


|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

**УТВЕРЖДЕНО**  
решением Ученого совета ИФФВТ  
от « 24 » мая 2023 г., протокол № 10

Председатель \_\_\_\_\_ /В.В. Рыбин/  
(подпись)

« 24 » мая 2023 г.



## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

|             |  |
|-------------|--|
| Дисциплина: | <b>«Физика конденсированного состояния»</b>                      |
| Факультет   | <b>Инженерно-физический факультет высоких технологий (ИФФВТ)</b> |
| Кафедра     | <b>Кафедра Физического материаловедения (ФМ)</b>                 |
| Курс        | <b>4</b>   |

Направление (специальность): **22.03.01 Материаловедение и технологии материалов**  
(код направления (специальности), полное наименование)

Направленность (профиль/специализация) **Материаловедение наноструктурированных композиционных материалов**  
полное наименование

Форма обучения **очная**  
очная, заочная, очно-заочная (указать только те, которые реализуются)

Дата введения в учебный процесс УлГУ: « 1 » сентября 2023 г.

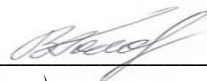
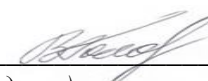
Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол №\_\_ от \_\_ 20\_\_ г.


Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол №\_\_ от \_\_ 20\_\_ г.

Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол №\_\_ от \_\_ 20\_\_ г.

Сведения о разработчиках:

| ФИО        | Кафедра | Должность, ученая степень, звание |
|------------|---------|-----------------------------------|
| Рыбин В.В. | ФМ      | Доцент, к.ф.-м.н.                 |

| СОГЛАСОВАНО   | СОГЛАСОВАНО  |
|---|--|
| Заведующий кафедрой,<br>реализующей дисциплину (кафедра ФМ)   | Заведующий выпускающей кафедрой<br>(кафедра ФМ)  |
|  /В.Н. Голованов/<br>(подпись) (ФИО)<br>«15» мая 2023 г. | /  /В.Н. Голованов/<br>(подпись) (ФИО)<br>«15» мая 2023 г. |

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### Цели освоения дисциплины:

- формирование представлений о физической сущности процессов, протекающих в металлах, полупроводниковых, диэлектрических, магнитных материалах и в структурах, созданных на основе этих материалов в различных условиях;
- выработка знаний и навыков, необходимых для количественных оценок величины эффектов и характеристических параметров с учетом особенностей кристаллической структуры, электронного и фононного спектров, типа и концентрации легирующих примесей.

### Задачи освоения дисциплины:

- получение фундаментальных знаний и навыков в области физики конденсированного состояния;
- ознакомление с методиками исследования физических свойств материалов;
- умение использовать результаты новых экспериментальных и теоретических исследований в области физики твердого тела и полупроводников.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физика конденсированного состояния» является дисциплиной по выбору и относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 дисциплин цикла подготовки бакалавров по направлению **22.03.01 Материаловедение и технологии материалов**.

В рамках данной дисциплины рассматриваются основы физики твердого тела и особенностей протекания физических процессов в веществах различной природы.

Освоение дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин «Физика», «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения».

Для освоения дисциплины студент должен иметь следующие «входные» знания, умения, навыки и компетенции:


- знание основных законов общей физики;
- знание базовых понятий и определений математического анализа.

Результаты освоения дисциплины будут необходимы для дальнейшего процесса обучения в рамках поэтапного формирования компетенций при изучении следующих специальных дисциплин:

- Общее материаловедение
- Кристаллография, рентгенография
- Фазовые равновесия и структурообразование
- Физика прочности и пластичности сплавов и композитов

а также для прохождения учебной, производственной и преддипломной практик, государственной итоговой аттестации.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ), СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

| Код и наименование реализуемой компетенции   | Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций  |
|--|---|
| ПК-1<br>Способен использовать на практике знания об особенностях строения наноструктурированных композиционных материалов различного назначения, о влиянии фазового и структурного состояния на свойства материалов. | <p>Знать:<br/>классификацию твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории</p> <p>Уметь:<br/>понимать физическую сущность процессов, протекающих в металлах, полупроводниковых, диэлектрических, магнитных материалах и в структурах, созданных на основе этих материалов</p> <p>Владеть:<br/>опытом проведения количественных оценок величины эффектов и характеристических параметров с учетом особенностей кристаллической структуры, электронного и фононного спектров, типа и концентрации легирующих примесей.</p> |


#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего) – 3 ЗЕ

4.2. По видам учебной работы (в часах): 108


| Вид учебной работы  | Количество часов (форма обучения – очная)     |   |    |
|---|---|---|----|
|   | Всего по плану                                | в т.ч. по семестрам                           |    |
|   |   | 8   | 1- |
| Контактная работа обучающихся с преподавателем  | 64  | 64  | –  |
| Аудиторные занятия:   |   |   |    |
| • лекции  | 32  | 32  | –  |
| • практические и семинарские занятия  | 32  | 32  | –  |
| • лабораторные работы (лабораторный практикум)  | –   | –   | –  |
| Самостоятельная работа  | 44  | 44  | –  |
| Форма текущего контроля знаний и контроля самостоятельной работы: тестирование, контр. работа, коллоквиум, реферат и др. (не менее 2 видов) | Устный опрос, индивидуальные расчетные работы | Устный опрос, индивидуальные расчетные работы | –  |
| Курсовая работа   | –   | –   | –  |
| Виды промежуточной аттестации (экзамен, зачет)  | Зачет   | Зачет   | –  |
| <b>Всего часов по дисциплине</b>  | <b>108</b>                                    | <b>108</b>                                    | –  |

4.3. Содержание дисциплины (модуля). Распределение часов по темам и


|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

**видам учебной работы:**

| Название разделов и тем                                     | Всего | Виды учебных занятий |                                |                     |                                      |                        | Форма текущего контроля знаний                 |
|---|-------|----------------------|--------------------------------|---------------------|--------------------------------------|------------------------|--|
|   |       | Аудиторные занятия   |                                |                     | в т.ч. занятия в интерактивной форме | Самостоятельная работа |  |
|   |       | лекции               | практические занятия, семинары | лабораторные работы |                                      |                        |  |
| Тема 1. Точечные дефекты.                                   | 12    | 4                    | 4                              |                     |                                      | 4                      | Устный опрос, индивидуальные расчетные работы. |
| Тема 2. Радиационные дефекты и электропроводность металлов. | 6     | 2                    | 2                              |                     |                                      | 2                      | Устный опрос, индивидуальные расчетные работы. |
| Тема 3. Дислокации.   | 12    | 4                    | 4                              |                     |                                      | 4                      | Устный опрос, индивидуальные расчетные работы. |
| Тема 4. Макроскопические дефекты.                           | 6     | 2                    | 2                              |                     |                                      | 2                      | Устный опрос, индивидуальные расчетные работы. |
| Тема 5. Упругие свойства твердых тел.                       | 6     | 2                    | 2                              |                     |                                      | 2                      | Устный опрос, индивидуальные расчетные работы. |
| Тема 6. Пластичность и твердость.                           | 6     | 2                    | 2                              |                     |                                      | 2                      | Устный опрос, индивидуальные расчетные работы. |
| Тема 7. Диффузия в твердых телах.                           | 6     | 2                    | 2                              |                     |                                      | 2                      | Устный опрос, индивидуальные                   |

|  |            |           |           |       |  |   |
|--|------------|-----------|-----------|-------|--|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет |            |           |           | Форма |  |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |            |           |           |       |  |   |
|  |            |           |           |       |  | расчетные работы.   |
| Тема 8. Диа- и парамагнетизм.  | 6          | 2         | 2         |       |  | 2<br>Устный опрос, индивидуальные расчетные работы.                                 |
| Тема 9. Ферромагнетизм.  | 12         | 4         | 4         |       |  | 4<br>Устный опрос, индивидуальные расчетные работы.                                 |
| Тема 10. Магнитомеханические явления и магнитные резонансы.                            | 6          | 2         | 2         |       |  | 2<br>Устный опрос, индивидуальные расчетные работы.                                 |
| Тема 11. Свойства сверхпроводников.  | 6          | 2         | 2         |       |  | 2<br>Устный опрос, индивидуальные расчетные работы.                                 |
| Тема 12. Теория сверхпроводников 1-го и 2-го рода.                                     | 12         | 4         | 4         |       |  | 4<br>Устный опрос, индивидуальные расчетные работы.                                 |
| Тема 13. Высокотемпературная сверхпроводимость.  | 6          | 2         | 2         |       |  | 2<br>Устный опрос, индивидуальные расчетные работы.                                 |
| Тема 14. Оптические свойства твердых тел.  | 6          | 2         | 2         |       |  | 2<br>Устный опрос, индивидуальные расчетные работы.                                 |
| <b>ИТОГО:</b>  | <b>108</b> | <b>32</b> | <b>32</b> |       |  | <b>44</b>   |

## 5. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

### **Тема 1. Точечные дефекты кристаллической решетки.**

Понятие о точечных, линейных, поверхностных и объёмных дефектах. Тепловые, стехиометрические и радиационные дефекты. Дефекты по Шоттки и по Френкелю. Точечные дефекты тепловой природы. Термический механизм образования пар Френкеля и дефектов Шоттки. Термодинамический подход к описанию концентрации равновесных дефектов. Учет термической энтропии. Энергия образования дефектов. Экспериментальное определение концентрации вакансий при высоких температурах. Образование вакансионных комплексов. Тепловые дефекты в бинарных соединениях.

### **Тема 2. Радиационные дефекты и электропроводность металлов.**

Точечные радиационные дефекты. Ударный механизм образования пар Френкеля. Пороговая энергия смещения. Минимальная энергия частиц излучения, создающего радиационные дефекты. Понятие о подпороговых механизмах генерации радиационных дефектов. Первично-смещенные атомы и сечения их образования различными видами корпускулярных излучений. Развитие каскада смещений. Каскадная функция. Модель Кинчина-Пиза и её модификации. Образование первично-смещенных атомов при гамма-облучении.

Влияние радиационных дефектов на сопротивление металлов. Связь приращения удельного электрического сопротивления с концентрацией дефектов. Исследования влияния облучения на сопротивление металлов при низких температурах. Определение пороговой энергии смещения атомов по результатам облучения металлов. Модель неустойчивых зон и концентрация вакансий. Влияние насыщаемых стоков на кинетику накопления вакансий при облучении. Влияние ненасыщаемых стоков на кинетику накопления вакансий при облучении. Влияние температуры облучения и отжига на накопление дефектов и электропроводность металлов.

### **Тема 3. Дислокации.**


Понятие о дислокациях. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Линия дислокации. Плотность дислокаций. Узлы дислокаций. Дилатация. Смещенные и криволинейные дислокации. Источники дислокаций. Теоретическая прочность металлов на сдвиг. Движение дислокаций и пластичность. Механизмы движения дислокаций – переползание и скольжение. Механизм Франка – Рида. Поле напряжений дислокации. Энергия дислокации.

### **Тема 4 Макроскопические дефекты.**

Дефекты упаковки и границы зерен. Поры в кристаллах. Пересыщение кристаллической решетки вакансиями. Диффузионная пористость. Зарождение и развитие пор. Макроскопические дефекты поверхности твердых тел. «Крутые» и «пологие» дефекты. Механизмы сглаживания поверхности. Механизм вязкого течения. Механизм объемной диффузии. Поверхностная диффузия. Перенос вещества через газовую фазу. Сглаживание «пологих» дефектов.

### **Тема 5. Упругие свойства твердых тел.**

Понятие о деформации и напряжении. Истинные и условные деформации и напряжения. Напряжения сжатия /растяжения/ и сдвига. Одноосная деформация. Тензор напряжений. Деформации сжатия и сдвига. Описание объёмной деформации. Диаграмма деформации. Упругость. Закон Гука для растяжения и для сдвига. Модуль Юнга и модуль сдвига. Коэффициент Пуассона. Обобщенный закон Гука для изотропной среды. Обобщенный закон Гука для анизотропных сред.

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

### **Тема 6. Пластичность и твердость.**

Пластическая деформация. Скольжение и двойникование. Явление упрочнения /наклеп/. Отдых и рекристаллизация. Дислокационная теория пластичности. Хрупкое и пластическое разрушение. Теоретическая оценка прочности твердых тел. Модель микротрещин Гриффитса. Модели зарождения микротрещин. Временная прочность твердых тел. Зависимость временной прочности от напряжения и температуры. Зависимость энергии активации от напряжения.

### **Тема 7. Диффузия в твердых телах.**

Диффузионные процессы – движение вакансий /дырок/ и движение атомов в межатомном пространстве. Теория диффузии Френкеля. Температурная зависимость коэффициента диффузии. 1-й и 2-й законы Фика. Диффузия из постоянного поверхностного источника. Диффузия из ограниченного поверхностного источника.

### **Тема 8. Диа- и парамагнетизм.**

Магнитное поле в веществе. Классификация магнетиков. Природа диамагнетизма. Парамагнетизм. Функция Ланжевена. Учет пространственного квантования. Закон Кюри для парамагнетиков. Магнитные свойства электронного газа. Получение низких температур методом адиабатического размагничивания парамагнетиков.

### **Тема 9. Ферромагнетизм.**

Спиновая природа ферромагнетизма. Опыты Эйнштейна и де-Гааза и опыт Барнетта. Молекулярное поле Вейсса. Закон Кюри-Вейсса. Обменное взаимодействие и ферромагнетизм. Доменная структура ферромагнетиков. Кривая намагничивания. Петля гистерезиса. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм.

### **Тема 10. Магнитомеханические явления и магнитные резонансы.**


Природа ядерного магнитного резонанса. Характеристика линий поглощения. Химический сдвиг. Сдвиг Найта. Применение ЯМР для исследования металлов. Электронный парамагнитный резонанс и его применение. Ферромагнитный резонанс. Взаимодействие света с твердыми телами. Комплексный показатель преломления.

### **Тема 11. Свойства сверхпроводников.**

Понятие о сверхпроводимости. Электрическое сопротивление сверхпроводников. Эффект Мейсснера-Оксенфельда. Критическое магнитное поле. Сверхпроводники первого и второго рода. Фазы Мейсснера и Шубникова. Изотопический эффект в сверхпроводниках. Теплоемкость сверхпроводников. Поглощение излучения сверхпроводниками.

### **Тема 12. Теория сверхпроводников 1-го и 2-го рода.**

Термодинамическое объяснение скачка теплоемкости в сверхпроводниках I-го рода. Двухжидкостная модель Гортера и Казимира. Температурная зависимость концентрации сверхпроводящих носителей. Электромагнитные свойства сверхпроводников. Теория Лондонов. Глубина проникновения поля в сверхпроводник. Понятие о нелокальной теории Пиппарда. Сверхпроводники второго рода в магнитных полях. Теория Гинзбурга-Ландау. Возникновение смешанных состояний. Явление пиннинга. Притяжение электронов за счет их взаимодействия с решеткой – силы Фрелиха. Куперовские пары. Оценка размеров пары. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Возникновение

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

энергетической щели. Квантование магнитного потока. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона.

### **Тема 13. Высокотемпературная сверхпроводимость.**

Высокотемпературная сверхпроводимость.

### **Тема 14. Оптические свойства твердых тел.**

Механизмы поглощения света. Собственное поглощение. Экситонное поглощение. Поглощение свободными носителями. Примесное и решеточное поглощение. Рекомбинационное излучение. Основные механизмы рекомбинации. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через локализованные уровни. Модель Холла-Шокли-Рида. Время жизни неравновесных носителей. Радиационные дефекты и время жизни. Однородное распределение дефектов. Кластеры дефектов. Модель Госсика. Модель Миронова. Экситонная рекомбинация.

## **6. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ**

### **Тема 1. Точечные дефекты кристаллической решетки.**

#### **Занятие 1-2**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Понятие о точечных, линейных, поверхностных и объёмных дефектах. Тепловые, стехиометрические и радиационные дефекты. Дефекты по Шоттки и по Френкелю.

Точечные дефекты тепловой природы. Термический механизм образования пар Френкеля и дефектов Шоттки. Термодинамический подход к описанию концентрации равновесных дефектов. Учет термической энтропии. Энергия образования дефектов. Экспериментальное определение концентрации вакансий при высоких температурах. Образование вакансионных комплексов. Тепловые дефекты в бинарных соединениях. Решение задач.

### **Тема 2. Радиационные дефекты и электропроводность металлов.**


#### **Занятие 3**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Точечные радиационные дефекты. Ударный механизм образования пар Френкеля. Пороговая энергия смещения. Минимальная энергия частиц излучения, создающего радиационные дефекты. Понятие о подпороговых механизмах генерации радиационных дефектов. Первично-смещенные атомы и сечения их образования различными видами корпускулярных излучений. Развитие каскада смещений. Каскадная функция. Модель Кинчина-Пиза и её модификации. Образование первично-смещенных атомов при гамма-облучении.

Влияние радиационных дефектов на сопротивление металлов. Связь приращения удельного электрического сопротивления с концентрацией дефектов. Исследования влияния облучения на сопротивление металлов при низких температурах. Определение пороговой энергии смещения атомов по результатам облучения металлов. Модель неустойчивых зон и концентрация вакансий. Влияние насыщаемых стоков на кинетику накопления вакансий при облучении. Влияние ненасыщаемых стоков на кинетику накопления вакансий при облучении. Влияние температуры облучения и отжига на накопление дефектов и электропроводность металлов. Решение задач.



|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

### **Тема 3. Дислокации.**

#### **Занятия 4-5**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Понятие о дислокациях. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Линия дислокации. Плотность дислокаций. Узлы дислокаций. Дилатация. Смещенные и криволинейные дислокации. Источники дислокаций. Теоретическая прочность металлов на сдвиг. Движение дислокаций и пластичность. Механизмы движения дислокаций – переползание и скольжение. Механизм Франка – Рида. Поле напряжений дислокации. Энергия дислокации. Решение задач.

### **Тема 4 Макроскопические дефекты.**

#### **Занятие 6**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Дефекты упаковки и границы зерен. Поры в кристаллах. Пересыщение кристаллической решетки вакансиями. Диффузионная пористость. Зарождение и развитие пор.

Макроскопические дефекты поверхности твердых тел. «Крутые» и «пологие» дефекты. Механизмы сглаживания поверхности. Механизм вязкого течения. Механизм объемной диффузии. Поверхностная диффузия. Перенос вещества через газовую фазу. Сглаживание «пологих» дефектов. Решение задач.

### **Тема 5. Упругие свойства твердых тел.**

#### **Занятие 7**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Понятие о деформации и напряжении. Истинные и условные деформации и напряжения. Напряжения сжатия /растяжения/ и сдвига. Одноосная деформация. Тензор напряжений. Деформации сжатия и сдвига. Описание объемной деформации.

Диаграмма деформации. Упругость. Закон Гука для растяжения и для сдвига. Модуль Юнга и модуль сдвига. Коэффициент Пуассона. Обобщенный закон Гука для изотропной среды. Обобщенный закон Гука для анизотропных сред. Решение задач.

### **Тема 6. Пластичность и твердость.**

#### **Занятие 8**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Пластическая деформация. Скольжение и двойникование. Явление упрочнения /наклеп/. Отдых и рекристаллизация. Дислокационная теория пластичности. Хрупкое и пластическое разрушение. Теоретическая оценка прочности твердых тел. Модель микротрещин Гриффитса. Модели зарождения микротрещин.


Временная прочность твердых тел. Зависимость временной прочности от напряжения и температуры. Зависимость энергии активации от напряжения. Решение задач.

### **Тема 7. Диффузия в твердых телах.**

#### **Занятие 9**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Диффузионные процессы – движение вакансий /дырок/ и движение атомов в межатомном пространстве. Теория диффузии Френкеля. Температурная

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

зависимость коэффициента диффузии. 1-й и 2-й законы Фика.  
Диффузия из постоянного поверхностного источника. Диффузия из ограниченного  
поверхностного источника. Решение задач.

### **Тема 8. Диа- и парамагнетизм.**

#### **Занятие 10**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Магнитное поле в веществе. Классификация магнетиков. Природа диамагнетизма. Парамагнетизм. Функция Ланжевена. Учет пространственного квантования. Закон Кюри для парамагнетиков. Магнитные свойства электронного газа. Получение низких температур методом адиабатического размагничивания парамагнетиков. Решение задач.

### **Тема 9. Ферромагнетизм.**

#### **Занятие 11-12**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Спиновая природа ферромагнетизма. Опыты Эйнштейна и де-Гааза и опыт Барнетта. Молекулярное поле Вейсса. Закон Кюри-Вейсса. Обменное взаимодействие и ферромагнетизм. Доменная структура ферромагнетиков. Кривая намагничивания. Петля гистерезиса. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Решение задач.

### **Тема 10. Магнитомеханические явления и магнитные резонансы.**

#### **Занятие 13**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Природа ядерного магнитного резонанса. Характеристика линий поглощения. Химический сдвиг. Сдвиг Найта. Применение ЯМР для исследования металлов. Электронный парамагнитный резонанс и его применение. Ферромагнитный резонанс. Взаимодействие света с твердыми телами. Комплексный показатель преломления. Решение задач.

### **Тема 11. Свойства сверхпроводников.**

#### **Занятие 14**

Форма проведения – семинар.


Вопросы по теме: Понятие о сверхпроводимости. Электрическое сопротивление сверхпроводников. Эффект Мейсснера-Оксенфельда. Критическое магнитное поле. Сверхпроводники первого и второго рода. Фазы Мейсснера и Шубникова. Изотопический эффект в сверхпроводниках. Теплоемкость сверхпроводников. Поглощение излучения сверхпроводниками. Решение задач.

### **Тема 12. Теория сверхпроводников 1-го и 2-го рода.**

#### **Занятие 15-16**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Термодинамическое объяснение скачка теплоемкости в сверхпроводниках I-го рода. Двухжидкостная модель Гортера и Казимира. Температурная зависимость концентрации сверхпроводящих носителей. Электромагнитные свойства сверхпроводников. Теория Лондонов. Глубина проникновения поля в сверхпроводник. Понятие о нелокальной теории Пиппарда. Сверхпроводники второго рода в магнитных полях. Теория Гинзбурга-Ландау. Возникновение смешанных состояний. Явление пиннинга. Притяжение электронов за счет их взаимодействия с решеткой – силы Фрелиха.

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

Куперовские пары. Оценка размеров пары. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Возникновение энергетической щели. Квантование магнитного потока. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Решение задач.

### **Тема 13. Высокотемпературная сверхпроводимость.**

#### **Занятие 17**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Высокотемпературная сверхпроводимость. Решение задач.

### **Тема 14. Оптические свойства твердых тел.**

#### **Занятие 18**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Механизмы поглощения света. Собственное поглощение. Экситонное поглощение. Поглощение свободными носителями. Примесное и решеточное поглощение. Рекомбинационное излучение. Основные механизмы рекомбинации. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через локализованные уровни. Модель Холла-Шокли-Рида. Время жизни неравновесных носителей. Радиационные дефекты и время жизни. Однородное распределение дефектов. Кластеры дефектов. Модель Госсика. Модель Миронова. Экситонная рекомбинация. Решение задач.

## **7. ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ)**


Данный вид работы не предусмотрен УП.

## **8. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ, КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ**

Данный вид работы не предусмотрен УП.

## **9. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭЗАЧЕТУ**

1. Точечные, линейные, поверхностные и объёмные дефекты. Тепловые, стехиометрические и радиационные дефекты. Дефекты по Шоттки и по Френкелю.
2. Точечные дефекты тепловой природы. Термический механизм образования пар Френкеля и дефектов Шоттки. Концентрация равновесных дефектов. Учет термической энтропии. Энергия образования дефектов.
3. Точечные радиационные дефекты. Ударный механизм образования пар Френкеля. Пороговая энергия смещения. Минимальная энергия частиц излучения, создающего радиационные дефекты. Модель Кинчина-Пиза и её модификации.
4. Понятие о дислокациях. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Линия дислокации. Плотность дислокаций.
5. Узлы дислокаций. Дилатация. Смещенные и криволинейные дислокации. Источники дислокаций. Движение дислокаций и пластичность.
6. Механизмы движения дислокаций – переползание и скольжение. Механизм Франка – Рида. Поле напряжений дислокации. Энергия дислокации.
7. Деформация и напряжение. Истинные и условные деформации и напряжения. Напряжения сжатия /растяжения/ и сдвига. Тензор напряжений. Деформации


|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

- сжатия и сдвига. Описание объёмной деформации.
8. Диаграмма деформации. Упругость. Закон Гука для растяжения и для сдвига. Модуль Юнга и модуль сдвига. Коэффициент Пуассона. Обобщенный закон Гука.
  9. Пластическая деформация. Скольжение и двойникование. Явление упрочнения /наклеп/. Отдых и рекристаллизация. Дислокационная теория пластичности.
  10. Хрупкое и пластическое разрушение. Теоретическая оценка прочности твердых тел. Модель микротрещин Гриффитса. Модели зарождения микротрещин.
  11. Теория диффузии Френкеля. Температурная зависимость коэффициента диффузии. 1-й и 2-й законы Фика.
  12. Диффузия из постоянного поверхностного источника. Диффузия из ограниченного поверхностного источника.
  13. Понятие о сверхпроводимости. Электрическое сопротивление сверхпроводников. Эффект Мейсснера-Оксенфельда.
  14. Критическое магнитное поле. Сверхпроводники первого и второго рода. Фазы Мейсснера и Шубникова.
  15. Теплоемкость сверхпроводников. Поглощение излучения сверхпроводниками.
  16. Двухжидкостная модель. Температурная зависимость концентрации сверхпроводящих носителей.
  17. Электромагнитные свойства сверхпроводников. Теория Лондонов. Глубина проникновения поля в сверхпроводник.
  18. Сверхпроводники второго рода в магнитных полях. Теория Гинзбурга-Ландау.
  19. Притяжение электронов за счет их взаимодействия с решеткой. Куперовские пары. Оценка размеров пары.
  20. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Возникновение энергетической щели. Квантование магнитного потока.
  21. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость.
  22. Магнитное поле в веществе. Классификация магнетиков. Природа диамагнетизма.
  23. Парамагнетизм. Функция Ланжевена. Учет пространственного квантования. Закон Кюри для парамагнетиков.
  24. Спиновая природа ферромагнетизма. Опыты Эйнштейна и де-Гааза и опыт Барнетта. Молекулярное поле Вейсса. Закон Кюри-Вейсса.
  25. Обменное взаимодействие и ферромагнетизм. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм.
  26. Доменная структура ферромагнетиков. Кривая намагничивания. Петля гистерезиса.
  27. Природа ядерного магнитного резонанса. Характеристика линий поглощения. Химический сдвиг. Сдвиг Найта. Применение ЯМР для исследования металлов.
  28. Электронный парамагнитный резонанс и его применение. Ферромагнитный резонанс.
  29. Взаимодействие света с твердыми телами. Комплексный показатель преломления.
  30. Механизмы поглощения света.
  31. Рекомбинационное излучение. Основные механизмы рекомбинации.
  32. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через локализованные уровни.


## 10. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

Форма обучения **очная**


| Название разделов и тем | Вид самостоятельной работы<br>( <i>проработка учебного</i> ) | Объем<br>в часах | Форма<br>контроля |
|-------------------------|--|------------------|-------------------|
|-------------------------|--|------------------|-------------------|

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

|   | <i>материала, решение задач, реферат, доклад, контрольная работа, подготовка к сдаче зачета, экзамена и др.)</i>   |   | <i>(проверка решения задач, реферата и др.)</i>         |
|---|--|---|---|
| Тема 1. Точечные дефекты.                                   | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена. | 4 | Устный опрос, проверка индивидуальной расчетной работы. |
| Тема 2. Радиационные дефекты и электропроводность металлов. | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена. | 2 | Устный опрос, проверка индивидуальной расчетной работы. |
| Тема 3. Дислокации.   | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена. | 4 | Устный опрос, проверка индивидуальной расчетной работы. |
| Тема 4. Макроскопические дефекты.                           | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена. | 2 | Устный опрос, проверка индивидуальной расчетной работы. |
| Тема 5. Упругие свойства твердых тел.                       | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена. | 2 | Устный опрос, проверка индивидуальной расчетной работы. |
| Тема 6. Пластичность и твердость.                           | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена. | 2 | Устный опрос, проверка индивидуальной расчетной работы. |
| Тема 7. Диффузия в твердых телах.                           | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и   | 2 | Устный опрос, проверка индивидуальной                   |

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

|   |  |   |   |
|---|--|---|---|
|   | информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена.  |   | расчетной работы.                                       |
| Тема 8. Диа- и парамагнетизм.                               | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена. | 2 | Устный опрос, проверка индивидуальной расчетной работы. |
| Тема 9. Ферромагнетизм.                                     | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена. | 4 | Устный опрос, проверка индивидуальной расчетной работы. |
| Тема 10. Магнитомеханические явления и магнитные резонансы. | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена. | 2 | Устный опрос, проверка индивидуальной расчетной работы. |
| Тема 11. Свойства сверхпроводников.                         | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена. | 2 | Устный опрос, проверка индивидуальной расчетной работы. |
| Тема 12. Теория сверхпроводников 1-го и 2-го рода.          | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена. | 4 | Устный опрос, проверка индивидуальной расчетной работы. |
| Тема 13. Высокотемпературная сверхпроводимость.             | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена. | 2 | Устный опрос, проверка индивидуальной расчетной работы. |
| Тема 14. Оптические свойства твердых тел.                   | Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и   | 2 | Устный опрос, проверка индивидуальной                   |

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

|  |   |  |                   |
|--|---|--|-------------------|
|  | информационного обеспечения дисциплины;<br>Решение задач;<br>Подготовка к сдаче экзамена. |  | расчетной работы. |
|--|---|--|-------------------|

## 11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### а) Список рекомендуемой литературы

#### Основная:

1. Гуртов, В. А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко ; под редакцией Л. А. Алешина. — Москва : Техносфера, 2012. — 560 с. — ISBN 978-5-94836-327-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/26903.html>
2. Филимонова, Н. И. Физика конденсированного состояния : учебное пособие / Филимонова Н. И. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. - 136 с. - ISBN 978-5-7782-2960-0. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778229600.html>

#### Дополнительная:

1. Элементы физики твёрдого тела : учебное пособие / составители В. Я. Чечуев, С. В. Викулов, И. М. Дзю. — Новосибирск : Новосибирский государственный аграрный университет, 2012. — 160 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/64832.html>
2. Делоне, Н. Б. Основы физики конденсированного вещества / Делоне Н. Б. - Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2011. - ISBN 978-5-9221-1261-1. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112611.html>
3. Королёв, А. А. Физика твёрдого тела. Часть 1 : методические рекомендации по выполнению лабораторных работ / А. А. Королёв, С. А. Курашова. — Санкт-Петербург : Университет ИТМО, 2014. — 80 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/68723.html>


#### Учебно-методическая:

1. Рыбин В. В. Методические указания для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физика конденсированного состояния» / В. В. Рыбин; УлГУ, ИФФВТ. - Ульяновск : УлГУ, 2019. - URL: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/7969>
2. Вострецова Л. Н. Методические указания по выполнению лабораторных работ по физике конденсированного состояния вещества (физике твердого тела, физическим свойствам твердых тел) для студентов бакалавриата и специалитета / Л. Н. Вострецова, В. В. Рыбин, А. А. Соловьев; УлГУ, ИФФВТ. - Ульяновск : УлГУ, 2019. - URL: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/6757>

Согласовано:

*Зи. Библиот. отдела общ. э. наук - инж.*
*Чамельва А. Ф.*
*17/11*
/
/

Фо \_\_\_\_\_ Должность сотрудника научной библиотеки      ФИО      подпись      дата

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

## б) программное обеспечение

не предусмотрено

## в) Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

### 1. Электронно-библиотечные системы:

1.1. Цифровой образовательный ресурс IPRsmart : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». - Саратов, [2023]. – URL: <http://www.iprbookshop.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.2. Образовательная платформа ЮРАЙТ : образовательный ресурс, электронная библиотека : сайт / ООО Электронное издательство «ЮРАЙТ». – Москва, [2023]. - URL: <https://urait.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.3. База данных «Электронная библиотека технического ВУЗа (ЭБС «Консультант студента») : электронно-библиотечная система : сайт / ООО «Политехресурс». – Москва, [2023]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.4. Консультант врача. Электронная медицинская библиотека : база данных : сайт / ООО «Высшая школа организации и управления здравоохранением-Комплексный медицинский консалтинг». – Москва, [2023]. – URL: <https://www.rosmedlib.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.5. Большая медицинская библиотека : электронно-библиотечная система : сайт / ООО «Букап». – Томск, [2023]. – URL: <https://www.books-up.ru/ru/library/> . – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.6. ЭБС Лань : электронно-библиотечная система : сайт / ООО ЭБС «Лань». – Санкт-Петербург, [2023]. – URL: <https://e.lanbook.com>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.7. ЭБС Znanium.com : электронно-библиотечная система : сайт / ООО «Знаниум». - Москва, [2023]. - URL: <http://znanium.com> . – Режим доступа : для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

2. **КонсультантПлюс** [Электронный ресурс]: справочная правовая система. / ООО «Консультант Плюс» - Электрон.дан. - Москва :КонсультантПлюс, [2023].


### 3. Базы данных периодических изданий:

3.1. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : сайт / ООО «Научная Электронная Библиотека». – Москва, [2023]. – URL: <http://elibrary.ru>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный

3.2. Электронная библиотека «Издательского дома «Гребенников» (Grebinnikon) : электронная библиотека / ООО ИД «Гребенников». – Москва, [2023]. – URL: <https://id2.action-media.ru/Personal/Products>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

4. **Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека»**: электронная библиотека : сайт / ФГБУ РГБ. – Москва, [2023]. – URL:<https://нэб.рф>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.



|  |       |   |
|--|-------|---|
| Министерство науки и высшего образования РФ<br>Ульяновский государственный университет | Форма |  |
| Ф-Рабочая программа дисциплины   |       |   |

5. Российское образование: федеральный портал / учредитель ФГАУ «ФИЦТО». – URL: <http://www.edu.ru>. – Текст : электронный.

6. **Электронная библиотечная система УлГУ** : модуль «Электронная библиотека» АБИС Мега-ПРО / ООО «Дата Экспресс». – URL: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

Согласовано:

Инженер ведущий / Щуренко Ю.В. /  / \_\_\_\_\_  
Должность сотрудника УИПТ ФИО подпись дата

## 12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Аудитории для проведения лекций, семинарских занятий, для выполнения лабораторных работ и практикумов, для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций.

Аудитории укомплектованы специализированной мебелью, учебной доской. Аудитории для проведения лекций оборудованы мультимедийным оборудованием для предоставления информации большой аудитории.

## 13. СПЕЦИАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) могут предлагаться одни из следующих вариантов восприятия информации с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

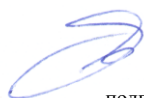
– для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.

В случае необходимости использования в учебном процессе частично/исключительно дистанционных образовательных технологий, организация работы ППС с обучающимися с ОВЗ и инвалидами предусматривается в электронной информационно-образовательной среде с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

Разработчик



подпись

доцент, Рыбин Владислав Витальевич

должность, ФИО