



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

*Физический факультет*

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Физика металлов, диэлектриков и полупроводников**

Кафедра физики конденсированного состояния и наносистем физического факультета

Образовательная программа бакалавриата  
**03.03.02 – Физика**

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

Форма обучения:  
**Очная**

Статус дисциплины:  
Дисциплина по выбору

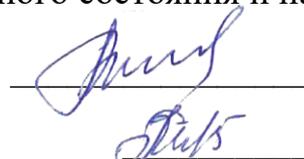
**Махачкала 2022**

Рабочая программа дисциплины «Физика металлов, диэлектриков и полупроводников» составлена в 2022 году в соответствии с требованиями ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки **03.03.02 – Физика** от «07» августа 2020 г. № 891.

Разработчики: кафедра физики конденсированного состояния и наносистем.

Палчаев Д.К., д.ф.-м.н., профессор

Хамидов М.М., д.ф.-м.н., профессор



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

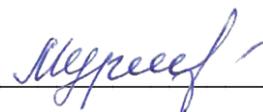
Зав. кафедрой



Рабаданов М.Х.

на заседании методической комиссии физического факультета от «23» 03 2022 г., протокол №\_7\_

Председатель



Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласовано с учебно-методическим управлением «\_31\_» \_\_03\_ 2022 г.

Начальник УМУ



Гасангаджиева А.Г.

### Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Физика металлов, полупроводников и диэлектриков» 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 физикой конденсированного состояния, а именно с изучением особенностей структуры и физических свойств металлов, полупроводников и диэлектриков.

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 итоговый контроль в форме зачета. Объем дисциплины **72** часа, **2** зачетные единицы, в том числе в академических часах по видам учебных занятий

| Се-<br>местр | Учебные занятия                                |                              |                              |           |                   |     | СРС       | Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен) |
|--------------|--|------------------------------|------------------------------|-----------|-------------------|-----|-----------|---|
|              | в том числе                                    |                              |                              |           |                   |     |           |   |
|              | Контактная работа обучающихся с преподавателем |                              |                              |           |                   | КСР |           |   |
|              | Все<br>го                                      | из них                       |                              |           |                   |     |           |   |
| Лек-<br>ции  |  | Лабора-<br>торные<br>занятия | Практи-<br>ческие<br>занятия | КСР       | консуль-<br>тации |     |           |   |
| 8            | <b>72</b>                                      | <b>24</b>                    |                              | <b>24</b> |                   |     | <b>24</b> | Зачет с оценкой   |

#### 1. Цели освоения дисциплины

Цель спецкурса в том, чтобы сформировать систему знаний: о классификации твердых тел по электрическим свойствам и структуре; о металлическом состоянии вещества и металлических сплавах; о зонной теории твёрдых тел, об изменении величины и типа электропроводности; о контактных явлениях на границе металл-полупроводник и полупроводник - полупроводник - n- и p-типов проводимости, о поляризации диэлектриков в постоянном и переменном электрических полях и т.д.

При этом будет обращать внимание на признанные положения теории и практики, которыми должны руководствоваться бакалавры, при исследовании и интерпретации различных свойств металлов, диэлектриков и полупроводников.

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

Дисциплина Б1.В.ДВ.04.03 «Физика металлов, диэлектриков и полупроводников» входит в вариативную часть образовательной программы (ФГОС ВО) 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 по физика металлов, диэлектриков и полупроводников.

Студенты, изучающие данную дисциплину, должны иметь сведения о принципах формирования структуры и 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, давать интерпретацию свойствам металлов, полупроводников и диэлектриков.

### 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:** Типы связей и закономерности формирования структуры и свойств для различных типов межатомных связей.

**Уметь:** давать интерпретацию температурным зависимостям свойств металлов полупроводников и диэлектриков

**Владеть:** знаниями о связи структуры и электрических, тепловых, магнитных, механических свойств конденсированных сред.

| 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, формирования структуры, электрических, тепловых и магнитных свойств конденсированных сред.<br><b>Умеет:</b><br>- определять, как формируются температурные зависимости свойств металлов полупроводников и диэлектриков;<br><b>Владеет:</b><br>- навыками находить и критически анализировать информацию, выявлять естественнонаучную сущность проблем.<br>- методикой и теоретическими основами анализа экспериментальной и теоретической информации в области формирования соответствующего класса веществ. | Устный опрос       |

|  |  |  |              |
|--|--|--|--------------|
|  | <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></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- новые методы, подходы и алгоритмы решения теоретических и прикладных задач при интерпретации структуры и свойств металлов полупроводников и диэлектриков.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- критически анализировать и излагать получаемую информацию, пользоваться учебной литературой, Internet – ресурсами</li> <li>применять полученные знания в этой области.</li> <li>- пользоваться современной приборной базой для проведения экспериментальных и (или) теоретических физических исследований в этой области знаний.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками проведения научных исследований в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований</li> <li>- навыками использования современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования).</li> </ul> | 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></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основы качественного и количественного анализа методов решения выявленной проблемы.</li> </ul> <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбирать метод решения выявленной проблемы, проводить его качественный и количественный анализ, при необходимости вносить необходимые коррективы для достижения оптимального результата.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками проводить качественный и количественный анализ методов решения выявленной проблемы, оценивать эффективность выбранного метода.</li> </ul>  | Устный опрос |

|   |  |   |              |
|---|--|---|--------------|
| <p><b>ОПК-2</b><br/>Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные</p> | <p><b>ОПК-2.1.</b> Выбирает или самостоятельно формулирует тему исследования, составляет программу исследования.</p> | <p><b>Знает:</b><br/>- актуальные проблемы, основные задачи, направления, тенденции и перспективы развития физики металлов полупроводников и диэлектриков;<br/>- принципы планирования экспериментальных исследований для решения поставленной задачи.<br/><b>Умеет:</b><br/>- самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований; - рассматривать возможные варианты реализации экспериментальных исследований, оценивая их достоинства и недостатки.<br/><b>Владеет:</b> - навыками формулировать темы исследований конкретных свойств, планировать эксперименты по заданной методике.</p> | Устный опрос |
|   | <p><b>ОПК-2.2.</b> Самостоятельно выбирает методы исследования, разрабатывает и проводит исследования.</p>           | <p><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.</p>  | Устный опрос |
|   | <p><b>ОПК-2.3.</b> Анализирует, интерпретирует, оценивает, представляет и защищает результаты выполнен-</p>          | <p><b>Знает:</b><br/>- основные приемы обработки и представления результатов выполненного исследования; - передовой отечественный и зарубежный научный опыт и достижения по теме исследования.</p>  | Устный опрос |

|   |   |   |              |
|---|---|---|--------------|
|   | ного исследования с обоснованными выводами и рекомендациями.                            | <p><b>Умеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать основные приемы обработки, анализа и представления экспериментальных данных; - формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по выполненной работе.</li> </ul> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками обработки, анализа и интерпретации полученных данных с использованием современных информационных технологий; - формулировать и аргументировать выводы и рекомендации по исследовательской работе.</li> </ul>   |              |
| <p><b>ПК-10</b></p> <p>Владеет методами теоретической физики в применении к профессиональным задачам.</p> | <p><b>ПК-10.1.</b></p> <p>Владеет специальными знаниями в области квантовой теории.</p> | <p><b>Знает:</b></p> <p>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 измерения;</p> <p><b>Умеет:</b></p> <p>объяснить основные наблюдаемые природные и техногенные явления, эффекты, с точки зрения фундаментальных физических взаимодействий; определять, какие законы описывают то или иное явление (эффект); использовать методы адекватного физического и математического моделирования с учетом положений квантовой теории.</p> <p><b>Владеет:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-навыками использования основных физических законов и принципов на практике;</li> <li>-навыками использования основ квантовой механики при интерпретации отличительных свойств каждого из вида веществ;</li> </ul> | Устный опрос |

|  |   |   |                     |
|--|---|---|---------------------|
|  |   | <p>- анализом полученных экспериментальных результатов при исследовании процессов, связанных с возникновением и релаксацией элементарных возбуждений.</p>   |                     |
|  | <p><b>ПК-10.2.</b><br/>Владеет специальными знаниями в области теоретической механики и электродинамики</p> | <p><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; движение материальной точки при больших скоростях; основные уравнения гидродинамики и электродинамики.</p> <p><b>Умеет:</b><br/>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.</p> <p><b>Владеет:</b><br/>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 результа-</p> | <p>Устный опрос</p> |

|  |  |  |              |
|--|--|--|--------------|
|  |  | тов той или иной теоретической модели  |              |
|  | <p><b>ПК-10.3.</b><br/>Применяет методы математической физики для постановки и решения задач в профессиональной деятельности</p> | <p><b>Знает:</b><br/>теоретические основы, основные понятия, законы и модели линейных и нелинейных уравнений математической физики.</p> <p><b>Умеет:</b><br/>понимать, излагать и критически анализировать базовую общефизическую 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>   | Устный опрос |
|  | <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, 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.</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 за-</p> | Устный опрос |

|   |  |   |                     |
|---|--|---|---------------------|
|   |  | <p>конов 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;</p> <p>существующими методами, законами теоретической физики, которые можно применить для решения задач в различных областях человеческой деятельности</p>   |                     |
| <p><b>ПК-11</b><br/> Способен понимать теорию и методы исследования физики конденсированного состояния вещества</p> | <p><b>ПК-11.1.</b><br/> Базовые теоретические знания по физике конденсированного состояния из фундаментальных разделов общей и теоретической физики;</p> | <p><b>Знает:</b><br/> типы связей в конденсированных средах, классификацию веществ – металлы полупроводники и диэлектрики; связь структуры и свойств конденсированных сред; 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>Устный опрос</p> |
|   | <p><b>ПК-11.2.</b><br/> 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>   |              |
|  | <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 температурных зависимостей свойств конденсированных сред; связь структуры с электрическими, тепловыми и оптическими свойствами.</p> <p><b>Умеет:</b><br/>интерпретировать температурные зависимости электрических, тепловых, магнитных и оптических свойств конденсированных сред.</p> <p><b>Владеет:</b><br/>методами оценки температурных зависимостей свойств конденсированных сред по экспериментальным данным; методами теоретической оценки кинетических коэффициентов металлов, диэлектриков и полупроводников; методами интерпретации оптических свойств диэлектриков и полупроводников.</p> | Устный опрос |
|  | <p><b>ПК-11.4.</b> Особенности свойств в монокристаллах.</p>  | <p><b>Знает:</b> физику отличительных особенностей формирования свойств объемных и наноматериалов.</p>  | Устный опрос |

|  |                            |   |  |
|--|----------------------------|---|--|
|  | лических и нано материалах | <p><b>Умеет:</b><br/>интерпретировать зависимость свойств металлов и керамических материалов от размера зерен.</p> <p><b>Владеет:</b><br/>методами исследования свойств микро- и наноструктурированных материалов</p> |  |
|--|----------------------------|---|--|

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

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

#### 4.2. Структура дисциплины

| № п/п                            | Раздел дисциплины   | Семестр | Виды учеб. раб., включая самост. раб. студ. и трудоемкость (в часах) |            |           |                  | самостоят. работа | Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)<br>Форма промежуточной аттестации (по семестрам) |
|----------------------------------|---|---------|--|------------|-----------|------------------|-------------------|---|
|                                  |   |         | Лекции   | Прак. зан. | Лаб. зан. | Контр. сам. Раб. |                   |   |
| <b>Модуль 1. Физика металлов</b> |   |         |  |            |           |                  |                   |   |
| 1                                | Типы связей в конденсированных средах. Потенциал межатомного взаимодействия – «генетический код» конденсированного состояния. Закономерности формирования структуры и свойств для различных типов межатомных связей. Классификация металлов полупроводников и диэлектриков по структуре и проводимости. Формирования зарядовых возбуждений в металлах полупроводниках и диэлектриках                    | 8       | 3  | 4          |           |                  | 4                 | Семинарское занятие.<br>Тесты   |
| 2.                               | Металлическое состояние вещества. Классификация металлов. Общая характеристика металлических сплавов. Диаграммы состояний и изменение физических свойств сплавов от состава. Правило рычага. Построение диаграмм состояний. Диаграмма состояния для сплавов с неограниченной растворимостью компонентов. Диаграмма состояния для сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии. |         | 3  | 4          |           |                  | 4                 | Семинарское занятие   |

|  |   |   |           |           |  |           |  |
|--|---|---|-----------|-----------|--|-----------|--|
| 3  | Диффузия в металлах. Атомная теория диффузии. Диффузия в поле градиента концентраций. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов. Металлические стекла: Методы получения металлических стекол. Структура металлических стекол и металлических расплавов.   | 8 | 6         | 4         |  | 4         | Семинарское занятие.<br>Контрольная работа |
| <b>Итого за модуль: 36 часов.</b>                      |   |   | <b>12</b> | <b>12</b> |  | <b>12</b> |  |
| <b>Модуль 2. Физика диэлектриков и полупроводников</b> |   |   |           |           |  |           |  |
| 3  | Основы зонной теории полупроводников. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое и одноэлектронное приближение. Приближение сильно связанных электронов. Функция распределения Ферми-Дирака. Зависимость энергии электронов от волнового вектора в полупроводниках.   | 8 | 3         | 3         |  | 4         | Семинарское занятие.<br>Тесты              |
| 4  | Движение зарядов в кристалле под действием внешнего электрического поля. Эффективная масса носителя заряда. Собственный и примесный полупроводники. Элементарная теория примесных состояний. Расчет концентрации электронов и дырок проводимости.   | 8 | 3         | 3         |  | 4         | Семинарское занятие.<br>Контрольная работа |
| 5  | Классификация диэлектриков по зонной теории. Виды поляризации. Поляризуемость атомов, ионов и молекул. Наведенная, ионная и ориентационная поляризации и смешанная поляризация. Диэлектрическая проницаемость и поляризуемость. Локальное электрическое поле. Поле Лоренца. Уравнение Клаузиуса-Моссотти. Деполяризующее поле и фактор. |   | 3         | 3         |  | 2         |  |
| 6  | Электростатическое поле в однородной и неоднородной диэлектрической среде. Сегнето и - антисегнетоэлектрики. Основные особенности диэлектрической поляризации в переменном электрическом поле. Дипольная релаксация и диэлектрические потери.   |   | 3         | 3         |  | 2         |  |
| <b>Итого за модуль 2: 36 часа.</b>                     |   |   | <b>12</b> | <b>12</b> |  | <b>12</b> |  |
| <b>Итого: 72 ч.</b>                                    |   |   | <b>24</b> | <b>24</b> |  | <b>24</b> |  |

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

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

#### Модуль 1. Физика металлов

**Тема 1.** Типы связей в конденсированных средах. Потенциал межатомного взаимодействия – «генетический код» конденсированного состояния. Закономерности формирования структуры и свойств для различных типов межатомных связей.

**Тема 2.** Металлическое состояние вещества. Классификация металлов. Общая характеристика металлических сплавов. Диаграммы состояний и изменение физических свойств сплавов от состава. Правило фаз.

**Тема 3.** Диффузия в металлах. Атомная теория диффузии. Диффузия в поле градиента концентраций. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов.

### **Модуль 2. Физика диэлектриков и полупроводников**

**Тема 4.** Основы зонной теории полупроводников. Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое и одноэлектронное приближение. Функция распределения Ферми-Дирака. Зависимость энергии электронов от волнового вектора в полупроводниках.

**Тема 5.** Движение зарядов в кристалле под действием внешнего электрического поля. Собственный и примесный полупроводники. Элементарная теория примесных состояний.

**Тема 6.** Классификация диэлектриков по зонной теории. Наведенная, ионная и ориентационная поляризации и смешанная поляризация. Локальное электрическое поле. Поле Лоренца. Уравнение Клаузиуса-Моссотти. Деполяризующее поле и фактор. Электростатическое поле в однородной и неоднородной диэлектрической среде. Сегнето и - антисегнетоэлектрики.

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

#### **Модуль 1. Физика металлов**

**Тема 1.** Классификация металлов полупроводников и диэлектриков по структуре и проводимости. Формирования зарядовых возбуждений в металлах полупроводниках и диэлектриках

**Тема 2.** Построение диаграмм состояний. Диаграмма состояния для сплавов с неограниченной растворимостью компонентов. Диаграмма состояния для сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии

**Тема 3.** Металлические стекла: Методы получения металлических стекол. Структура металлических стекол и металлических расплавов.

#### **Модуль 2. Физика диэлектриков и полупроводников**

**Тема 4.** Приближение сильно связанных электронов.

**Тема 5.** Эффективная масса носителя заряда.

Расчет концентрации электронов и дырок проводимости.

**Тема 6.** Виды поляризации. Поляризуемость атомов, ионов и молекул. Диэлектрическая проницаемость и поляризуемость. Основные особенности диэлектрической поляризации в переменном электрическом поле. Дипольная релаксация и диэлектрические потери.

### **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.

**Итоговый контроль.** Зачет в конце 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>6</b>                     |              |         |
| самостоятельное изучение разделов дисциплины          | <b>4</b>                     |              |         |

|   |                |  |  |
|---|----------------|--|--|
| подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям                                  | <b>6</b>       |  |  |
| подготовка к контрольным работам, коллоквиумам, зачётам   | <b>4</b>       |  |  |
| <b>Творческая проблемно-ориентированная СРС</b>   |                |  |  |
| поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме | <b>4</b>       |  |  |
| <b>Итого СРС:</b>   | <b>24 часа</b> |  |  |

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

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

#### **7.1. 1. Примерные вопросы для самостоятельной работы по разделу «Физика металлов»**

1. Классификация металлов.
2. Изменение физических свойств сплавов от состава.
3. Правило фаз.
4. Диаграмма состояния для сплавов с неограниченной растворимостью компонентов.
5. Диаграмма состояния для сплавов с ограниченной растворимостью компонентов в твердом состоянии.
6. Диаграмма состояния сплавов, образующих химическое соединение.
7. Диаграмма состояния сплавов, испытывающих полиморфные превращения.
8. Диффузия в металлах. Феноменологическая теория диффузии. Атомная теория диффузии. Диффузия в поле градиента концентраций.
9. Плавление и кристаллизация металлов и сплавов.
10. Металлические стекла: Методы получения металлических стекол. Механические свойства металлов и сплавов: Пластичность и ползучесть металлов.

#### **7.1. 2. Примерные вопросы для самостоятельной работы по разделу «Физика диэлектриков и полупроводников»**

11. Основы зонной теории полупроводников.
12. Уравнение Шредингера для кристалла.
13. Зоны Бриллюэна.
14. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля. Эффективная масса носителя заряда.
15. Элементарная теория примесных состояний.
16. Статистика электронов и дырок в полупроводниках.
17. Функция распределения Ферми-Дирака.
18. Собственный и примесный полупроводники.
19. Расчет концентрации электронов и дырок проводимости.
20. Уровень Ферми в невырожденном собственном полупроводнике.
21. Вырожденный полупроводник.
22. Кинетические явления в полупроводниках.
23. Зависимость подвижности носителей заряда и электропроводности от температуры.
24. Эффект Холла для носителей заряда одного типа и для полупроводников со смешанной электропроводностью.

25. Термоэлектрические и термомагнитные явления. Эффекты Эттингсгаузена-Нернста и Риги-Ледюка.
26. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случаях биполярной и монополярной проводимости.
27. Дебаевская длина экранирования. Распределение концентрации, заряда и поля при диффузии.
28. Контактные явления в полупроводниках. Работа выхода. Контактная разность потенциалов.
29. Контакт полупроводник-металл. P-n-переход.
30. Классификация диэлектриков по зонной теории.
31. Поляризация. Вектор поляризации. Виды поляризации.
32. Диэлектрическая проницаемость и поляризуемость. Зависимость проницаемости от внешних факторов.
33. Локальное электрическое поле. Поле Лоренца. Уравнение Клаузиуса-Моссотти. Деполяризующее поле Деполяризующий фактор.
34. Особенности диэлектрической поляризации однородных и неоднородных диэлектриков. Электростатическое поле в однородной и неоднородной диэлектрической среде.
35. Электрические поля поляризованных диэлектриков.
36. Электростатическое поле внутри вырезов в диэлектрике.
37. Особенности диэлектрической поляризации в переменном электрическом поле. Дипольная релаксация.
38. Физическая сущность диэлектрических потерь.
39. Антисегнетоэлектрики. Основные свойства антисегнетоэлектриков.

### 7.1. 3. Типовые контрольные тестовые задания

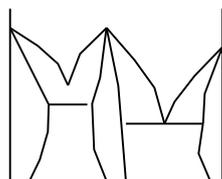
#### Металлы

#### 1. Что из себя представляет металл?

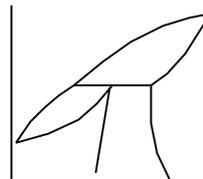
- 1) Совокупность ионов, образующих пространственную структуру и относительно сильно подвижных электронов, наделяющих вещество специфическими свойствами.
- 2) Совокупность системы положительных, малоподвижных ионов, образующих пространственную структуру и системы свободных электронов, участвующих в проводимости тока.
- 3) Совокупность системы положительных относительно малоподвижных ионов, образующих пространственную структуру и системы высокоподвижных электронов, наделяющих вещество специфическими электронными свойствами.

#### 2. Что из себя представляет диаграмма сплавов, содержащая химическое соединение?

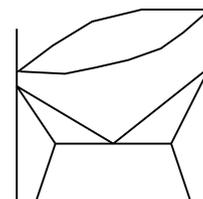
1)



2)



3)

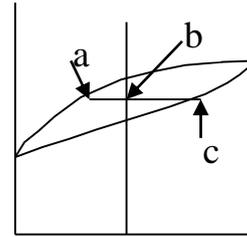


#### 3. Концентрация жидкой фазы в двухфазной области определяется пересечения горизонтального отрезка с линией

- 1) солидуса;
- 2) ликвидуса;
- 3) разделяющей фазы.

#### 4. Согласно правилу отрезков, количество жидкой фазы в сплаве (см. рис.) определяется отношением

- 1) ab/bc;      2) bc/ac;      3) ab/ac



**5. При перетектической температуре**

- 1) жидкость реагирует с твердым раствором;    2) соединение разлагается;  
3) две твердые фазы одновременно плавятся

**6. Как изменяется микротвердость от состава для сплавов, представляющих собой механическую смесь?**

- 1) нелинейно;      2) линейно;      3) не зависит.

**7. Пластическая деформация в основном обусловлена:**

- 1) точечными дефектами;    2) линейными дефектами;    3) объемными дефектами.

**8. Как зависит коэффициент диффузии от энергии межатомной связи?**

- 1) не зависит;      2) диффузия больше при меньшей энергии;  
3) диффузии меньше при большей энергии.

**9. Каков порядок в расположении атомов в металлических стеклах?**

- 1) полный беспорядок;    2) ближний порядок;    3) дальний порядок.

**10. Каков критерий плавления?**

- 1) достижение предельной частоты;    2) достижение полного искажения решетки;  
3) достижение предельной амплитуды.

**11. Энтальпия аморфного металла:**

- 1) больше чем у кристаллического;    2) меньше чем у кристаллического;  
3) такая же как у кристаллического.

**12. Неограниченный ряд твердых растворов образуется, когда у исходных компонент**

- 1) атомы одинаковых размеров;    2) атомы одного компонента намного меньше атомов другого;  
3) одинаковые кристаллические решетки.

**13. Металл нагрели на 2/3 от  $T_{пл}$  и медленно охладили – процесс называется:**

- 1) отжигом;    2) закалкой;    3) отпуском.

### Полупроводники

**Зависимость кинетической энергии свободного электрона от волнового числа:**

- 1)  $E_k$  не зависит от волнового числа  $k$ ;  
2)  $E_k$  зависит линейно;  
3)  $E_k$  зависит квадратично;  
4)  $E_k$  зависит суперлинейно.

**1. Плотность электронных состояний:**

- 1) Это число элементарных фазовых ячеек в пространстве импульсов, зависящее линейно от энергии свободных электронов;  
2) Это число элементарных фазовых ячеек в пространстве импульсов, приходящихся на единственный интервал энергии и не зависящее от энергии;  
3) Это число элементарных фазовых ячеек в пространстве импульсов, приходящихся на единственный интервал энергии и единичный объем обычного пространства.  
4) Это число элементарных фазовых ячеек, приходящихся на единственный интервал энергии и являющееся полуквадратичной функцией  $E$  (энергии).

**3. Функция Ферми определяет вероятность заполнения электронами элементарной фазовой ячейки, которой соответствует энергии  $E$  и выражается следующей формулой:**

$$1) f_{\phi} = \frac{1}{e^{\frac{E-E_{\phi}}{kT}} + 1}; \quad 2) f_{\phi} = e^{\frac{E-E_{\phi}}{kT}}; \quad 3) f_{\phi} = e^{\frac{E_{\phi}}{kT}};$$

$$4) f_{\phi} = A \cdot e^{\frac{E}{kT}}. \quad 5) f_{\phi} = \frac{1}{e^{\frac{E_{\phi}-E}{kT}} - 1}$$

**4. Уровень Ферми соответствует энергии электронов свободного газа:**

- 1) при  $T=0$ ;      2) при  $T \neq 0$ ;      3) заполняется на половину при  $T=0$ .  
4) соответствует уровню доноров при  $T \neq 0$ .

**5. Эффективная масса определяется:**

1) как  $m^* = \frac{F}{d}$  (второй закон Ньютона);    2) как  $m^* = \frac{1}{\hbar} \frac{dE}{dk}$ ;    3) как  $m^* = \frac{1}{\frac{1}{\hbar^2} \cdot \frac{d^2E}{dk^2}}$ ;

- 4) масса электрона в кристалле остается величиной постоянной  $m^* = m_e = const$ .

**6. Примесные уровни создаются:**

- 1) в зоне проводимости полупроводника;      2) в валентной зоне полупроводника;  
3) в запрещенной зоне полупроводника;      4) во всех зонах при  $T=0$ .

**7. Под энергией ионизации донора подразумевается:**

- 1) ширина зоны проводимости;      2) ширина валентной зоны;  
3) ширина запрещенной зоны;      4) расстояние от дна зоны проводимости до донора.  
5) расстояние от потолка валентной зоны до уровня донора.

**8. Равновесные носители заряда:**

- 1) носители заряда, созданные оптическим возбуждением;  
2) носители заряда, созданные рентгеновским излучением;  
3) носители заряда, созданные термической генерацией.  
4) носители заряда, созданные примесями при их возбуждении потоком частиц.

**9. Распределение электронов по энергетическим состояниям на дискретных донорных уровнях:**

$$1) n_d = \frac{N_D}{\frac{1}{2} e^{\frac{E_D-E_{\phi}}{kT}} + 1}; \quad 2) n_d = \frac{N_D}{2e^{\frac{E_D-E_{\phi}}{kT}} + 1}; \quad 3) n_d = \frac{N_D}{e^{\frac{E_D-E_{\phi}}{kT}} + 1}; \quad 4) n_d = \frac{N_D}{\frac{1}{2} e^{\frac{E_{\phi}-E_D}{kT}} + 1}$$

**10. В собственном полупроводнике уровень Ферми  $E_{\phi}$  совпадает с серединой запрещенной зоны  $E_i$ :**

- 1) при  $m_n=m_p$ ;      2) при  $T=0$ ;      3) при  $T \neq 0$ ;      4) при  $m_n > m_p$ .

**11. В невырожденном полупроводнике справедлив закон действующих масс:**

- 1) при любой температуре;      2) только при комнатной температуре;  
3) при  $T=0$ ;      4) при любой температуре, если  $n_0 > p_0$ .

**12. В примесном невырожденном полупроводнике уровень Ферми можно выразить при любой температуре**

$$1) E_{\phi} = \frac{E_c + E_v}{2} + kT \ln \left( \frac{N_v}{N_c} \right)^{\frac{1}{2}}; \quad 2) E_{\phi} = \frac{E_c + E_v}{2};$$

$$3) E_{\phi} = \frac{E_c + E_D}{2} + \frac{kT}{2} \ln \left( \frac{N_D}{2N_c} \right); \quad 4) E_{\phi} = \frac{E_c + E_D}{2}.$$

**13. Зависимость электропроводности от температуры:**

- 1) зависит линейно от температуры;      2) экспоненциально;

3) не зависит;

4) уменьшается с увеличением температуры.

**14. Поперечное магнитное поле под действием силы Лоренца приводит:**

- 1) к увеличению скорости дрейфовых носителей вдоль дрейфа;
- 2) к отклонению носителей под углом  $45^{\circ}$  к дрейфу;
- 3) к отклонению носителей в направлении перпендикулярном к дрейфу;
- 4) к отклонению носителей под углом  $90^{\circ}$  к дрейфу.

**15. Магниторезистивный эффект приводит к:**

- 1) уменьшению эффективной длины свободного пробега электрона;
- 2) увеличению эффективной длины свободного пробега электрона;
- 3) не влияет на эффективную длину свободного пробега электрона.

**16. Связь между дрейфовой подвижностью  $\mu$  и коэффициентом диффузии  $D$  для любых носителей выражается:**

- 1)  $\mu_n$  – прямо пропорциональна коэффициенту диффузии;
- 2)  $\mu_n$  – обратно пропорциональна коэффициенту диффузии;
- 3)  $\mu_n$  – не зависит от коэффициента диффузии;
- 4)  $\mu_n$  – экспоненциально зависит от коэффициента диффузии.

**17. Дебаевская длина экранирования представляет собой расстояние, на котором избыточная концентрация основных неравновесных носителей заряда в примесном полупроводнике:**

- 1) удваивается;
- 2) уменьшается в 100 раз;
- 3) увеличивается с увеличением размеров кристалла;
- 4) уменьшается в «e» раз.

**18. Глубина затягивания неравновесных носителей заряда характеризует их диффузию и дрейф. Для электронов глубина затягивания по полю  $L_1$ :**

- 1)  $L_1 < L_n$  (где  $L_n$  – диффузионная длина);
- 2)  $L_1 > L_n$ ;
- 3)  $L_1 = L_n$ .

**19. Ловушка захвата и рекомбинационные ловушки разделяются демаркационными уровнями, для которых вероятности рекомбинации  $K_R$  и тепловой генерации  $K_{Tносителей}$  заряда находятся в соотношении:**

- 1)  $K_R > K_T$ ;
- 2)  $K_R < K_T$ ;
- 3)  $K_R = K_T$ .

**20. Контактная разность потенциалов в системе «полупроводник n-типа – металл» при условии  $W_n < W_m$  распределена преимущественно:**

- 1) поверхностном слое полупроводника;
- 2) в приповерхностном слое металла;
- 3) в тонком вакуумном зазоре;
- 4) равномерно по полупроводнику.

**21. Если поверхность полупроводника (поверхностные состояния) заряжена отрицательно, то в приповерхностном энергетическом слое зоны:**

- 1) изгибаются вверх;
- 2) изгибаются вниз;
- 3) изгиб зон не происходит.

**Диэлектрики**

**1. Вектор поляризации это:**

- 1) векторная сумма дипольных моментов всех молекул в кристалле;
- 2) векторная сумма всех дипольных моментов в единице объема;
- 3) векторная сумма дипольных моментов всех полярных молекул в единице объема;
- 4) векторная сумма дипольных моментов всех полярных молекул, находящихся в кристалле.

**2. Вектор поляризации от температуры:**

- 1) не зависит;
- 2) растет пропорционально температуре;
- 3) зависит по экспоненциальному закону;
- 4) не зависит для атомной поляризации, но зависит для других видов поляризации.

**3. Вектор поляризации от напряженности внешнего электрического поля:**

- 1) не зависит;
- 2) зависит прямо пропорционально;
- 3) зависит по экспоненциальному закону;
- 4) меняется в зависимости от вида поляризации.

**4. Вектор поляризации от частоты внешнего поля:**

- 1) не зависит;
- 2) зависит ориентационная поляризация;

3) растет с ростом частоты; 4) уменьшается с ростом частоты.

**5. Внутреннее поле в диэлектрике от вектора поляризации:**

- 1) не зависит; 2) зависит пропорционально вектору поляризации;  
3) уменьшается; 4) растет по экспоненциальному закону.

**6. Величина внутреннего поля от диэлектрической проницаемости:**

- 1) растет пропорционально диэлектрической проницаемости;  
2) не зависит;  
3) уменьшается с ростом диэлектрической проницаемости;  
4) растет по экспоненциальному закону.

**7. Уравнение  $\operatorname{div} \mathbf{D} = 4\pi\rho$  справедливо, если:**

- 1)  $\rho$  - поверхностная плотность свободных и связанных зарядов;  
2)  $\rho$  - объемная плотность связанных зарядов;  
3)  $\rho$  - поверхностная плотность свободных зарядов;  
4)  $\rho$  - объемная плотность связанных и свободных зарядов.

**8. Для однородных диэлектриков:**

- 1)  $\operatorname{div} \mathbf{P} = 0$ ; 2)  $\operatorname{div} \mathbf{P} \neq 0$ ; 3)  $\operatorname{div} \mathbf{P} = 4\pi\rho$ ; 4)  $\operatorname{div} \mathbf{P} = D$

(где  $\rho$  - объемная плотность связанных зарядов).

**9. Для неоднородных диэлектриков:**

- 1)  $\operatorname{div} \mathbf{P} = 0$ ; 2)  $\operatorname{div} \mathbf{P} \neq 0$ ; 3)  $\operatorname{div} \mathbf{D} = 0$ ; 4)  $\operatorname{div} \mathbf{P} = 4\pi\rho$ .

**10. В равномерно поляризованной пластине внутреннее поле равно:**

- 1)  $E_i = 2\pi\sigma$ ; 2)  $E_i = 4\pi\sigma$ ; 3)  $E_i = -4\pi\rho$ ; 4)  $E_i = -4\pi\bar{\mathbf{P}} + \bar{\mathbf{E}}_0$ .

**11. В диэлектрическом равномерно поляризованном шаре, находящемся во внешнем однородном поле  $E_0$ , внутреннее поле равно:**

- 1)  $E_i = E_0 - 4\pi\bar{\mathbf{P}}$ ; 2)  $E_i = E_0 + 4\pi\bar{\mathbf{P}}$ ; 3)  $E_i = E_0 - \frac{4\pi}{3}\bar{\mathbf{P}}$ ; 4)  $E_i = E_0 + \frac{4\pi}{3}\bar{\mathbf{P}}$ .

**12. Внутреннее поле в диэлектрическом эллипсоиде равно:**

- 1)  $E_i = E_0 - 4\pi N$ , где  $N$  - деполяризующий фактор;  
2)  $E_i = E_0 + 4\pi\bar{\mathbf{P}}$ ; 3)  $E_i = E_0 - \frac{4\pi}{3}\bar{\mathbf{P}}$ ; 4)  $E_i = E_0 - 4\pi\bar{\mathbf{P}}$ .

**13. Деполяризующее поле равно:**

- 1)  $E_i = E_0 + 4\pi\beta N$ , где  $N$  - деполяризующий фактор  
2)  $\bar{\mathbf{E}}_i = -\frac{3\epsilon\epsilon N}{2\epsilon\epsilon + 1}\bar{\mathbf{E}}_0$ ; 3)  $E_i = -\frac{3\pi\bar{\mathbf{P}}}{3}N$ ; 4)  $E_i = 4\pi N\bar{\mathbf{P}}$ .

**14. Внутреннее поле в диэлектрическом шаре, находящемся в однородной среде с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_e$  равно:**

- 1)  $E_i = 4\pi\rho\epsilon_e$ ; 2)  $E_i = \frac{4\pi}{3\epsilon_e}\rho$ ; 3)  $E_i = \frac{3\epsilon_e}{\epsilon_i + 2\epsilon_e}E_0$ ; 4)  $E_i = \frac{3\epsilon_r}{\epsilon_r + N(\epsilon_i - \epsilon_r)}E_0$

**15. Зависимость поляризации термоэлектретов от температуры:**

- 1) термоэлектродное состояние усиливается пропорционально температуре при невысоких температурах;  
2) уменьшается с ростом температуры;  
3) растет экспоненциально;  
4) уменьшается экспоненциально.

**16. Времена релаксации термоэлектретного состояния для гомо- и гетерозарядов:**

- 1) одинаковы; 2) для гомозарядов время больше;  
3) для гетерозарядов время больше; 4) не зависит от зарядового состояния.

**17. Сегнетоэлектричество обнаруживается в кристаллах:**

- |                          |  |
|--------------------------|--|
| 1) кубической системы;   | 2) гексагональной системы;             |
| 3) без центра симметрии; | 4) не зависит от симметрии кристаллов. |

**18. Пьезоэлектричество обнаруживается во всех:**

- |                         |                           |
|-------------------------|---------------------------|
| 1) полярных кристаллах; | 2) неполярных кристаллах; |
| 3) ионных кристаллах;   | 4) без центра симметрии   |

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

**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.

*Промежуточный контроль по дисциплине включает:*

- устный опрос — 60 баллов,
- письменная контрольная работа — 30 баллов,
- тестирование

**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. Черевко А.Г. Физика конденсированного состояния. Часть 1. Кристаллы и их тепловые свойств [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.Г. Черевко. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2016. — 81 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/69566.html>
2. Тимохин В.М. Физика диэлектриков. Термоактивационная и диэлектрическая спектроскопия кристаллических материалов. Протонный транспорт [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.М. Тимохин. — Электрон. текстовые данные. — М. : Издательский Дом МИСиС, 2013. — 258 с. — 978-5-87623-677-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/56586.html>
3. Ливанов Д.В. Физика металлов [Электронный ресурс] : учебник для вузов / Д.В. Ливанов. — Электрон. текстовые данные. — М. : Издательский Дом МИСиС, 2006. — 280 с. — 5-87623-168-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/56569.html>

4. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. М.: Наука, 1990.  
<http://old.pskgu.ru/ebooks/bbkfpp> <http://ffmgu.ru/images/5/5f>
5. Шалимова К.В. Физика полупроводников. М.: Энергоатомиздат, 2010.  
<http://www.kaf70.mephi.ru/pdf/shalimov.pdf>
6. Физика твёрдого тела / Блейкмор, Джон ; Под ред. Д.Г. Андрианова, В.И. Фистуля. - М. : Мир, 1988. - 608 с. : ил. ; 22 см. - Библиогр.: с. 11-12. Библиогр. в конце глав. - Предм. указ.: с. 599-606. - ISBN 5-03-001256-7 : 3-00. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
7. Блатт, Фрэнк Дж. Физика электронной проводимости в твёрдых телах / Блатт, Фрэнк Дж. ; Пер. с англ. Г.Л. Краско и Р.А. Суриса. - М. : Мир, 1971. - 470 с. : ил. ; 22 см. - 2-22. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
8. Ашкрофт, Н. Физика твёрдого тела : [в 2-х т.]. [Т.]2 / Н. Ашкрофт, Н. Мермин ; пер. с англ.: К.И.Кугеля и А.С.Михайлова; под ред. М.И.Каганова. - М. : Мир, 1979. - 422 с. : ил. ; 25 см. - Библиогр. в конце гл. - Предм. указ.: с. 392-417. - 2-90. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
9. Займан, Дж. Принципы теории твёрдого тела / Займан, Дж. ; Под ред. проф. В.Л. Бонч-Бруевича. - М. : Мир, 1974. - 472 с. : с черт. ; 22 см. - Список лит.: с. 455-464. Предм. указ.: с. 465-469. - 2-21. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
10. Киттель, Чарлз. Введение в физику твёрдого тела / Киттель, Чарлз ; пер. А.А.Гусева и А.В.Пахнева; под общ. ред. А.А.Гусева. - М. : Наука, 1978. - 791 с. : ил. ; 22 см. - Список лит.: с. 769-791. - 2-10. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ
11. Тепловые свойства твёрдых тел : задания для проведения лаб. работ / М-во образования РФ, Дагест. гос. ун-т; [Сост. Палчаев Д.К., Мурлиева Ж.Х., Палчаева Х.С.] . - Махачкала : ИПЦ ДГУ, 2002. - 38 с. - 5-00.
12. Энергетический спектр фонов и тепловые свойства конденсированных сред : учебно-метод. пособие / [Д.К.Палчаев и др.]Минобрнауки России, Дагест. гос. ун-т. - Махачкала : Изд-во ДГУ, 2014. - 55-00. Местонахождение: Научная библиотека ДГУ

#### ***Дополнительная:***

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

6. Штаб А.В. Физика конденсированного состояния [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / А.В. Штаб, Л.П. Арефьева. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016. — 124 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66121.html>
7. Новиков А.Ф. Строение вещества [Электронный ресурс] : электронные оболочки атомов. Химическая связь. Конденсированное состояние вещества. Учебное пособие / А.Ф. Новиков. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2013. — 93 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/68156.html>

9. 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 аудитория, оснащенная проекционным оборудованием и интерактивной доской. Кафедра располагает необходимыми установками и технологическим оборудованием не только для выполнения специального физического практикума, но и соответствующих курсовых и ВКР. Имеется богатая библиотека, в том числе электронные книги, копии периодических изданий и т. д.