



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

*Физический факультет*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Тепловые свойства конденсированных систем**

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 «Тепловые свойства конденсированных систем» составлена в 2021 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриат по направлению подготовки 03.03.02 – Физика, профиль подготовки: Фундаментальная физика от «\_7\_» августа 2020 г., № 891.

Разработчик: Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем,

Палчаев д.ф.-м.н., профессор



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

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 «Тепловые свойства конденсированных систем» входит в вариативную часть, по выбору Блока 1 образовательной программы бакалавриата по направлению **03.03.02– Физика**.

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

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением тепловых свойств конденсированных систем, с учетом гетерогенной структуры систем, в том числе наноструктурированных систем, физической сущности явлений, происходящих в этих объектах при тепловых возбуждениях и наличии градиента температуры.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:; *общепрофессиональных* ОПК– 1, 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, промежуточный контроль и пр. и в форме экзамена.

Объем дисциплины **108 ч. 3** зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий:

Се- местр	Учебные занятия						СРС, в том числе экза- мен	Форма проме- жуточной атте- стации (зачет, дифференциро- ванный зачет, экзамен
	в том числе							
	Контактная работа обучающихся с преподавателем							
	Все го	из них						
Лек- ции		Лабора- торные занятия	Практи- ческие занятия	КСР	консуль- тации			
<b>8</b>	<b>108</b>	<b>28</b>		<b>28</b>			<b>52</b>	Зачет с оценкой

#### 1. Цели освоения дисциплины

**Цель спецкурса** курса лекций «Тепловые свойства конденсированных систем» заключается в том, чтобы раскрыть природу тепловых свойств конденсированных систем, с учетом структурных особенностей систем, в том числе гетерогенных функциональных материалов и наноструктурированных систем. Физической сущности явлений, происходящих в этих системах при тепловых возбуждениях и наличии градиента температуры.

#### 2. Место дисциплины в структуре ОПОП бакалавриата

Дисциплина **Б1.В.ДВ.04.04.** «Тепловые свойства конденсированных систем» входит в вариативную часть блока 1 и является дисциплиной по выбору образовательной программы ФГОС ВО – бакалавриата по направлению 03.03.02– «Физика» (профиль – фундаментальная физика).

Данная дисциплина призвана выработать профессиональные компетенции, связанные со способностью использовать теоретические знания в области общей физики, неравновесной термодинамики, теплофизики, статистической физики для решения конкретных практических задач на примере задач теплофизики конденсированных систем.

Студенты, изучающие данную дисциплину, должны иметь сведения о принципе формирования свойств соответствующих конденсированных сред, уметь создавать и анализировать теоретические модели явлений, характеризующих равновесные и неравновесные свойства. Иметь базовые знания о законах движения заряженных и нейтральных частиц; законах сохра-

нения энергии, импульса и момента количества движения в объеме знаний курса общей физики и атомной физики, проводить измерения и тепловых характеристик.

Данная дисциплина является базовой для изучения равновесных, кинетические свойства конденсированных систем.

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

Студенты в ходе изучения дисциплины должны иметь современные представления о гармонических и ангармонических колебаниях атомов решетки конденсированных сред.

Знать: физическую сущность явлений, происходящих в материалах в условиях производства и эксплуатации; взаимосвязь структуры материалов с их тепловыми свойствами.

Уметь: оценивать явлений, происходящих в материалах при воздействии на них различных эксплуатационных факторов; обоснованно выбирать материал;

Владеть: навыками работы с приборами, позволяющими определять тепловые свойства и оценивать характеристики гетерогенные материалы.

Код и наименование компетенции из ОПОП	Код и наименование индикатора достижения компетенций (в соответствии ОПОП)	Планируемые результаты обучения	Процедура освоения
ОПК-1. Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности;	ОПК-1.1. Выявляет и анализирует проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности, основываясь на современной научной картине мира	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-математический аппарат, необходимый для решения задач профессиональной деятельности</li> <li>- тенденции и перспективы развития современной физики, а также смежных областей науки и техники.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, анализировать и обрабатывать соответствующую научно-техническую литературу с учетом зарубежного опыта.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками находить и критически анализировать информацию, выявлять естественнонаучную сущность проблем.</li> </ul>	Устный опрос и письменный опрос
	ОПК-1.2. Реализует и совершенствует новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретиче-	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные понятия, идеи, методы, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач физики;</li> <li>- новые методологические подходы к решению задач в области профессиональной деятельности.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в</li> </ul>	

	ских и прикладных задач в области профессиональной деятельности.	области профессиональной деятельности. Владеет: - навыками реализовать и совершенствовать новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности.	
	ОПК-1.3. Проводит качественный и количественный анализ выбранных 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.	
ОПК-2 Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные	ОПК-2.1. Выбирает или самостоятельно формулирует тему исследования, составляет программу исследования.	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. Умеет: - самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований; - рассматривать возможные варианты реализации экспериментальных исследований, оценивая их достоинства и недостатки. Владеет: - навыками формулировать конкретные темы исследования, планировать эксперименты по заданной методике для эффективного решения поставленной задачи.	Устный опрос и письменный опрос
	ОПК-2.2. Самостоятельно выбирает методы исследования, разрабатывает	Знает: - современные инновационные методики исследований, в том числе с использованием проблемно-ориентированных прикладных программных средств. Умеет: - предлагать новые методы научных ис-	

	<p>вает и проводит исследования.</p>	<p>следований и разработок, новые методологические подходы к решению поставленных задач;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования</li> </ul>	
	<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"> <li>- основные приемы обработки и представления результатов выполненного исследования;</li> <li>- передовой отечественный и зарубежный научный опыт и достижения по теме исследования.</li> </ul> <p>Умеет: - использовать основные приемы обработки, анализа и представления экспериментальных данных;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по выполненной работе.</li> </ul> <p>Владеет: - навыками обработки, анализа и интерпретации полученных данных с использованием современных информационных технологий;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по исследовательской работе.</li> </ul>	
<p>ПК-10 Владеет методами теоретической физики в применении к профессиональным задачам.</p>	<p>ПК-10.1. Владеет специальными знаниями в области квантовой теории.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные физические явления и основные принципы квантовой теории, границы их применения и применение принципов в важнейших практических приложениях;</li> <li>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.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 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</li> </ul>	<p>Устный опрос и письменный опрос</p>

		<p>проблем.</p> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками использования основных физических законов и принципов в практических приложениях; навыками применения основных методов теоретического анализа для решения естественнонаучных задач; анализом полученных экспериментальных результатов в исследовании процессов, происходящих в микромире, адекватное соответствие результатов той или иной теоретической модели.</li> </ul>	
	<p>ПК-10.2.</p> <p>Владеет специальными знаниями в области теоретической механики и электродинамики</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 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; движение материальной точки при больших скоростях; основные уравнения гидродинамики и электродинамики.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- объяснить физические наблюдаемые природные и другие явления с помощью законов и методов теоретической механики и электродинамики; определить какие законы описывают данное явление или эффект; использовать методы абстракции, физического и математического моделирования для решения конкретных задач в области теоретической механики и электродинамики.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основными физическими законами и принципами использования теоретической механики и электродинамики в практических приложениях; методами использования основных методов теоретического анализа для решения естественно-научных задач; анализом полученных экспериментальных результатов в исследовании процессов, происходящих в микромире, адекватное соответствие результатов той или иной теоретической модели.</li> </ul>	
	<p>ПК-10.3.</p> <p>Применяет методы математической физики</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- теоретические основы, основные понятия, законы и модели линейных и нелинейных уравнений математической физики.</li> </ul> <p>Умеет:</p>	<p>Устный опрос и письменный опрос</p>

	<p>для постановки и решения задач в профессиональной деятельности</p>	<p>-понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями и моделями линейных и нелинейных уравнений математической физики. Владеет:</p> <p>-методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации.</p>	
	<p>ПК-10.4. Способен использовать основные методы теоретической физики.</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные этапы развития и возникновения теоретической физики, об ученых, внесших основной вклад в развитии теоретической физики; основные законы и методы теоретической физики; возможности применения этих законов и методов для освоения, изучения дисциплин, как квантовая механика, термодинамика, статфизика и т.д.; основные стандарты, формы, правила составления научной документации и их отдельные особенности.</li> </ul> <p>Умеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- критически оценивать следствия тех или иных решений, открытий в теоретической физике, на дальнейший ход развития науки в целом; применять знания, полученные при изучении теоретической физики, для решения конкретных физических задач; разработать вариант решения различных задач смежных дисциплин на основе законов теоретической физики; написать статьи, доклады для выступления на различных форумах, заседаниях, семинарах.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- возможностью применять методы теоретической физики, ход и историю развития 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</li> </ul>	
<p>ПК-11 Способен понимать теорию и методы исследования физики конденсиро-</p>	<p>ПК-11.1. Базовые теоретические знания по физике конденса-</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- типы связей в конденсированных средах, классификацию веществ – металлы полупроводники и диэлектрики; связь структуры и свойств конденсированных сред; диаграммы состояния многоатомных матери-</li> </ul>	<p>Устный опрос и письменный опрос</p>



ванного состояния вещества	рованного состояния из фундаментальных разделов общей и теоретической физики;	алов. Умеет: - оценивать тип связи в конденсированных средах согласно их классификации – металлы полупроводники и диэлектрики; строить бинарные диаграммы состояния материалов. Владеет: -знаниями об энергии взаимодействия между атомами для различных типов связей; знаниями по расшифровке диаграмм состояния многоатомных материалов.	
	ПК-11.2. Физические основы и природа кристаллических классов и пространственных групп.	Знает: - принципы формирования структуры и элементы кристаллофизики: типы кристаллических решеток; сингонии; плотность упаковки элементарных ячеек; виды дефектов в кристаллах; методы дифракционного анализа. Умеет: -определять типы кристаллических решеток, 40 40 направления и плоскости решеток; определять элементы симметрии; плотность упаковки элементарных ячеек; расшифровывать результаты дифракционного анализа. Владеет: - знаниями об идеальных и реальных структурах; методами определения направления и плоскости решеток, а так же элементов симметрии; методами оценки плотности упаковки элементарных ячеек; методами дифракционного анализа.	
	ПК-11.3. ной работы Современные представления о формировании физических свойств конденсированных сред	Знает: - 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. Умеет: - оценивать параметры зарядовых возбуждений и их релаксации при формировании транспортных свойств; интерпретировать температурные зависимости механических, электрических, тепловых, магнитных и оптических свойств конденсированных сред.	

		<p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами оценки параметров температурных зависимостей механических, электрических, тепловых, магнитных и оптических свойств конденсированных сред по экспериментальным данным; методами теоретической оценки параметров механических, электрических, тепловых, магнитных и оптических свойств; процессов формирования равновесных и транспортных свойств; методами интерпретации связи структуры с механическими электрическими, тепловыми, магнитными, и оптическими свойствами.</li> </ul>	
	<p>ПК-11.4. Особенности свойств в монокристаллических, керамических и наноматериалах</p>	<p>Знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физику отличительных особенностей формирования свойств в моно- и микрокристаллических, керамических и наноматериалах. Умеет: получать монокристаллические, керамические и наноматериалы.</li> </ul> <p>Владеет:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- технологиями получения и исследования свойств монокристаллических, керамических и наноматериалов.</li> </ul>	

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

4.1. Объем дисциплины составляет **3** зачетные единицы, **108** академических часов.

#### 4.2. Структура дисциплины

№ п/п	Раздел и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Самостоятельн. работа	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Практич. занятия	Лаб. занят.	Контроль сам. раб		
<b>Модуль 1</b>									
1	Физические основы тепловое расширение и теплоемкости материалов в твердом состоянии.	9	1-2	5	4			9	Фронтальный опрос
2	Особенности теплового расширения и теплоемкости гетерогенных материалов.	9	2-3	4	5			9	Фронтальный опрос
	Рубежная контрольная сам. работа		4				2		контрольная работа

<b>Всего за модуль</b>				<b>9</b>	<b>9</b>			<b>18</b>	
<b>Модуль 2</b>									
3	Физические основы решеточной и электронной теплопроводности материалов в твердом состоянии.	9	4-5	5	5			8	семинарское занятие
4	Теплопроводность в аморфных и гетерогенных материалах.		5-6	5	5			8	семинарское занятие
Рубежная контрольная сам. работа			6				2		контрольная работа
<b>Всего за модуль</b>				<b>10</b>	<b>10</b>			<b>16</b>	
<b>Модуль 3</b>									
5	Особенности температурных зависимостей теплового расширения теплопроводности и теплоемкости, материалах претерпевающих фазовые переходы.	9	7-8	5	4				семинарское занятие
6	Интерпретация теплового расширения и теплоемкости и теплопроводности в материалах, представляющих собой конденсированные системы.	9	8-9	4	5				семинарское занятие
Рубежная контрольная сам. работа			10				2		контрольная работа
<b>Всего за модуль</b>				<b>9</b>	<b>9</b>			<b>18</b>	зачет
<b>Итого: 108 ч.</b>				<b>28</b>	<b>28</b>			<b>52</b>	

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

##### *Модуль 1.*

Тема 1. Физические основы теплового расширения и теплоемкости материалов в твердом состоянии. Фононный, магнитный и электронный вклады в тепловое расширение и теплоемкость.

Тема. 2. Особенности теплового расширения и теплоемкости гетерогенных материалов, представляющих конденсированные системы.

##### *Модуль 2.*

Тема. 3. Физические основы решеточной и электронной теплопроводности материалов в твердом состоянии. Нормальные процессы и процессы переброса

Тема. 4. Теплопроводность в аморфных и гетерогенных материалах. Гармонические и ангармонические колебания кристаллической решетки. Теплопроводность при положительном и отрицательном ангармонизмах колебаний.

### *Модуль 3*

Тема 5. Особенности температурных зависимостей тепловое расширение теплопроводности и теплоемкости, материалах претерпевающих атомные, магнитные и сегнетоэлектрические фазовые переходы.

Тема. 6. Интерпретация теплового расширения, теплоемкости и теплопроводности в материалах, представляющих собой конденсированные системы. Тепловые свойства высокотемпературных сверхпроводников, мультиферроиков и т.д.

#### *Зачет с оценкой*

#### **5. Образовательные технологии:**

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по реализации компетентностного подхода, дисциплина предусматривает широкое использование в учебном процессе активные и интерактивные формы, лекции, практические занятия, контрольные работы, коллоквиумы, зачеты и экзамены. 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 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.

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

### **7.1. Перечень компетенций в процессе освоения образовательной программы приведены в П 3. (настоящей рабочей программе дисциплины)**

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

### **7.2. Примерные темы для самостоятельной работы**

#### **Вопросы для текущего контроля, промежуточной аттестации**

1. Колебания кристаллической решетки..
2. Общая классификация колебательных мод, число различных мод;
3. Акустические и оптические колебания.
4. Закон Дюлонга и Пти. Область применения этого закона.
5. Понятие о функции распределения частот в твердом теле.
6. Колебания неидеальных решеток, локальные моды.
7. Классическая и квантовая теория теплоемкости твердого тела.
8. Квантование колебаний решетки; фононы.
9. Фононная теплоемкость.
10. Электронная теплоемкость металлов
11. Приближение Эйнштейна и Дебая.
12. Основы теории Дебая теплоемкости твердых тел.
13. Определение дебаевской температуры.
14. Связь дебаевской температуры и скорости распространения волн в кристаллах.
15. Ангармонизм колебаний кристаллических решеток.
16. Тепловое расширение кристаллической решетки.
17. Положительное и отрицательное тепловое расширение.
18. Зависимость тепловых свойств (теплоемкость, теплопроводность, тепловое расширение) от пористости.
19. Связь фононной теплопроводности с коэффициентом теплового расширения.
20. Тепловое расширение и теплоемкость гетерогенных материалов.
21. Микроскопическая теория теплового расширения.
22. Феноменологическая теория теплового расширения.
23. Магنونная теплоемкость.
24. Магнетокалорический эффект и магнитное охлаждение.
25. Тепловые свойства высокотемпературных сверхпроводников.
26. Тепловые свойства манганитов и мультиферроиков.
27. Теплопроводность в аморфных и гетерогенных материалах.
28. Нормальные процессы и процессы переброса для фононной теплопроводности
29. Теплопроводность при положительном и отрицательном ангармонизмах колебаний.
30. Тепловые свойства (теплоемкость, теплопроводность, тепловое расширение) при фазовых переходах.

### Примерные тесты для текущего и промежуточного контроля

- 1) Конечная величина теплопроводности твердых тел обусловлена:
  - 1) процессами переброса или  $U$  – процессами
  - 2) нормальными или  $N$  – процессами
  - 3)  $N$ - и  $U$  - процессами одновременно
  - 4) рассеянием электронов на фононах
  - 5) рассеянием электронов на примесях и дефектах.
- 2) Физический смысл температуры Дебая  $Q_D$  в том, что при этой температуре:
  - 1) частота  $\omega_D = \frac{k_0 Q_D}{\hbar}$  имеет порядок минимальной частоты фононов
  - 2) тепловая энергия  $k_0 Q_D$  равна минимальной энергии одного кванта колебаний решетки
  - 3) тепловая энергия  $k_0 Q_D$  равна максимальной энергии одного кванта колебаний решетки
  - 4) тепловая энергия  $k_0 Q_D$  равна средней энергии одного кванта колебаний решетки.
- 3) В цепочке, состоящей из атомов двух сортов, возможны два типа колебаний с одной и той же длиной волны – акустические и оптические. При этом:
  - 1) во всех модах колебания соседних атомов цепочки происходят в противофазе
  - 2) для акустических мод колебания соседних атомов цепочки происходят в противофазе, для оптических мод – в фазе
  - 3) во всех модах колебания соседних атомов цепочки происходят в фазе
  - 4) для акустических мод колебания соседних атомов цепочки происходят в фазе, для оптических мод – в противофазе;
  - 5) среди ответов а-г нет правильного.
- 4) При учете ангармонизма колебаний тепловое расширение твердых тел связано с тем, что при повышении температуры:
  - 1) увеличивается амплитуда колебаний атомов, а среднее расстояние между ними остается неизменным
  - 2) увеличивается не только амплитуда колебаний атомов, но также происходит увеличение средних расстояний между ними
  - 3) увеличивается среднее расстояние между атомами при неизменной амплитуде их колебаний
  - 4) амплитуда колебаний атомов и среднее расстояние между ними не изменяются
  - 5) амплитуда колебаний атомов уменьшается, а среднее расстояние между ними возрастает.
- 5) Какое из приведенных выражений соответствует теплоемкости решетки при низких температурах по модели Эйнштейна:
  - 1)  $C = 3Nk_0 \frac{\hbar\omega}{k_0T} e^{-\frac{\hbar\omega}{k_0T}}$
  - 2)  $C = \frac{12}{5}\pi^4 Nk_0 \frac{T}{Q}^3$
  - 3)  $C = \frac{9}{2} Nk_0$
  - 4)  $C = \frac{\pi^2}{2} Nk_0 \frac{k_0T}{E_F}$
  - 5)  $C = 3Nk_0$ .
- 6) В объемном кристалле для каждого значения волнового вектора  $k$  имеет место три моды колебаний:
  - 1) одна из них  $T$  соответствует поперечной, а две другие  $L_1$  и  $L_2$  – продольным волнам;
  - 2) одна из них  $L$  соответствует продольной, а две другие  $T_1$  и  $T_2$  - поперечным волнам;
  - 3) все три моды являются поперечными  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$ ;
  - 4) все три моды являются продольными  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3$ .

- 7) Кванты энергии колебаний решетки называются:
- 1) фононами
  - 2) фотонами
  - 3) магнонами
  - 4) экситонами
  - 5) плазмонами.
- 8) Чему равна решеточная теплоемкость при  $T=0$  К?
1. 0; 2. 1; 3. R; 4. 2R; 5. 3R.
- 9) В какой области температур решеточная теплоемкость пропорциональна  $T^3$ ?
1.  $T=0$  К; 2.  $T<\theta_D$ ; 3.  $T>\theta_D$ ; 4.  $T<\theta_D/100$ ; 5.  $T=T_{пл}$ .
- 10) Чему равен коэффициент теплопроводности решетки при  $T=0$  К?
- 1) 0. 2) 1. 3)  $\infty$ . 4) R. 5)  $3/2R$ .
- 11) Какой механизм переноса тепла является основным в металлах в области  $T>\theta_D$ ?
- 1) Фононный. 2) Электронный. 3) Фотонный. 4) Увлечение. 5) Фононный, электронный, фотонный, увлечение.
- 12) При какой температуре длина свободного пробега равна размеру образца?
- 1)  $T=0$ ; 2)  $T>\theta_D$ ; 3)  $T=T_{max}$ ; 4)  $T=\theta_D$ ; 5)  $T<\theta_D$ .
- 13) В какой области температур спиновая теплоемкость магнитоупорядоченной фазы превосходит фононную?
- 1)  $T<\theta_D$ ; 2)  $T=\theta_D$ ; 3)  $T>\theta_D$ ; 4)  $T=T_c$ ; 5)  $T\ll\theta_D$ .

На самостоятельную работу студентов выносятся переработка материалов лекций и семинарских занятий, подготовка к практическим занятиям и обработка их результатов и составление отчетов, выполнение курсовых работ, подготовка к научным докладам на семинарах и т. д.

#### **7.4 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%.

##### **Лекции - Текущий контроль** включает:

- посещение занятий \_\_ 10 \_\_ бал.
- активное участие на лекциях \_\_ 15 \_\_ бал.
- устный опрос, тестирование, коллоквиум \_\_ 60 \_\_ бал.
- и др. (доклады, рефераты) \_\_ 15 \_\_ бал.

##### **Практика - Текущий контроль** включает:

(от 51 и выше - зачет)

- посещение занятий \_\_ 10 \_\_ бал.
- активное участие на практических занятиях \_\_ 15 \_\_ бал.
- выполнение домашних работ \_\_ 15 \_\_ бал.
- выполнение самостоятельных работ \_\_ 20 \_\_ бал.
- выполнение контрольных работ \_\_ 40 \_\_ бал.

Эти критерии носят в основном ориентировочный характер. Если в билете имеются задачи, они могут быть более четкими.

**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

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

а) 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. Черевко А.Г. Физика конденсированного состояния. Часть 1. Кристаллы и их тепловые свойств [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Г. Черевко. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. — 81 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69566.html>
2. Физика твёрдого тела / Блейкмор, Джон ; Под ред. Д.Г. Андрианова, В.И. Фистуля. - М. : Мир, 1988. - 608 с. : ил. ; 22 см. - Библиогр.: с. 11-12. Библиогр. в конце глав. - Предм. указ.: с. 599-606. - ISBN 5-03-001256-7 : 3-00. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
3. Балабанов, П. В. Теоретические и практические аспекты измерения теплофизических свойств гетерогенных материалов: монография / П. В. Балабанов, А. П. Савенков. – Тамбов.: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 188 с.  
<http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2016/balabanov.pdf>
4. Тепловые свойства твёрдых тел : задания для проведения лаб. работ / М-во образования РФ, Дагест. гос. ун-т; [Сост. Палчаев Д.К., Мурлиева Ж.Х., Палчаева Х.С.] . - Махачкала : ИПЦ ДГУ, 2002. - 38 с. - 5-00.
5. Энергетический спектр фонов и тепловые свойства конденсированных сред : учебно-метод. пособие / [Д.К.Палчаев и др.]Минобрнауки России, Дагест. гос. ун-т. - Махачкала : Изд-во ДГУ, 2014. - 55-00. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ

**Дополнительная литература**

1. Разумовская И.В. Физика твердого тела. Часть 2. Динамика кристаллической решетки. Тепловые свойства решетки [Электронный ресурс] / И.В. Разумовская. — Электрон. текстовые данные. — М. : Прометей, 2011. — 64 с. — 978-5-4263-0032-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/9611.html>
2. Гольдаде В.А. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] / В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук. — Электрон. текстовые данные. — Минск: Белорусская наука, 2009. — 648 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/11505.html>



3. Киттель, Чарлз. Введение в физику твёрдого тела / Киттель, Чарлз ; пер. А.А.Гусева и А.В.Пахнева; под общ. ред. А.А.Гусева. - М. : Наука, 1978. - 791 с. : ил. ; 22 см. - Список лит.: с. 769-791. - 2-10. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ

### **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](http://www.elibrary.ru), включая научные обзоры журнала Успехи физических наук [www.ufn.ru](http://www.ufn.ru)
4. Региональный ресурсный Центр образовательных ресурсов <http://rrc.dgu.ru/>
5. Электронные ресурсы Издательства «Лань» <http://e.lanbook.com/>
6. Ресурсы МГУ [www.nanometer.ru](http://www.nanometer.ru).
7. Методы получения наноразмерных материалов/ курс лекций и руководство к лабораторным занятиям. Екатеринбург. 2007.
8. [http://www.chem.spbu.ru/chem/Programs/Bak/ultradisp\\_sost\\_SS.pdf](http://www.chem.spbu.ru/chem/Programs/Bak/ultradisp_sost_SS.pdf)
9. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>.
10. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
11. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредитации (<http://www.fepo.ru/>)

### **Интернет-ресурсы**

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

1. ЭБС IPRbooks: ([www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru)). Лицензионный договор № 6984/20 на электронно-библиотечную систему IPRbooks от 02.10.2020 г. Срок действия договора со 02.10.2020 г. по 02.10.2021 г.
2. Электронно-библиотечная система (ЭБС) «Университетская библиотека онлайн»: [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru). Договор об оказании информационных услуг № 131-09/2010 от 01.10.2020г. Срок действия договора с 01.10.2020 до 30.09.2021 г. 537 наименований.
3. Электронно-библиотечная система «ЭБС ЛАНЬ <https://e.lanbook.com/>. Договор №СЭБ НВ-278 на электронно-библиотечную систему ЛАНЬ от 20.10.2020 г. Срок действия договора со 20.10.2020 г. по 31.12.2023г.
4. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>. Лицензионное соглашение № 844 от 01.08.2014 г. Срок действия соглашения с 01.08.2014 г. без ограничения срока.
5. Национальная электронная библиотека <https://нэб.рф/>. Договор №101/НЭБ/101/НЭБ/1597 о предоставлении доступа к Национальной электронной библиотеке от 1 августа 2016 г. Срок действия договора с 01.08.2016 г. без ограничения срока. Договор может пролонгироваться неограниченное количество раз, если ни одна из сторон не желает его расторгнуть.
6. Web of Science: Web of Science Core Collection базы данных Clarivate. Срок действия до 31.01.2021 г. Письмо РФФИ от 07.07.2020 г. № 692 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных Clarivate в 2020 г. [webofknowledge.com](http://webofknowledge.com)
7. Scopus: Scopus издательства Elsevier B.V. Срок действия до 31.01.2021 г. Письмо РФФИ от 19.10.2020 г. № 1189 о предоставлении 32 лицензионного доступа к содержанию базы дан-

- ных Scopus издательства Elsevier B.V. в 2020 г. <https://www.scopus.com>
8. Международное издательство Springer Nature Коллекция журналов, книг и баз данных издательства Springer Nature. Срок действия до 31.01.2021 г. Письмо РФФИ от 17.07.2020 г. № 743 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных издательства Springer Nature в 2020 г. на условиях национальной подписки <https://link.springer.com/>
  9. Журналы American Physical Society. Базы данных APS (American Physical Society). Срок действия до 31.01.2021 г. Письмо РФФИ от 10.11.2020 г. № 1265 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных American Physical Society в 2020 г. <http://journals.aps.org/about>.
  10. Университетская информационная система РОССИЯ <https://uisrussia.msu.ru/>

## 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 теплофизике;
- 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;
- 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 PowerPoint Viewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, табличный процессор.
2. Программное обеспечение в компьютерный класс: MS PowerPoint (MS PowerPointViewer), AdobeAcrobatReader, средство просмотра изображений, Интернет, E-mail.
- 3.

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

1. Закрепление теоретического материала и приобретение практических навыков исследования свойств и обработки данных обеспечивается в последующем в лабораториях при проведении Специального физического практикума (Б1.В.ОД.16). При проведении занятий используются лаборатории, оснащенные современным технологическим и измерительным оборудованием.
2. При изложении теоретического материала используется лекционная аудитория, оснащенная проекционным оборудованием и интерактивной доской. Кафедра располагает необходимыми установками, технологическим оборудованием, приборами, не только для выполнения специального физического практикума, но и выполнения соответствующих курсовых и диссертационных работ. Имеется богатая библиотека, в том числе электронные книги, копии периодических изданий и т. д.