



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*Физический факультет*

## **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Ангармонические эффекты в конденсированных средах**

Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем физического факультета  
Образовательная программа  
**03.03.02 – Физика**

Направленность (профиль) программы:  
**Фундаментальная физика**

Форма обучения:  
**Очная**

Статус дисциплины:  
**дисциплина по выбору**

**Махачкала, 2022 год**

Рабочая программа дисциплины «**Ангармонические эффекты в конденсированных средах**» составлена в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО – бакалавриата по направлению подготовки **03.03.02** – Физика от «07» августа 2020 г. № 891.

Разработчик: кафедра физики конденсированного состояния и наносистем,  
Палчаев Д.К., д.ф.-м.н., профессор



Рабочая программа дисциплины одобрена:  
на заседании кафедры физики конденсированного состояния и наносистем от «19» марта 2022 г., протокол № 7.

Зав. кафедрой ФКСиН



Рабаданов М.Х.

на заседании методической комиссии физического факультета от «23» марта 2022г., протокол № 7.

Председатель



Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением «31» марта 2022 г.

Начальник УМУ



Гасангаджиева А.Г.

### Аннотация рабочей программы дисциплины

входит в часть, формируемую участниками образовательных отношений ОПОП 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 природы кинетических свойств, термической деформации, в том числе отрицательной, установления вкладов эффекта ангармонизма в формирование свойств конденсированных сред, а также дать знания, необходимые для оценок этих вкладов и в каких вопросах нельзя пренебрегать этим эффектом.

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, зачет.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника *обще-профессиональных* ОПК– 2, ОПК– 2; *профессиональных* ПК-10, ПК–11.

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

| Се-<br>местр | Учебные занятия                                |                      |                      |           |              |                             | Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен) |
|--------------|--|----------------------|----------------------|-----------|--------------|-----------------------------|---|
|              | в том числе                                    |                      |                      |           |              |                             |   |
|              | Контактная работа обучающихся с преподавателем |                      |                      |           |              | СРС,<br>в том числе экзамен |   |
|              | Все<br>го                                      | из них               |                      |           |              |                             |   |
| Лек-<br>ции  |  | Лабораторные занятия | Практические занятия | КСР       | консультации |                             |   |
| <b>7</b>     | <b>72</b>                                      | <b>34</b>            |                      | <b>34</b> |              | <b>4</b>                    | <b>зачет</b>  |

#### 1. Цели освоения дисциплины

Цель спецкурса, соотнесенная с общими целями ОПОП ВО, заключается в том, чтобы раскрыть природу кинетических свойств, термической деформации, в том числе, отрицательной; установить вклады от эффекта ангармонизма в формирование других свойств, а также дать знания, необходимые для оценок этих вкладов и связи кинетических свойств с термической деформацией конденсированных сред. При этом будет обращать внимание на признанные положения теории и практики, которыми должны руководствоваться бакалавры, при исследовании и интерпретации различных свойств с учетом эффекта ангармонизма.

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

Дисциплина «Ангармонические эффекты в конденсированных средах» Б1.В.ДВ.02.04. входит часть, формируемую участниками образовательных отношений, является дисциплиной по выбору ОПОП бакалавриата по направлению **03.03.02–** «Физика», профиля подготовки «Фундаментальная физика».

Данная дисциплина призвана выработать профессиональные компетенции, связанные со способностью использовать теоретические знания в области общей физики, атомной физики, статистической физики для решения конкретных практических задач на примере задач физики колебаний атомов кристаллической решетки.

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 сохранения энергии, импульса и момента количества движения в объеме знаний курса общей физики и атомной физики, проводить измерения и расчеты ангармонических характеристик.

Данная дисциплина является базовой для изучения равновесных, кинетические и магнитные свойства конденсированных сред.

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

Студенты в ходе изучения дисциплины должны освоить основы физики наносистем и современные представления о фазовых равновесиях в конденсированных системах.

**Знать:** суть эффекта ангармонизма колебаний кристаллической решетки; физические основы ангармонизма колебаний атомов и значимость этого эффекта в формировании свойств конденсированных сред; свойства конденсированных сред обусловлены эффектом ангармонизма колебаний атомов в среднем по решетке.

**Уметь:** решать задачи связанные с интерпретацией свойств с учетом ангармонизма; анализировать базовую информацию в области физики явлений обусловленных ангармонизмом колебаний решетки атомов; применять полученные знания при решении задач по учету ангармонизмом колебаний;

**Владеть:** экспериментальной и теоретической информации, позволяющей учитывать ангармонизм колебаний решетки атомов; знаниями явлений непосредственно связанных с ангармонизмом колебаний решетки атомов; методами исследований структуры равновесных и неравновесных свойств, определяемых ангармонизмом колебаний.

| Код и наименование компетенции из ОПОП  | Код и наименование индикатора достижения компетенций  | Планируемые результаты обучения  | Процедура освоения |
|---|---|--|--------------------|
| <b>ОПК-1</b><br>Способен применять базовые знания в области физико-математических и (или) естественных наук в сфере своей профессиональной деятельности | <b>ОПК-1.1.</b><br>Выявляет и анализирует проблемы, возникающие в ходе профессиональной деятельности, основываясь на современной научной картине мира | <b>Знает:</b><br>- физико-математический аппарат, необходимый для решения задач профессиональной деятельности;<br>- теоретические модели призванные учитывать эффект ангармонизма при интерпретации свойств конденсированных сред.<br><b>Умеет:</b><br>- понимать, излагать и критически анализировать базовую информацию, определять значимость эффекта ангармонизма в формировании свойств конденсированных сред;<br>-определять пределы возможности интерпретировать свойствам конденсированных сред, обусловленные эффектом ангармонизма<br><b>Владеет:</b><br>- навыками находить и критически анализировать информацию, выявлять естественнонаучную сущность проблем.<br>- методами работы с современными образовательными и информационными технологиями, связан- | Устный опрос       |

|  |  |  |              |
|--|--|--|--------------|
|  |  | ных с установлением роли эффекта ангармонизма колебаний атомов   |              |
|  | <p><b>ОПК-1.2.</b><br/>Реализует и совершенствует новые методы, идеи, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач в области профессиональной деятельности</p> | <p><b>Знает:</b><br/>- суть эффекта ангармонизма колебаний кристаллической решетки.<br/>- пределы применимости гармонического и квазигармонического приближений.</p> <p><b>Умеет:</b><br/>- критически анализировать и излагать получаемую информацию, пользоваться учебной литературой, Internet – ресурсами;<br/>- применять полученные знания в области физики конденсированного состояния при решении задач связанных с интерпретацией свойств с учетом ангармонизма</p> <p><b>Владеет:</b><br/>- навыками проведения научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований<br/>навыками использования современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования);<br/>навыками реализации информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта.</p> | Устный опрос |
|  | <p><b>ОПК-1.3.</b><br/>Проводит качественный и количественный анализ выбранного методов решения выявленной проблемы, при необходимости вносит необходимые коррективы.</p>      | <p><b>Знает:</b><br/>- основы качественного и количественного анализа методов решения выявленной проблемы.</p> <p><b>Умеет:</b><br/>- выбирать метод решения выявленной проблемы, проводить его качественный и количественный анализ, при необходимости вносить необходимые коррективы для достижения оптимального результата.</p> <p><b>Владеет:</b><br/>- навыками проводить качественный и количественный анализ методов решения выявленной проблемы, оценивать эффективность</p>   | Устный опрос |

|   |   | выбранного метода.  |              |
|---|---|---|--------------|
| <b>ОПК-2</b><br>Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные | <b>ОПК-2.1.</b> Выбирает или самостоятельно формулирует тему исследования, составляет программу исследования.                       | <b>Знает:</b><br>- актуальные проблемы, связанные с учетом явления ангармонизма при формировании кинетических свойств веществ.<br>- принципы планирования экспериментальных исследований для решения поставленной задачи.<br><b>Умеет:</b><br>- самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований;<br>- рассматривать возможные варианты реализации экспериментальных исследований, оценивая их достоинства и недостатки.<br><b>Владеет:</b> - навыками формулировать конкретные темы исследования, планировать эксперименты по заданной методике для эффективного решения поставленной задачи. | Устный опрос |
|   | <b>ОПК-2.2.</b> Самостоятельно выбирает методы исследования, разрабатывает и проводит исследования.                                 | <b>Знает:</b><br>- современные инновационные методики исследований, в том числе с использованием проблемно-ориентированных прикладных программных средств.<br><b>Умеет:</b><br>- предлагать новые методы научных исследований и разработок, новые методологические подходы к решению поставленных задач; - самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования.<br><b>Владеет:</b><br>- навыками самостоятельно выбирать методы исследования, разрабатывать и проводить исследования.   | Устный опрос |
|   | <b>ОПК-2.3.</b> Анализирует, интерпретирует, оценивает, представляет и защищает результаты выполненного исследования с обоснованием | <b>Знает:</b><br>- основные приемы обработки и представления результатов выполненного исследования;<br>- передовой отечественный и зарубежный научный опыт и достижения по теме исследования.<br><b>Умеет:</b><br>- использовать основные приемы  | Устный опрос |

|  |  |  |                     |
|--|--|--|---------------------|
|  | <p>ванными выводами и рекомендациями.</p>  | <p>обработки, анализа и представления экспериментальных данных; - формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по выполненной работе.</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками обработки, анализа и интерпретации полученных данных с использованием современных информационных технологий;</li> <li>- формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по исследовательской работе.</li> </ul>  |                     |
| <p><b>ПК-10</b><br/>Владеет методами теоретической физики в применении к профессиональным задачам.</p> | <p><b>ПК-10.1.</b><br/>Владеет специальными знаниями в области квантовой теории.</p> | <p><b>Знает:</b></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;</li> <li>- различия гармонического и ангармонического квантового осциллятора;</li> <li>- физические основы ангармонизма колебаний атомов и значимость этого эффекта в формировании свойств конденсированных сред.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- интерпретировать явления, обусловленные наличием ангармонизма колебаний атомов, связанным с асимметричностью потенциала межатомного взаимодействия;</li> <li>- использовать методы адекватного физического и математического моделирования и методы теоретического анализа к решению конкретных проблем.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>навыками использования основных физических законов и принципов в практических приложениях;</li> <li>- навыками применения основных методов теоретического анализа для решения естественнонаучных задач;</li> <li>- методикой и теоретическими ос-</li> </ul> | <p>Устный опрос</p> |

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
|   |  | новами анализа экспериментальной и теоретической информации, позволяющей учитывать ангармонизм колебаний атомов решетки. |  |
| <b>ПК-10.2.</b><br>Владеет специальными знаниями в области теоретической механики и электродинамики | <b>Знает:</b> 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; основные уравнения электродинамики; движение материальной точки при больших скоростях<br><b>Умеет:</b> 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.<br><b>Владеет:</b> основными физическими законами и принципами использования теоретической механики и электродинамики в практических приложениях; методами использования 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 | Устный опрос   |  |
| <b>ПК-10.3.</b><br>Применяет методы математической физики для постановки и решения задач            | <b>Знает:</b> теоретические основы, основные понятия, законы и модели линейных и нелинейных уравнений математической физики.<br><b>Умеет:</b>  | Устный опрос   |  |

|  |  |  |              |
|--|--|--|--------------|
|  | в профессиональной деятельности  | <p>понимать, излагать и критически анализировать базовую общезначимую информацию; пользоваться теоретическими основами, основными понятиями и моделями линейных и нелинейных уравнений математической физики.</p> <p><b>Владеет:</b><br/>методами обработки и анализа экспериментальной и теоретической физической информации.</p>   |              |
|  | <p><b>ПК-10.4.</b><br/>Способен использовать основные методы теоретической физики.</p>           | <p><b>Знает:</b><br/>-основные этапы развития и возникновения теоретической физики, квантовой механики, термодинамики, статфизики и т.д.; основные стандарты, формы, правила составления научной документации и их отдельные особенности.</p> <p><b>Умеет:</b><br/>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.</p> <p><b>Владеет:</b><br/>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> | Устный опрос |
| <p><b>ПК-11</b><br/>Способен понимать теорию и методы исследования физики кон-</p> | <p><b>ПК-11.1.</b><br/>Базовые теоретические знания по физике конденсированного состояния из</p> | <p><b>Знает:</b><br/>типы связей в конденсированных средах, классификацию веществ – металлы полупроводники и диэлектрики; связь структуры и свойств конденсированных сред;</p>   | Устный опрос |

|                                   |   |  |              |
|-----------------------------------|---|--|--------------|
| денсированного состояния вещества | фундаментальных разделов общей и теоретической физики;  | <p>диаграммы состояния многоатомных материалов.</p> <p><b>Умеет:</b><br/>оценивать тип связи в конденсированных средах согласно их классификации – металлы полупроводники и диэлектрики; строить бинарные диаграммы состояния материалов.</p> <p><b>Владеет:</b><br/>знаниями об энергии взаимодействия между атомами для различных типов связей; знаниями по расшифровке диаграмм состояния многоатомных материалов</p>   |              |
|                                   | <p><b>ПК-11.2.</b> Физические основы и природа кристаллических классов и пространственных групп.</p>      | <p><b>Знает:</b><br/>принципы формирования структуры и элементы кристаллофизики: типы кристаллических решеток; сингонии; плотность упаковки элементарных ячеек; виды дефектов в кристаллах; методы дифракционного анализа.</p> <p><b>Умеет:</b><br/>определять типы кристаллических решеток, направления и плоскости решеток; определять элементы симметрии; плотность упаковки элементарных ячеек; расшифровывать результаты дифракционного анализа.</p> <p><b>Владеет:</b><br/>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</p> | Устный опрос |
|                                   | <p><b>ПК-11.3.</b> Современные представления о формировании физических свойств конденсированных сред.</p> | <p><b>Знает:</b><br/>формирование зарядовых возбуждений и их релаксацию; процессы формирования механических свойств; температурные зависимости свойств конденсированных сред; связь структуры с механическими электрическими, тепловыми свойствами.</p> <p><b>Умеет:</b><br/>интерпретировать температурные зависимости механических, элект-</p>   | Устный опрос |

|  |   |   |              |
|--|---|---|--------------|
|  |   | <p>трических, тепловых, магнитных свойств конденсированных сред;</p> <p>- связь между кинетическими параметрами и термической деформацией решетки.</p> <p><b>Владеет:</b></p> <p>-методами оценки параметров температурных зависимостей свойств конденсированных сред по экспериментальным данным; --</p> <p>-методами теоретической оценки параметров кинетических свойств;</p> <p>-методами интерпретации связи структуры с механическими и тепловыми свойствами.</p> |              |
|  | <p><b>ПК-11.4.</b> Особенности свойств в монокристаллических, керамических и наноматериалах</p> | <p><b>Знает:</b> физику отличительных особенностей формирования свойств в микрокристаллических, керамических и наноматериалах.</p> <p><b>Умеет:</b></p> <p>интерпретировать зависимость механических свойств керамических материалов от размера зерен.</p> <p><b>Владеет:</b></p> <p>методами исследования механических свойств микро- и наноструктурированных материалов</p>   | Устный опрос |

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

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

#### 4.2. Структура дисциплины.

| № п/п  | Разделы и темы дисциплины по модулям  | Семестр | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов (в часах) |                      |                      |     |  | Формы текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации |
|--|---|---------|---|----------------------|----------------------|-----|--|---|
|  |   |         | Лекции  | Практические занятия | Лабораторные занятия | ... | Самостоятельная работа в т.ч. зачет, экзамен |   |
| <b>Модуль 1. Гармонический и ангармонический осцилляторы. Ангармонизм.</b> |   |         |   |                      |                      |     |  |   |
| 1  | <p><u>Тема.1. Гармонический осциллятор.</u></p> <p>Простейший аналог колебаний атомов. Комплексное представление гармонических колебаний. Периодические негармонические колебания. Затухающие колебания и обоснование понятия времени релаксации.</p> | 7       | 6   | 6                    |                      |     |  | Устный опрос  |
| 2  | <p><u>Тема.2. Ангармонический осциллятор.</u></p> <p>Ангармонический осциллятор</p>   |         | 3   | 3                    |                      |     |  | Письменный опрос  |

|   |  |   |   |  |  |   |                  |
|---|--|---|---|--|--|---|------------------|
|   | – реальный аналог колебаний атомов. Ангармонические колебаний решетки.   |   |   |  |  |   |                  |
|   | <u>Тема.3. Квантовый гармонический осциллятор.</u><br>Квантовый ангармонический осциллятор.  | 2 | 2 |  |  |   | Устный опрос     |
|   | <u>Тема.4. Термическая деформация.</u><br>Положительная и отрицательная термическая деформации.<br>Роль ангармонизма колебаний атомов при формировании равновесных и неравновесных свойств веществ.  | 4 | 4 |  |  | 2 | Устный опрос     |
|   | <u>Тема.5. Взаимодействие элементарных возбуждений с решеткой.</u> Фонон-фононные и электрон-фононные взаимодействия.  | 2 | 2 |  |  |   | Письменный опрос |
|   | Итого по модулю 1: 36 часов.   |   |   |  |  |   |                  |
| <b>Модуль 2. Связь кинетических параметров и термической деформацией решетки.</b> |  |   |   |  |  |   |                  |
|   | <u>Тема.6. Анализ теории и эксперимента.</u><br>Анализ результатов теоретической интерпретации свойств твердых тел в гармоническом и квазигармоническом приближениях. Количественные соотношения между кинетическими параметрами рассеяния электронов и фононов и изобарной термической деформацией. | 6 | 6 |  |  |   | Устный опрос     |
|   | <u>Тема.7. Закономерности и критерии.</u><br>Интерпретация закономерности, связывающей кинетические коэффициенты с термической деформацией на основе феноменологической теории.  | 3 | 3 |  |  |   | Устный опрос     |
|   | <u>Тема.8. Характеристические параметры.</u><br>Характеристические фононные тепло- и электро-сопротивления (микроскопическая расшифровка), определяемые верхним пределом ангармонизма.   | 2 | 2 |  |  | 2 | Письменный опрос |
|   | <u>Тема.9. Связь параметра порядка с термической деформацией</u>   | 4 | 4 |  |  |   | Письменный опрос |

|  |  |  |   |   |  |  |  |                 |
|--|--|--|---|---|--|--|--|-----------------|
|  | <u>Тема.10. Потенциал меж-<br/>атомного притяжения.</u><br>Потенциал межатомного<br>притяжения, рассчитанный<br>по данным изобарной тер-<br>мической деформации. |  | 2 | 2 |  |  |  | Устный<br>опрос |
|  | Итого по модулю 2: 36 часов.   |  |   |   |  |  |  |                 |
|  | ИТОГО: 72 часа   |  |   |   |  |  |  | Зачет           |

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

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

##### **Модуль 1. Гармонический и ангармонический осцилляторы. Ангармонизм.**

**Тема 1.** Гармонический осциллятор - простейший аналог колебаний атомов. Квантовый гармонический осциллятор.

**Тема 2.** Комплексное представление гармонических колебаний. Периодические негармонические колебания.

**Тема 3.** Ангармонический осциллятор – реальный аналог колебаний атомов. Ангармонические колебаний решетки. Квантовый ангармонический осциллятор

**Тема 4.** Роль ангармонизма колебаний атомов при формировании равновесных и неравновесных свойств веществ.

**Тема 5.** Фонон-фононные и электрон-фононные взаимодействия.

##### **Модуль 2. Связь кинетических параметров и термической деформацией решетки**

**Тема 6.** Анализ результатов теоретической интерпретации свойств твердых тел в гармоническом и квазигармоническом приближениях. Электросопротивление и теплосоппротивление.

**Тема 7.** Количественные соотношения между кинетическими параметрами рассеяния электронов и фононов и изобарной термической деформацией.

**Тема 8.** Характеристические фононные тепло- и электросопротивления. Микроскопическая расшифровка этих параметров.

**Тема 9.** Фазовые переходы второго рода. Связь параметра порядка с термической деформацией при магнитных фазовых переходах и переходах типа «атомный порядок-беспорядок».

**Тема 10.** Теоретические основы процедуры восстановления потенциала межатомного притяжения, по данным изобарной термической деформации..

##### **4.3.2. Содержание практических занятий по дисциплине.**

##### **Модуль 1. Гармонический и ангармонический осцилляторы. Ангармонизм.**

**Тема 1.** Комплексное представление гармонических колебаний. Периодические негармонические колебания. Принцип неопределенности. Нулевые колебания.

**Тема 2.** Затухающие колебания и обоснование понятия времени релаксации.

**Тема 3.** Природа ангармонизма. Асимметричность потенциала взаимодействия. Термическая деформация твердых тел. Теорема вириала.

**Тема 4.** Особенности строения рыхлоупакованных структур. Изгибные колебания. Положительная и отрицательная термическая деформации.

**Тема 5.** Энергетические спектры фононов и электронов. Приближения и допущения.

## **Модуль 2. Связь кинетических параметров и термической деформацией решетки**

**Тема 6.** Модели Блоха-Грюнаузена и Максвелла при расчетах электросопротивления. Модель Лейбфрида- Шлемана для расчета теплосопротивления.

**Тема 7.** Роль ангармонизма в формировании температурных зависимостей электросопротивления и теплосопротивления.

**Тема 8.** Расчеты характеристических фононных тепло- и электросопротивлений для модельных металлов и диэлектриков.

**Тема 9.** Параметр порядка при фазовых переходах второго рода: ферро- и парамагнетик; упорядоченный сплав – неупорядоченный; сверхпроводник – несверхпроводник.

**Тема 10.** Формировании потенциальной энергии обобществленного электрона при гармонических и ангармонических колебаниях атомов.

### **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 «Ангармонические эффекты в конденсируются следующие образовательные технологии: развивающее обучение, проблемное обучение, коллективная система обучения, лекционно-зачетная система обучения.

Лекции и практические занятия проводятся с применением слайдов (презентаций) в программе Power Point, а также с использованием интерактивной доски, большая часть теоретического материала представлена в электронной форме и на бумажном носителе. 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. На семинарских занятиях обсуждаются вопросы рассмотренные студентами самостоятельно в рамках внеаудиторной работы. Уделяется внимание формированию и развития профессиональных навыков обучающихся.

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. В рамках учебного процесса предусмотрено приглашение для чтения лекций ведущих ученых из центральных вузов и академических институтов России.

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

В рамках учебного процесса предусмотрено приглашение для чтения лекций ведущих ученых из центральных вузов, академических институтов России и зарубежных ученых.

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

Самостоятельная работа должна носить систематический характер. Результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем и учитываются при аттестации студента (зачет). При этом проводятся: тестирование, экспресс-опрос и дискуссии на семинарских занятиях, проверка письменных работ и т.д.

**Промежуточный контроль.** В течение семестра студенты выполняют:

- повторение пройденного материала;
- подготовка к семинарам;
- подготовки к контрольным работам;
- выполнения индивидуальных заданий по основным темам дисциплины;
- написание курсовых работ по проблемам дисциплины «Физика наносистем».

**Итоговый контроль.** Зачет в конце 1 семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решения по всему пройденному материалу.

Примерное распределение времени самостоятельной работы студентов

| Вид самостоятельной работы                              | Примерная трудоёмкость, а.ч. |              |         |
|---|------------------------------|--------------|---------|
|   | Очная                        | Очно-заочная | заочная |
| <b>Текущая СРС</b>                                      |                              |              |         |
| работа с лекционным материалом, с учебной литературой   | <b>2</b>                     |              |         |
| самостоятельное изучение разделов дисциплины            | -                            |              |         |
| подготовка к контрольным работам, коллоквиумам, зачётам | <b>2</b>                     |              |         |
| <b>Итого СРС:</b>                                       | <b>4 часа</b>                |              |         |

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

##### **7.1. Типовые контрольные задания**

##### ***Примерные темы для контрольных работ и семинарских занятий***

- методы описания нелинейных неравновесных процессов;
- методами учета нелокальности в физике неравновесных процессов;
- методы описания положительной и отрицательной термической деформации;
- роль ангармонизма при формировании различных равновесных и неравновесных свойств;
- метод восстановления ангармонической части потенциала межатомного притяжения по экспериментальным данным;
- эмпирическая закономерность, указывающая на однозначную связь между кинетическими коэффициентами и равновесными свойствами;
- параметры равновесной термодинамики – изобарной термической деформацией;

- обоснование эмпирической закономерности, связывающей кинетические коэффициенты с термической деформацией на основе феноменологической теории;
- обоснование эмпирической закономерности, связывающей кинетические коэффициенты с термической деформацией на основе теоремы вириала для конденсированных сред;
- следствия из эмпирической закономерности, связывающей кинетические коэффициенты с термической деформацией;
- критерии перехода веществ в сверх текучее, а так же в электронное и фононное сверхпроводящие состояния.
- оценки потенциала межатомного взаимодействия по данным упругости и изобарной термической деформации.
- анализ экспериментальных данных на основе теорий равновесных и неравновесных свойств.
- восстановление силы межатомного взаимодействия по известному потенциалу межатомного взаимодействия при положительном и отрицательном термической деформации.
- восстановление потенциала межатомного притяжения, по данным изобарной термической деформации для веществ с различным типом межатомной связи.
- комплексное представление гармонических колебаний. Периодические негармонические колебания;
- затухающие колебания и обоснование понятия времени релаксации;
- положительная и отрицательная термическая деформации;
- формировании равновесных и неравновесных свойств веществ;
- роль ангармонизма колебаний атомов при формировании равновесных и неравновесных свойств веществ;
- Фонон-фононные и электрон-фононные взаимодействия;
- теоретическая интерпретация свойств твердого тела в гармоническом и квазигармоническом приближениях:
- характеристические фононные тепло- и электросопротивления (микроскопическая расшифровка), определяемые верхним пределом ангармонизма;
- связь параметра порядка с термической деформацией.

На самостоятельную работу студентов выносятся переработка материалов лекций и семинарских занятий, подготовка к научным докладам на семинарах и т. д.

## **7.2. 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**

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

Текущий контроль по дисциплине включает:

#### **Лекции**

- посещение занятий – 5 баллов,
- активное участие на лекциях – 5 баллов,
- устный опрос, тестирование, коллоквиум – 30 баллов,
- и др. (доклады, рефераты) – 10 баллов.

#### **Практические занятия**

- посещение занятий – 5 баллов,
- активное участие на практических занятиях – 5 баллов,
- выполнение домашних работ – 10 баллов,

- выполнение самостоятельных работ – 10 баллов,
  - выполнение контрольных работ – 20 баллов.
2. Промежуточный контроль по дисциплине включает:
- устный опрос – 60 баллов,
  - письменная контрольная работа – 30 баллов,
  - тестирование – 10 баллов.

### 8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

а) Сайт кафедры физики конденсированного состояния и наносистем:

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

#### 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. - 81с.-2227-8397.- Режим доступа:
2. <http://www.iprbookshop.ru/69566.html>
3. 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>
4. Брандт, Николай Борисович. Электроны и фононы в металлах : Учеб. пособие для физ. спец. вузов / Брандт, Николай Борисович, Чудинов, Сергей Михайлович. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Изд-во МГУ, 1990. - 333,[1] с. : ил. - 0-0.  
Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
5. Брандт, Николай Борисович. Экспериментальные методы исследования энергетических спектров электронов и фононов в металлах : (Физ. основы) / Брандт, Николай Борисович, Чудинов, Сергей Михайлович. - М. : Изд-во МГУ, 1983. - 405 с. : ил. ; 22 см. - 4-10. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
6. Рейсленд, Дж. Физика фононов : пер.с англ. / Рейсленд, Дж. ; под ред. Г.С.Жданова. - М. : Мир, 1975. - 365 с. - 55-00.  
Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
7. Энергетический спектр фононов 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
8. Лейбфрид Г., Людвиг В. Теория ангармонических эффектов в кристаллах М.: ИЛ – 1963
9. Кителль Ч., Найт У., Рудерман М. Механика (Берклиевский курс физики). Т.1.- М.: Наука.- 1971
10. Шпольский Э.В. Атомная физика. Т.1.- М.: Наука.- 1974.
11. Новикова С.И. Тепловое расширение кристаллических твердых тел.- М.: Наука.- 1974.
12. Займан Дж. Электроны и фононы. – М.: ИЛ.- 1962.

#### Дополнительная литература:

1. Ашкрофт, Н. Физика твёрдого тела : [в 2-х т.]. Т.1 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ. А.С.Михайлова; под ред. М.И.Каганова. - М. : Мир, 1979. - 399 с. : ил. - Библиогр.: с. 7 (7 назв.).- Библиогр. в конце глав. - 2-60.  
Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
2. Ашкрофт, Н. Физика твёрдого тела : [в 2-х т.]. [Т.]2 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ.: К.И.Кугеля и А.С.Михайлова; под ред. М.И.Каганова. - М. : Мир, 1979. - 422 с. : ил. ; 25 см. - Библиогр. в конце гл. - Предм. указ.: с. 392-417. - 2-90.  
Местонахождение: Научная библиотека ДГУ

3. Кацнельсон, Альберт Анатольевич. Введение в физику твёрдого тела : пособие для студ. физ. спец. ун-тов / Кацнельсон, Альберт Анатольевич. - М. : Изд-во Моск. ун-та, 1984. - 294 с. - 0-85. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
4. Займан, Дж. Принципы теории твёрдого тела / Займан, Дж. ; Под ред. проф. В.Л. Бонч-Бруневича. - М. : Мир, 1974. - 472 с. : с черт. ; 22 см. - Список лит.: с. 455-464. Предм. указ.: с. 465-469. - 2-21. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
5. 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.
6. 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>
7. Румянцев А.В. Введение в физику конденсированного состояния вещества [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Румянцев. — Электрон. текстовые данные. - Калининград: Балтийский федеральный университет им. Иммануила Канта, 2012. - 119 с. - 978-5-9971-0221-0. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/23770.html>
8. Физика конденсированного состояния в примерах и задачах [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению 04.03.02 «Химия, физика и механика материалов» / В.Н. Белко [и др.]. - Электрон. текстовые данные. - Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2017. - 79 с. - 2227-8397. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/72951.html>

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

Даггосуниверситет имеет доступ к комплектам библиотечного фонда основных отечественных и зарубежных академических и отраслевых журналов по профилю подготовки бакалавров по направлению **03.03.02 Физика**:

1. Электронно-библиотечная система (ЭБС) IPRbooks ([www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru)). Лицензионный договор № 6984/20 на электронно-библиотечную систему IPRbooks от 02.10.2020 г.
2. Лицензионное соглашение № 6984/20 на использование адаптированных технологий ЭБС IPRbooks ([www.iprbookshop.ru](http://www.iprbookshop.ru)) для лиц с ОВЗ от 02.10.2020.
3. 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. 537 наименований.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Scopus. Scopus издательства Elsevier B.V. Письмо РФФИ от 19.10.2020 г. № 1189 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию базы данных Scopus издательства Elsevier B.V. в 2022 г. <https://www.scopus.com>
8. Wiley Online Library. Коллекция журналов Freedom Collection издательства Elsevier. Письмо РФФИ от 17.07.2010 г. № 742 о предоставлении лицензионного доступа к электронному ресурсу Freedom Collection издательства Elsevier в 2022 г. <https://onlinelibrary.wiley.com/>
9. Международное издательство Springer Nature

10. Коллекция журналов, книг и баз данных издательства Springer Nature. Письмо РФФИ от 17.07.2020 г. № 743 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных издательства Springer Nature в 2022 г. на условиях национальной подписки <https://link.springer.com/>
11. Журналы American Physical Society
12. Базы данных APS (American Physical Society). Письмо РФФИ от 10.11.2020 г. № 1265 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных American Physical Society в 2022 г. <http://journals.aps.org/about>
13. Журналы Royal Society of Chemistry. База данных RSC DATABASE издательства Royal Society of Chemistry Письмо РФФИ от 20.10.2020 г. № 1196 о предоставлении лицензионного доступа к содержанию баз данных Royal Society of Chemistry в 2022 г. <http://pubs.rsc.org/>
14. Журнал Science (AAAS) <http://www.sciencemag.org/>
15. Единое окно <http://window.edu.ru/> (интернет ресурс)
16. Дагестанский региональный ресурсный центр <http://rrc.dgu.ru/>
17. Нэикон <http://archive.neicon.ru/>

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

Подготовка к семинарскому занятию включает закрепление и углубление теоретических знаний. В том числе: планирование самостоятельной работы, уяснение задания; подбор литературы; составление плана работы по пунктам.

Следующий этап – непосредственная подготовка к занятию – начинается с изучения рекомендованной литературы, т.к. на лекции рассматривается не весь материал, а только его часть. Остальная его часть восполняется в процессе самостоятельной работы. Записи имеют первостепенное значение для самостоятельной работы студентов. Самостоятельная работа выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Во время самостоятельной работы обучающиеся должны изучать и конспектировать учебную, научную и справочную литературу, выполнять задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовиться к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

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

- презентации;
- тезисы лекций,
- ресурс электронных изданий по теме.

#### **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 Power Point (MS Power Point Viewer), Adobe Acrobat Reader, средство просмотра изображений, табличный процессор.
2. Программное обеспечение в компьютерный класс: MS Power Point (MS PowerPoint Viewer), Adobe Acrobat Reader, средство просмотра изображений, Интернет, E-mail.

#### **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 лабораториях НОЦ «Нанотехнологии». При проведении занятий используются лаборатории, оснащенные современным технологическим и измерительным оборудованием.

2. При изложении теоретического материала используется лекционный зал, оснащенный проекционным оборудованием и интерактивной доской.