле.
 - 2) Электрон в поле периодического потенциала.
 - 3) Электрон в бесконечном пространстве.
 - 4) Электрон в межатомном пространстве.
 - 5) Осциллирующий электрон вблизи иона.
7. Занятые энергетические состояния двухвалентного металла:
 - 1) $\frac{1}{2} N$; 2) N ; 3) $2N$; 4) $\frac{3}{2} N$; 5) $\frac{1}{3} N$.
8. Что определяет значение энергии Ферми?
 - 1) Число электронов.
 - 2) Валентность металла.
 - 3) Размеры кристалла.

- 4) Плотность электронов.
 - 5) Концентрация электронов.
9. Закон дисперсии вблизи границы зоны Бриллюэна:
- 1) Такой же, как и в центре зоны.
 - 2) Кривая, описывающая закон дисперсии перпендикулярна границе зоны.
 - 3) Кривая, описывающая закон дисперсии, образует положительный угол с границей.
 - 4) Кривая, описывающая закон дисперсии, образует отрицательный угол.
 - 5) Кривая, описывающая закон дисперсии, параллельна границе.

Вариант 6

1. Значением какого параметра задается минимальная энергия, которой может обладать электрон в металле?
 - 1) Фермиевской скоростью.
 - 2) Размером кристалла.
 - 3) Размером атома.
 - 4) Массой электрона.
 - 5) Межатомным расстоянием.
2. Почему потенциал взаимодействия электрона с ионами в металле оказывается малым?
 - 1) Из-за экранировки иона электронами.
 - 2) Из-за фриделевских осцилляций.
 - 3) Из-за периодичности потенциала.
 - 4) Ввиду больших значений скоростей фермионов.
 - 5) Из-за малости разности кинетической и потенциальной энергий электрона.
3. Почему волновые вектора электронов в поле периодического потенциала не могут принимать любые значения ниже $2\pi/L$?
 - 1) Значение импульса ограничено размерами кристалла.
 - 2) Ввиду многозначности импульса.
 - 3) Вследствие периодичности потенциала.
 - 4) Значение импульса ограничено межатомным расстоянием.
 - 5) Из-за дискретности спектра.
4. Сферы Ферми трехвалентного металла заполняют:
 - 1) Зону Бриллюэна.
 - 2) Две зоны Бриллюэна.
 - 3) Полторы зоны Бриллюэна.
 - 4) Три зоны Бриллюэна.
 - 5) Половину зоны Бриллюэна.
5. Как отличается температурный коэффициент электросопротивления металла в жидком состоянии от температурной зависимости электросопротивления в твердом состоянии?
 - 1) Не отличается.
 - 2) В жидком больше, чем в твердом.
 - 3) Определяется ходом изменения теплового расширения.
 - 4) В жидком меньше, чем в твердом.
 - 5) Определяется ходом изменения теплоемкости.

6. Как отличается закон дисперсии электрона в поле периодического потенциала от закона дисперсии свободного электрона в пределах зоны Бриллюэна?
- 1) Отличается незначительно.
 - 2) Отличается существенно.
 - 3) Не отличается.
 - 4) Отличается в пределе больших энергий.
 - 5) Отличается в пределе малых энергий.
7. Зависимость электросопротивления от силы межатомного взаимодействия:
- 1) Однозначная обратная пропорциональность.
 - 2) Однозначная прямая пропорциональность.
 - 3) Неоднозначная прямая пропорциональность.
 - 4) Неоднозначная обратная пропорциональность.
 - 5) Не зависит.
8. Какой объем приходится на разрешенное состояние волнового вектора?
- 1) $2/3 k_F$; 2) $(\pi/L)^3$; 3) $(2\pi/L)^3$; 4) $2\pi/V$; 5) $(2\pi)^3/L$
9. Фриделевские осцилляции являются результатом:
- 1) Осцилляций электрона вблизи иона.
 - 2) Интерференцией быстрых электронов в решетке.
 - 3) Корпускулярно-волновым дуализмом свойств электрона.
 - 4) Периодичностью потенциала.
 - 5) Экранировкой ионов электронами.

ВАРИАНТ 7

1. Что понимается под интервалом физически значимых волновых векторов?
- 1) Зона разрешенных значений энергий.
 - 2) Зона Бриллюэна.
 - 3) Зона запрещенных значений энергий.
 - 4) Интервал волновых векторов, отличающихся на $2\pi/a$.
 - 5) $0 \div k_F$.
2. Отличается ли характер рассеяния электронов на тепловых колебаниях атомов в твердом и жидком состояниях металла?
- 1) Отличается незначительно.
 - 2) Отличается существенно.
 - 3) Не отличается.
 - 4) Зависит от скачка объема при плавлении.
 - 5) Зависит от концентрации электронов в твердом и жидком состояниях.
3. Каким параметром определяется кратность импульса электрона в металле?
- 1) Энергией Ферми.
 - 2) Размером металлического образца.
 - 3) Размером атомов.
 - 4) Межатомным расстоянием.
 - 5) Плотностью металла.
4. Теорема Блоха:
- 1) Волновое уравнение с периодическим потенциалом имеет вид произведения функции плоской волны на функцию периодическую с периодом решетки.

- 2) Собственные функции волнового уравнения с периодическим потенциалом имеют вид произведения функции плоской волны на функцию потенциала - периодическую в решетке кристалла.
 - 3) Собственные функции периодические с периодом кристалла имеют вид функции плоской волны на функцию, описывающую периодический потенциал.
 - 4) Собственные функции волнового уравнения имеют вид произведения плоской волны на функцию, описывающую периодичность потенциала кристалла.
 - 5) Волновое уравнение с периодическим потенциалом имеет вид произведения периодической функции плоской волны на периодическую функцию потенциала.
5. Параметр, определяющий зону Бриллюэна:
- 1) Энергия Ферми.
 - 2) Межатомное расстояние.
 - 3) Размер кристалла.
 - 4) Импульс Ферми.
 - 5) Волновой вектор Ферми.
6. Чему обязана периодичность закона дисперсии электронов в зависимости от импульса?
- 1) Многозначности волнового вектора.
 - 2) Принципу Паули.
 - 3) Волновым свойствам электронов.
 - 4) Импульсу Ферми.
 - 5) Величине псевдопотенциала.
7. Чем определяется число занятых энергетических состояний?
- 1) $ZN/2$; 2) $2ZN$; 3) ZN ; 4) $Z N e^{-\frac{\varepsilon_F}{k_B T}}$; 5) $Z N e^{\frac{\varepsilon_n - \varepsilon_F}{k_B T}}$
8. Предельная энергия, теряемая электроном при взаимодействии с фононом равна:
- 1) Максимальной энергии Ферми.
 - 2) Максимальному значению энергии колебаний ионов.
 - 3) Значению тепловой энергии электрона.
 - 4) Разности значений энергии Ферми и максимальной энергии атома.
 - 5) Суммарной тепловой энергии электрона и фонона.
9. Упрощения, используемые при рассмотрении приближения свободных электронов:
- 1) Рассматривается электрон в потенциальной яме.
 - 2) Пренебрегают потенциалом взаимодействия электрона с ионом.
 - 3) Пренебрегают энергией, необходимой для вырывания электрона из металла.
 - 4) Пренебрегают суммарной потенциальной энергией электрона.
 - 5) Рассматривается движение электрона в поле ионов, экранированных остальными электронами.

Вариант 8

1. Почему импульсы электронов в металле не могут принимать любые значения?
 - 1) Из-за взаимодействия с ионами.
 - 2) Из-за взаимодействия с поверхностью металла.
 - 3) Из-за периодичности потенциала.
 - 4) Из-за ограниченности размеров кристалла.
 - 5) Из-за проявления волновой природы электронами.
2. Интервал запрещенных значений энергий определяется:

- 1) Энергией Ферми.
 - 2) Периодом изменения потенциала.
 - 3) Типом связи.
 - 4) Псевдопотенциалом.
 - 5) Размером кристалла.
3. Размеры зоны Бриллюэна определяется:
- 1) Числом энергетических состояний.
 - 2) Числом физически значимых импульсов.
 - 3) Размером обратной решетки.
 - 4) Размером прямой решетки.
 - 5) Размером поверхности Ферми.
4. Теплопроводность металлов определяется:
- 1) Электронами.
 - 2) Меньше электронами, больше фононами.
 - 3) Больше электронами, меньше фононами.
 - 4) Электронами и фононами в равной мере.
 - 5) Фононами.
5. Почему энергетический спектр электронов имеет запрещенные значения энергий для электронов?
- 1) Из-за различия зарядов ионов и электронов.
 - 2) Из-за сильной подвижности электронов.
 - 3) Из-за многозначности волнового вектора.
 - 4) Из-за дифракции электронов на решетке ионов.
 - 5) Из-за периодичности потенциала.
6. Чем различаются интерпретации физических свойств металлов в рамках квантовых и классических представлений?
- 1) Величиной подвижности электронов.
 - 2) Числом электронов, формирующих свойства металлов.
 - 3) Разностью величин подвижности электронов и ионов.
 - 4) Представлениями о длине свободного пробега.
 - 5) Представлениями об эффективной массе.
7. Что понимается под зоной Бриллюэна?
- 1) Интервал, определяемый величиной ϵ_F .
 - 2) Интервал, определяемый величиной $2\pi/a$.
 - 3) Интервал, определяемый величиной $2\pi/L$.
 - 4) Интервал, определяемый величиной k_F .
 - 5) Интервал, определяемый величиной P_F .
8. Что наделяет металл специфическими электронными свойствами?
- 1) Свободные электроны.
 - 2) Валентные электроны.
 - 3) Обобществленные электроны.
 - 4) Электроны проводимости.
 - 5) Связанные электроны.
9. Какие основные упрощения используются при рассмотрении приближения почти свободных электронов?
- 1) Малость потенциала взаимодействия электрона с ионом.
 - 2) Блоховская функция.

- 3) Одноэлектронное приближение.
- 4) Строгая периодичность потенциала.
- 5) Адиабатическое приближение.

Правильные ответы на тестовые вопросы
к курсу “Электронная структура и свойства металлов”

№ вопроса вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	2	3	3	4	5	2	2
2	1	5	4	3	5	5	3	5	3
3	2	4	3	2	2	1	4	3	2
4	3	2	4	2	4	1	5	4	1
5	2	2	3	2	3	3	2	5	2
6	2	5	1	3	4	4	1	3	2
7	2	3	2	2	2	1	1	2	4
8	4	4	3	3	4	2	2	3	1

**7.2. Примерные вопросы для самостоятельной работы по разделу
«Энергетический спектр фононов и тепловые свойства»**

1. Построение температурной зависимости теплосоппротивления германия и кремния в области низких температур от 80 до 300К.
2. Расчет теплосоппротивления кремния по формуле Лебфрида-Шломана. Сравнение расчетных и экспериментальных данных по теплосоппротивлению кремния.
3. Сравнение расчетов теплоемкости неметаллов по моделям Дебая и Эйнштейна.
4. Расчет характеристического фононного теплосоппротивления для ионных и ковалентных соединений. Сравнение со значениями, полученными по эмпирическим данным.
5. Расчет характеристического фононного теплосоппротивления для соединений с рыхлоупакованной структурой.
6. Построение корреляций теплосоппротивление – термическая деформация для изотропных веществ.
7. Построение корреляций теплосоппротивление – термическая деформация для анизотропных веществ.
8. Зависимость теплопроводности неметаллов от размера наночастиц.

Типовые тестовые задания

ВАРИАНТ 1

1. Полная энергия колебаний кристаллической решетки равна:
1) $E=1/4M\omega^2\xi^2$; 2) $E=1/2M\omega^2\xi^2$; 3) $E=M\omega^2\xi^2$; 4) $E=3/2M\omega^2\xi^2$; 5) $E=1/3M\omega^2\xi^2$,
где M , ω , ξ - масса, частота и амплитуда колебаний атомов.
2. Как связаны между собой фазовая и групповая скорости для двухатомной цепочки в длинноволновом пределе?
1) $v_{гр} = v_{ф}$; 2) $v_{ф} = 1/2 v_{гр}$; 3) $v_{ф} = 2 v_{гр}$; 4) $v_{ф} = 1/3 v_{гр}$; 5) $v_{ф} = 3/2 v_{гр}$.
3. Оптические колебания атомов возникают:

- 1) В цепочке, состоящей из атомов 2^x сортов.
- 2) В цепочке, состоящей из атомов 1^{T_0} сорта под действием облучения.
- 3) В цепочке, состоящей из атомов 1^{T_0} сорта, при температурах выше T_D .
- 4) В цепочке, состоящей из атомов 1^{T_0} сорта вблизи температуры плавления.
- 5) В кристалле, подвергнутом деформации сжатия.

4. В теории Дебая частота колебаний:

- 1) Одинакова для всех атомов при любой температуре.
- 2) Меняется от 0 и ограничена ω_D .
- 3) Имеет столько значений, сколько атомов в единице объема вещества.
- 4) Ниже T_D все атомы колеблются с частотой ω_1 , выше T_D - с частотой ω_2 .
- 5) Все атомы колеблются с нулевой частотой.

5. Теплоемкость твердых в теории Дебая при низких температурах изменяется пропорционально:

- 1) $C_v \sim T^2$; 2) $C_v \sim T^4$; 3) $C_v \sim \exp T_D / T$; 4) $C_v \sim T^3$; 5) $C_v \sim T$.

6. Коэффициент теплопроводности численно равен:

- 1) Градиенту температуры на образце.
- 2) Количеству теплоты, необходимому для нагревания тела на 1° .
- 3) Количеству теплоты, проходящему через поперечное сечение образца.
- 4) Произведению плотности вещества на теплоемкость.
- 5) Количеству теплоты, проходящему через единичное поперечное сечение образца в единицу времени при градиенте температуры, равном 1.

7. Истинное значение линейного коэффициента теплового расширения равно:

- 1) $\alpha = \Delta l / l$; 2) $\alpha = \Delta l / (l \Delta P)$; 3) $\alpha = da / (a dT)$; 4) $\alpha = \Delta l / (l \Delta T)$; 5) $\alpha = dV / (V dT)$; где a - межатомное расстояние, l - размер образца, T - температура, P - давление.

ВАРИАНТ 2

1. Число возбуждений в кристалле равно:

- 1) Числу атомов в единице объема N ;
- 2) $3N$; 3) $N/2$; 4) $N/3$; 5) N_A/N , где N_A - число Авогадро.

2. Среднее значение скорости звука для изотропных кубических кристаллов равно:

- 1) $v_{cp} = 2v_{\perp} + v_{\parallel}$; 2) $v_{cp} = (v_{\perp} + v_{\parallel})/2$; 3) $v_{cp} = \sqrt{v_{\perp} v_{\parallel}}$; 4) $v_{cp} = \sqrt{2v_{\perp} v_{\parallel}}$;
- 5) $v_{cp} = (2v_{\perp} + v_{\parallel})/3$.

3. Максимальная частота колебаний атомов в теории Дебая равна:

- 1) $\omega = v_{зв} (6\pi^2 N/V)$; 2) $\omega = v_{зв} (6\pi^2 N/V)^{1/2}$; 3) $\omega = v_{зв} (6\pi^2 N/V)^{1/3}$;
- 4) $\omega = v_{зв}^2 (6\pi^2 N/V)$; 5) $\omega = v_{зв} (6N/V)^{1/3}$;

4. Функция плотности состояний в теории Эйнштейна имеет вид:

- 1) вертикальной прямой; 2) синусоиды; 3) экспоненты; 4) параболы; 5) гиперболы.

5. Тепловое расширение твердых тел обусловлено:

- 1) Нарастанием числа вакансий.
- 2) Наличием ангармонизма колебаний атомов.
- 3) Существованием параметра квазиупругой связи.
- 4) Наличием градиента температуры в образце.
- 5) Изменением теплоемкости вещества с изменением температуры.

6. Теплоемкость в теории Дебая при высоких температурах $T > T_D$

- 1) $C_p \sim T$; 2) $C_p \sim T^2$; 3) $C_p = \text{const}$; 4) $C_p \sim T^{-1}$; 5) $C_p \sim T^3$.

7. Теплопроводность решетки в области высоких температур меняется по закону:

- 1) $\lambda \sim T^3$; 2) $\lambda \sim \exp T_D / T$; 3) $\lambda \sim T^{-1}$; 4) $\lambda \sim T$; 5) $\lambda \sim T^{1/2}$.

ВАРИАНТ 3

1. Что означает условие $\partial\omega / \partial k = 0$?

- 1) В кристалле возбуждены только длинноволновые колебания.
- 2) Соседние атомы колеблются в противофазе.
- 3) Условие затухания упругой волны.
- 4) В кристалле отсутствуют длинноволновые колебания.
- 5) Упругих колебаний нет вообще.

2. Функция плотности состояний $D(\omega) = f(\omega)$ в теории Дебая имеет вид:

- 1) прямой; 2) синусоиды; 3) экспоненты; 4) $D(\omega) \sim \omega^2$; 5) $D(\omega) \sim \omega^3$.

3. Центр масс длинноволновых оптических мод:

- 1) Смещается в сторону тяжелого атома.
- 2) Смещается в сторону легкого атома.
- 3) Смещается вместе с атомами элементарной ячейки.
- 4) Изменяет свое положение по закону синуса.
- 5) Изменяет свое положение случайным образом.

4. Теплоемкости при постоянном давлении и объеме связаны соотношением:

- 1) $C_p = C_v(1 + \gamma\beta T)$; 2) $C_p = C_v(1 + \gamma\beta T)^{-1}$; 3) $C_p = C_v$;
4) $C_p = C_v\gamma$; 5) $C_p = C_v / \gamma$, где γ - параметр Грюнайзена, β - КТР.

5. Микроскопическая теория теплового расширения:

- 1) Не описывает ход температурной зависимости КТР при $T > T_D$.
- 2) Описывает ход температурной зависимости при $T < T_D$.
- 3) Не описывает ход температурной зависимости КТР.
- 4) Описывает температурную зависимость КТР от $\sim 0\text{K}$ до $T_{пл}$.
- 5) Описывает зависимость КТР от давления.

6. Чему равен дебаевский волновой вектор кремния, если его атомная плотность равна $5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$?

- 1) $1,43 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-1}$; 2) $5,0 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1}$; 3) $4,3 \cdot 10^9 \text{ м}^{-1}$; 4) $2,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^{-1}$; 5) $3 \cdot 10^{-1} \text{ м}^{-1}$;

7. Закон Фурье записывается в виде:

- 1) $\alpha = L^2/\tau$; 2) $Q/s\tau = -\lambda \text{ grad } T$; 3) $Q/s = \lambda \text{ grad } T$; 4) $\lambda = 1/3C_v v l$; 5) $Q/s\tau = -T \text{ grad } \lambda$. Где α - температуропроводность, λ - теплопроводность, v - скорость звука, τ - время, s - площадь сечения, L - длина образца, Q - количество теплоты.

ВАРИАНТ 4

1. Максимальное значение волнового вектора равно:

- 1) $2\pi/L$; 2) π/L ; 3) $\pm 2\pi/\alpha_0$; 4) $\pm \pi/\alpha_0$; 5) $\pm 3/2\pi/\alpha_0$,

где L - длина образца, α - межатомное расстояние.

2. Какие волны не переносят энергию?

- 1) Бегущие; 2) Стоячие; 3) Продольные; 4) Короткие; 5) Длинные.

3. Температура Дебая - это:

- 1) Температура, при которой поляризуемость диэлектриков обращается в 0.
- 2) Половина температуры плавления.
- 3) Температура перехода вещества в сверхпроводящее состояние.
- 4) Температура, при которой снимается "вырождение" электронного газа.
- 5) Температура, при которой возбуждаются колебания со всевозможными частотами от ω_{\min} до ω_{\max} .

4. Параметр Грюнайзена показывает:

- 1) Относительное изменение температуры при относительном изменении давления.
- 2) Относительное изменение объема при относительном изменении давления.
- 3) Относительное сжатие тела при относительном растяжении.
- 4) Относительное изменение частоты колебаний при относительном изменении объема.
- 5) Изменение энтропии с температурой при постоянном объеме.

5. Функция спектральной плотности состояний в теории Дебая $D(\omega)$ определяет:

- 1) Плотность заполнения спектрального участка от ω до $\omega+d\omega$.
- 2) Определяет среднее число возбужденных квантов.
- 3) Вероятность того, что колебания с частотой ω_i имеет энергию ϵ_i
- 4) Среднее значение энергии осцилляторов при некоторой температуре.
- 5) Концентрацию фононов при данной температуре.

6. Теплоемкость в теории Эйнштейна при низких температурах пропорциональна:

- 1) $C_V \sim T$; 2) $C_V \sim T^3$; 3) $C_V \sim T^4$; 4) $C_V \sim \exp(-h\nu/k_B T)$; 5) $C_V \sim (T/T_3)^2$.

7. Теплосоппротивление - это:

- 1) Величина, обратная теплопроводности.
- 2) Произведение электросопротивления на температуру.
- 3) Относительное изменение размеров тела при изменении температуры.
- 4) Скорость распространения изотермических поверхностей по кристаллу.
- 5) Величина, численно равная перепаду температур на концах образца.

ВАРИАНТ 5

1. Чему равен импульс фонона?

- 1) $P = \hbar k$; 2) $P = h\nu$; 3) $P = kT$; 4) $P = 2\pi/\lambda$; 5) $P = \omega/K$.

2. Частота колебаний одноатомной цепочки сверху ограничена значением:

- 1) $\omega = 2\sqrt{\frac{\beta}{m}} \sin \frac{k\alpha}{2}$; 2) $\omega = 2\sqrt{\frac{\beta}{m}} \sin k\alpha$; 3) $\omega = 2\sqrt{\frac{\beta}{m}}$;
- 4) $\omega = 2\sqrt{\frac{\beta}{m+M}}$; 5) $\omega = \alpha \left(\sqrt{\frac{\beta}{m}} \right) k$

3. В каком интервале расположены все физически значимые волновые вектора:

- 1) от $-\pi/L$ до $+\pi/L$; 2) от $-\pi/L$ до 0; 3) от 0 до π/L ; 4) от π/L до π/α ;
- 5) от $-\pi/\alpha$ до $+\pi/\alpha$. Где α - межатомное расстояние, L - длина образца.

4. Физический смысл постоянной Больцмана в том, что это

- 1) Количество теплоты, необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1 К.

- 2) Количество теплоты, необходимое для изменения температуры 1 моля вещества на 1 К.
- 3) Количество теплоты, необходимое для изменения температуры 1 м³ вещества на 1 К.
- 4) Теплоемкость, приходящая на 1 атом.
- 5) Количество тепловой энергии, приходящееся на 1 степень свободы атома при изменении температуры системы на 1 К.

5. Из микроскопической теории теплового расширения следует, что

- 1) $\beta \sim T^2$ во всем интервале температур; 2) β не зависит от температуры;
- 3) $\beta \sim T^{-1}$; 4) $\beta \sim T^3$; 5) $\beta \sim \exp T$.

6. Что означает тот факт, что в длинноволновом пределе массы 2-х атомов заменяются их среднеарифметическим значением?

- 1) Решетка обладает свойствами сплошного тела при распространении длинных волн.
- 2) Массы атомов мало отличаются друг от друга.
- 3) Частота колебаний не зависит от номера атома.
- 4) Отсутствие оптических мод колебаний.
- 5) Центр масс атомов неподвижен.

7. Решеточная теплопроводность в области низких температур пропорциональна:

- 1) $\lambda \sim T^2$; 2) $\lambda \sim T^{-1}$; 3) $\lambda \sim T^3$; 4) $\lambda \sim T$; 5) $\lambda \sim T^3 \exp(-T_D/T)$.

Правильные ответы на тестовые вопросы по теме “Энергетический спектр фононов и тепловые свойства”.

Вопрос	1	2	3	4	5	6	7
вариант							
1	2	1	1	2	4	5	3
2	2	5	3	1	2	3	3
3	2	4	3	1	3	1	2
4	4	2	5	4	1	4	1
5	1	3	5	5	2	1	5

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

Примерная оценка по 100 бальной шкале форм текущего и промежуточного контроля

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

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий **10__бал.**
- участие на практических занятиях **40__бал.**
- выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ **__ 50__бал.**

Промежуточный контроль по дисциплине включает:

- устный опрос - 40 баллов,
- письменная контрольная работа - 30 баллов,
- тестирование - 30 баллов

Шкала диапазона для перевода рейтингового балла в «5»-бальную систему:

- «0 – 50» баллов – неудовлетворительно
- «51 – 65» баллов – удовлетворительно
- «66 - 85» баллов – хорошо
- «86 - 100» баллов – отлично
- «51 и выше» баллов – зачет.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

а) адрес сайта: Сайт кафедры физики конденсированного состояния и наносистем:

<http://cathedra.dgu.ru/Default.aspx?id=1503>

Адреса блогов: <http://jkafftt.blogspot.ru/> ссылка для студентов

<http://zhfft.blogspot.ru/> ссылка для студентов

б) Основная литература

1. **Брандт Н.Б., Чудинов С.М.** Экспериментальные методы исследования энергетических спектров электронов и фононов в металлах.- М.: МГУ.- 1990. 330 с.
2. **Займан Дж.** Принципы теории твердого тела.- М.: Мир.- 1974.
3. **Киттель Ч.** Введение в физику твердого тела.- М.: Наука.- 1978. 769 с.
4. **Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.** Теория упругости. - М.: Наука, 1985.
5. **Кацнельсон А.А.** Введение в физику твердого тела.- М.: Изд-во МГУ, 1984.
6. **Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М.** Статистическая физика. - М.: Наука, 1964. 583 с. .
7. **Новикова С.И.** Тепловое расширение твердых тел. - М.: Наука, 1974. 292 с.

Дополнительная литература

1. Палчаев Д.К., Мурлиева Ж.Х., Палчаева Х.С. Тепловые свойства твердых тел: Методическая разработка к лабораторным работам. – Махачкала, 2003.
2. Палчаев Д.К., Мурлиева Ж.Х. Энергетический спектр фононов и тепловые свойства конденсированных сред. Учебное пособие. – Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2014 . – 81 с.
3. Палчаев Д.К., Мурлиева Ж.Х., Гаджимагомедов С.Х., Исхаков М.Э. Электронная структура и свойства металлических проводников/ Учебное пособие. – Махачкала: ИПЦ ДГУ, 2016 . – 115с.
4. Мясникова А.Э. Электрон-фононные системы со спонтанным нарушением трансляционной симметрии [Электронный ресурс] : монография / А.Э. Мясникова. — Электрон. текстовые данные. — Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2010. — 240 с. — 978-5-9275-0741-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/47201.html>
5. Кудинов В.А. Теплопроводность и термоупругость в многослойных конструкциях [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.А. Кудинов, Б.В. Аверин, Е.В. Стефанюк. — Электрон. текстовые данные. — М. : Высшая школа, 2008. — 305 с. — 978-5-06-005942-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/21361.html>

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

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, включая научные обзоры журнала Успехи физических наук 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.
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
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>

Интернет-ресурсы

Даггосуниверситет имеет доступ к комплектам библиотечного фонда основных отечественных и зарубежных академических и отраслевых журналов

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, включая научные обзоры журнала Успехи физических наук 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.
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
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>

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

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

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

Самостоятельная работа студентов:

- проработка учебного материала (по конспектам лекций учебной и научной литературе) и подготовка докладов на семинарах и практических занятиях;

- поиск и обзор научных публикаций и электронных источников по тематике дисциплины;
- выполнение курсовых работ;
- написание рефератов;
- работа с тестами и вопросами для самопроверки;

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

1. Программное обеспечение для лекций: MS PowerPoint (MS PowerPointViewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, табличный процессор.
2. Программное обеспечение в компьютерный класс: MS PowerPoint (MS PowerPointViewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, Интернет, E-mail.

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

1. Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийным оборудованием (интернет, интерактивная доска).
2. Практические занятия проводятся в лабораториях НОЦ «Нанотехнологии», оснащенных современным технологическим и измерительным оборудованием. Кафедра располагает необходимыми установками, технологическим оборудованием, приборами для выполнения соответствующих курсовых и квалификационных работ. Имеется богатая библиотека, в том числе электронные книги, копий периодических изданий и т. д.