

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

УТВЕРЖДЕНО
решением Ученого совета ИФФВТ
от 21 мая 2024 г. протокол № 10
Председатель _____ (Рыбин В.В.)
(подпись, расшифровка подписи)



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина	Физика конденсированных сред
Факультет	Инженерно-физический факультет высоких технологий
Кафедра	Кафедра радиофизики и электроники
Курс	3 - очная форма обучения

Направление (специальность): 03.03.03 Радиофизика

Направленность (профиль/специализация): Твердотельная электроника и наноэлектроника

Форма обучения: очная

Дата введения в учебный процесс УлГУ: 01.09.2024 г.

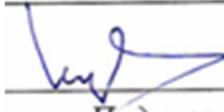
Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № _____ от _____ 20__ г.

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
Семенцов Д.И.	РФЭ	Профессор, д.ф.-м.н., профессор

СОГЛАСОВАНО
Заведующий выпускающей кафедрой
 _____ / Гурин Н.Т./ Подпись ФИО
« <u>16</u> » <u>05</u> 2024 г.

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 конденсированных сред» относится к числу дисциплин блока Б1.В.1.ДВ.01, предназначенного для студентов, обучающихся по направлению: 03.03.03 Радиофизика.

В процессе изучения дисциплины формируются компетенции: ПК-1.

Основные положения дисциплины используются в дальнейшем при изучении таких дисциплин как: Преддипломная практика, Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы, Физика активных элементов, Физические основы технологии интегральных микросхем, Полупроводниковые приборы с отрицательным дифференциальным сопротивлением, Конструирование интегральных микросхем, микросборок и сверхвысокочастотных модулей.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОСНОВНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Код и наименование реализуемой компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций
ПК-1 Теоретическое исследование электронных средств	<p>знать: физические процессы и явления в полупроводниках и полупроводниковых структурах</p> <p>уметь: проводить теоретический анализ процессов и явлений в</p>

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

Код и наименование реализуемой компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций
	полупроводниках и полупроводниковых структурах владеть: методиками расчета параметров и характеристик полупроводников и полупроводниковых структур

4. ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего): 4 ЗЕТ

4.2. Объем дисциплины по видам учебной работы (в часах): 144 часа

Форма обучения: очная

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения <u>очная</u>)	
	Всего по плану	В т.ч. по семестрам
		5
1	2	3
Контактная работа обучающихся с преподавателем в соответствии с УП	54	54
Аудиторные занятия:	54	54
Лекции	18	18
Семинары и практические занятия	36	36
Лабораторные работы, практикумы	-	-
Самостоятельная работа	54	54
Форма текущего контроля знаний и контроля самостоятельной работы: тестирование, контр. работа, коллоквиум, реферат и др. (не менее 2 видов)	Тестирование	Тестирование
Курсовая работа	-	-
Виды промежуточной аттестации (экзамен, зачет)	Экзамен (36)	Экзамен
Всего часов по дисциплине	144	144

4.3. Содержание дисциплины. Распределение часов по темам и видам учебной работы

Форма обучения: очная

Название разделов и тем	Всего	Виды учебных занятий					Форма текущего контроля знаний
		Аудиторные занятия			Занятия в интерактивной форме	Самостоятельная работа	
		Лекции	Практические занятия, семинары	Лабораторные работы, практикумы			
1	2	3	4	5	6	7	8
Раздел 1. Основы квантовой механики							
Тема 1.1. Основные постулаты квантовой механики. Дуализм явлений микромира . Динамика одномерных квантовых систем	5	1	2	0	0	2	
Раздел 2. Электрические свойства твердых тел							
Тема 2.1. Элементы физической статистики. Модель свободных электронов	9	1	4	0	0	4	Тестирование
Тема 2.2. Зонная теория твердых тел	7	1	2	0	0	4	Тестирование
Тема 2.3. Термоэлектрические явления	5	1	2	0	0	2	
Раздел 3. Структура и дефекты в кристаллах							
Тема 3.1. Геометрия совершенных кристаллов	5	1	2	0	0	2	Тестирование
Тема 3.2. Взаимодействие атомов	5	1	2	0	0	2	Тестирование

Название разделов и тем	Всего	Виды учебных занятий					Форма текущего контроля знаний
		Аудиторные занятия			Занятия в интерактивной форме	Самостоятельная работа	
		Лекции	Практические занятия, семинары	Лабораторные работы, практикумы			
1	2	3	4	5	6	7	8
в твердых телах							
Тема 3.3. Точечные дефекты кристаллической решетки	5	1	2	0	0	2	Тестирование
Тема 3.4. Радиационные дефекты и электропроводность металлов	5	1	2	0	0	2	
Тема 3.5. Дислокации	5	1	2	0	0	2	
Тема 3.6. Макроскопические дефекты	5	1	2	0	0	2	
Раздел 4. Механические и тепловые свойства твердых тел							
Тема 4.1. Упругие свойства твердых тел	5	1	2	0	0	2	
Тема 4.2. Пластичность и твердость	4	1	1	0	0	2	
Тема 4.3. Колебания атомов кристаллической решетки. Тепловые свойства твердых тел.	9	1	2	0	0	6	

Название разделов и тем	Всего	Виды учебных занятий					Форма текущего контроля знаний
		Аудиторные занятия			Занятия в интерактивной форме	Самостоятельная работа	
		Лекции	Практические занятия, семинары	Лабораторные работы, практикумы			
1	2	3	4	5	6	7	8
Тема 4.4. Диффузия в твердых телах	3	0	1	0	0	2	Тестирование
Раздел 5. Сверхпроводимость. Магнитные свойства твердых тел.							
Тема 5.1. Свойства сверхпроводников. Теория сверхпроводников 1-го и 2-го рода.	7	1	2	0	0	4	Тестирование
Тема 5.2. Высокотемпературная сверхпроводимость. Диа- и парамагнетизм.	7	1	2	0	0	4	
Тема 5.3. Ферромагнетизм. Магнитомеханические явления и магнитные резонансы.	7	1	2	0	0	4	Тестирование
Раздел 6. Оптические свойства твердых тел							
Тема 6.1. Поглощение света. Рекомбинационное излучение.	10	2	2	0	0	6	
Итого подлежит изучению	108	18	36	0	0	54	

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел 1. Основы квантовой механики

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

Тема 1.1. Основные постулаты квантовой механики. Дуализм явлений микромира. Динамика одномерных квантовых систем

Основные постулаты квантовой теории. Принцип суперпозиции. Дискретные свойства волн, волновые свойства частиц. Операторное представление динамических переменных в квантовой теории. Стационарное уравнение Шредингера. Принцип неопределенности Гейзенберга. Граничные условия для уравнения Шредингера частицы в квантовой яме. Спектр энергии в квантовой яме. Отражение и прохождение частиц через потенциальные барьеры. Туннельный эффект. Гармонический осциллятор.

Раздел 2. Электрические свойства твердых тел

Тема 2.1. Элементы физической статистики. Модель свободных электронов

Термодинамический способ описания коллектива частиц. Термодинамические потенциалы. Химический потенциал. Статистический способ описания коллектива частиц. Полная функция распределения. Плотность состояний. Вырожденные и невырожденные коллективы частиц. Квантование фазового пространства и плотность состояний фермионов. Критерий невырожденности газа свободных электронов. Распределение Максвелла-Больцмана. Полная функция распределения частиц невырожденного электронного газа. Распределение Ферми-Дирака. Энергия Ферми. Полная функция распределения вырожденного газа электронов. Функция распределения для вырожденного газа бозонов. Температурная зависимость энергии Ферми. Среднее значение энергии вырожденного электронного газа. Обобществление электронов в кристалле. Классическая электронная теория Друде-Лорентца. Вывод закона Ома и выражения для удельной электропроводности. Влияние вырожденности электронного газа. Зависимость подвижности электронов в металлах от температуры. Электропроводность чистых металлов. Достоинства и недостатки модели свободных электронов. Необходимость учета влияния структуры на электрические свойства кристаллов.

Тема 2.2. Зонная теория твердых тел

Уравнение Шредингера для кристалла. Понятие об адиабатическом приближении, валентной аппроксимации и одноэлектронном приближении. Самосогласованное поле. Периодичность кристалла и функции Блоха. Волновой вектор свободного электрона и электрона в периодическом поле кристалла. Понятие о квазиимпульсе. Зоны Бриллюэна. Дискретность волновых векторов. Энергетические зоны. Поверхность Ферми для свободных электронов и для электронов в кристалле. Модель Кронига-Пенни. Влияние степени связи электрона на закон дисперсии $E(k)$. Разрешенные и запрещенные зоны. Эффективная масса электрона в кристалле. Понятие о дырках. Заполнение энергетических зон. Проводники, диэлектрики и полупроводники. Поверхностные состояния. Уровни Тамма. Энергетические уровни примесных атомов и дефектов. Доноры и акцепторы. Электропроводность металлических сплавов. Температурная зависимость проводимости.

Тема 2.3. Термоэлектрические явления

Взаимосвязь тепловых и электрических процессов. Возникновение поля в проводнике при наличии градиента температуры. Диффузионный поток, увлечение фотонами, роль температурной

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

зависимости энергии Ферми. Абсолютная термоэдс. Контакт разнородных металлов. Эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона.

Раздел 3. Структура и дефекты в кристаллах

Тема 3.1. Геометрия совершенных кристаллов

Понятие о кристаллах, кристаллической структуре и элементарной ячейке. Примитивные ячейки. Вектор трансляции. Базис ячейки. Энергетический критерий устойчивости структуры. Гексагональная плотноупакованная структура. Простая кубическая структура. Кубическая гранецентрированная и кубическая объёмцентрированная структуры. Структуры алмаза, сфалерита ZnS. Структура металлов. Трансляционная симметрия. Кристалло-графические системы координат – сингонии. Правила кристаллографической установки. Решетки Браве. Кристаллографические символы узлов, плоскостей и прямых. Индексы Миллера. Определение углов и межплоскостных расстояний через индексы Миллера. Об-ратная решетка. Векторы обратной решетки. Углы между векторами обратной решетки. Объём ячейки прямой и обратной решетки. Методы определения атомной структуры твердых тел: рентгено–, электроно– и нейтронография. Области применения и возможности каждого из дифракционных методов.

Тема 3.2. Взаимодействие атомов в твердых телах

Природа сил межатомного взаимодействия. Понятие о потенциале ионизации, энергии сродства к электрону и электроотрицательности атомов. Основные типы химической связи: металлическая, валентная и ионная. Понятие о ионности соединения. Понятие о направленности связей. Силы Ван-дер-Ваальса. Молекулярные кристаллы. Механизмы дисперсионного, ориентационного и индукционного взаимодействия. Энергия каждого вида взаимодействия. Энергия связи молекулярных кристаллов. Потенциал Леннарда–Джонсона, структурные суммы. Равновесное расстояние и минимальная энергия взаимодействия. Ионная связь. Потенциал взаимодействия. Постоянные Маделунга. Формула Борна—Ланде. Определение параметров потенциала из измерений сжимаемости кристалла. Ковалентная связь. Понятие об обменном взаимодействии. Энергия связи. Направленность и насыщенность связей. Металлическая связь. Механизм формирования. Энергия связи металлических кристаллов. Понятие о водородной связи. Сопоставление различных видов связи и их суперпозиция в реальных соединениях.

Тема 3.3. 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 3.4. Радиационные дефекты и электропроводность металлов

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

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 3.5. 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 3.6. 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.

Раздел 4. Механические и тепловые свойства твердых тел

Тема 4.1. 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.

Тема 4.2. 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

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

зарождения микротрещин. Временная прочность твердых тел. Зависимость временной прочности от напряжения и температуры. Зависимость энергии активации от напряжения.

Тема 4.3. Колебания атомов кристаллической решетки. Тепловые свойства твердых тел.

Гармонический осциллятор. Волны в упругой среде. Фазовая и групповая скорость волн. Одномерные колебания однородной струны. Упругие волны в трехмерной сплошной среде. Колебания однородной цепочки атомов. Дисперсионные соотношения. Фазовая и групповая скорости волн в атомной цепочке. Дискретность значений волнового числа. Нормальные координаты и суперпозиция гармонических осцилляторов. Колебания одномерной цепочки с базисом. Оптическая и акустическая ветви дисперсионных кривых. Область запрещенных частот. Спектр нормальных колебаний трехмерной решетки. Дисперсионные кривые для решеток с базисом. Плотность нормальных колебаний. Частота и температура Дебая. Понятие о фононах, их свойства и характеристики. Статистика Бозе – Эйнштейна. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга – Пти. Теория теплоемкости Эйнштейна. Характеристическая температура Эйнштейна. Теория теплоемкости Дебая. Теплоемкость электронного газа в металлах. Тепловое расширение твердых тел. Учет ангармоничности колебаний. Коэффициент теплового расширения тел. Теплопроводность твердых тел. Закон Фурье для изотропных и анизотропных твердых тел. Решеточная теплопроводность. Роль ангармоничности колебаний. Зависимость коэффициента решеточной теплопроводности от температуры. Теплопроводность металлов. Учет вклада свободных электронов. Закон Видемана – Франца. Теория Друде - Лорентца. Теория Зоммерфельда. Зависимость электронной теплопроводности от температуры. Сопоставление теплопроводности диэлектриков и металлов.

Тема 4.4. 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.

Раздел 5. Сверхпроводимость. Магнитные свойства твердых тел.

Тема 5.1. Свойства сверхпроводников. Теория сверхпроводников 1-го и 2-го рода.

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. 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 энергетической щели.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

Квантование магнитного потока. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона.

Тема 5.2. Высокотемпературная сверхпроводимость. Диа- и парамагнетизм.

Высокотемпературная сверхпроводимость. 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 5.3. Ферромагнетизм. Магнитомеханические явления и магнитные резонансы.

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. 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.

Раздел 6. Оптические свойства твердых тел

Тема 6.1. Поглощение света. Рекомбинационное излучение.

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. Экси-тонная рекомбинация.

6. ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ И СЕМИНАРСКИХ ЗАНЯТИЙ

Раздел 1. Основы квантовой механики

Тема 1.1. Основные постулаты квантовой механики. Дуализм явлений микромира. Динамика одномерных квантовых систем

Вопросы к теме:

Очная форма

Дискретные свойства волн, волновые свойства частиц. Стационарное уравнение Шредингера. Принцип неопределенности Гейзенберга. Граничные условия для уравнения Шредингера частицы в квантовой яме. Спектр энергии в квантовой яме. Отражение и прохождение частиц через потенциальные барьеры. Решение задач.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

Раздел 2. Электрические свойства твердых тел

Тема 2.1. Элементы физической статистики. Модель свободных электронов

Вопросы к теме:

Очная форма

Термодинамические потенциалы. Химический потенциал. Статистический способ описания коллектива частиц. Полная функция распределения. Плотность состояний. Вырожденные и невырожденные коллективы частиц. Квантование фазового пространства и плотность состояний фермионов. Критерий невырожденности газа свободных электронов. Распределение Максвелла-Больцмана. Полная функция распределения частиц невырожденного электронного газа. Распределение Ферми-Дирака. Энергия Ферми. Полная функция распределения вырожденного газа электронов. Функция распределения для вырожденного газа бозонов. Температурная зависимость энергии Ферми. Среднее значение энергии вырожденного электронного газа. Решение задач.

Обобществление электронов в кристалле. Классическая электронная теория Друде-Лорентца. Вывод закона Ома и выражения для удельной электропроводности. Влияние вырожденности электронного газа. Зависимость подвижности электронов в металлах от температуры. Электропроводность чистых металлов.

Достоинства и недостатки модели свободных электронов. Необходимость учета влияния структуры на электрические свойства кристаллов. Решение задач.

Тема 2.2. Зонная теория твердых тел

Вопросы к теме:

Очная форма

Уравнение Шредингера для кристалла. Понятие об адиабатическом приближении, валентной аппроксимации и одноэлектронном приближении. Самосогласованное поле. Периодичность кристалла и функции Блоха. Волновой вектор свободного электрона и электрона в периодическом поле кристалла. Понятие о квазиимпульсе. Зоны Бриллюэна. Дискретность волновых векторов. Энергетические зоны. Поверхность Ферми для свободных электронов и для электронов в кристалле. Модель Кронига-Пенни. Влияние степени связи электрона на закон дисперсии $E(k)$. Разрешенные и запрещенные зоны. Эффективная масса электрона в кристалле. Понятие о дырках. Заполнение энергетических зон. Проводники, диэлектрики и полупроводники. Поверхностные состояния. Уровни Тамма. Энергетические уровни примесных атомов и дефектов. Доноры и акцепторы. Электропроводность металлических сплавов. Температурная зависимость проводимости. Решение задач.

Тема 2.3. Термоэлектрические явления

Вопросы к теме:

Очная форма

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

Взаимосвязь тепловых и электрических процессов.

Возникновение поля в проводнике при наличии градиента температуры. Диффузионный поток, увлечение фотонами, роль температурной зависимости энергии Ферми. Абсолютная термоэдс. Контакт разнородных металлов. Эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона. Решение задач.

Раздел 3. Структура и дефекты в кристаллах

Тема 3.1. Геометрия совершенных кристаллов

Вопросы к теме:

Очная форма

Понятие о кристаллах, кристаллической структуре и элементарной ячейке. Примитивные ячейки. Вектор трансляции. Базис ячейки. Энергетический критерий устойчивости структуры. Гексагональная плотноупакованная структура. Простая кубическая структура. Кубическая гранецентрированная и кубическая объёмцентрированная структуры. Структуры алмаза, сфалерита ZnS. Структура металлов. Трансляционная симметрия. Кристаллографические системы координат – сингонии. Правила кристаллографической установки. Решетки Браве. Кристаллографические символы узлов, плоскостей и прямых. Индексы Миллера. Определение углов и межплоскостных расстояний через индексы Миллера. Обратная решетка. Векторы обратной решетки. Углы между векторами обратной решетки. Объем ячейки прямой и обратной решетки. Методы определения атомной структуры твердых тел: рентгено-, электроно- и нейтронография. Области применения и возможности каждого из дифракционных методов. Решение задач.

Тема 3.2. Взаимодействие атомов в твердых телах

Вопросы к теме:

Очная форма

Природа сил межатомного взаимодействия. Понятие о потенциале ионизации, энергии сродства к электрону и электроотрицательности атомов. Основные типы химической связи: металлическая, валентная и ионная. Понятие о ионности соединения. Понятие о направленности связей. Силы Ван-дер-Ваальса. Молекулярные кристаллы. Механизмы дисперсионного, ориентационного и индукционного взаимодействия. Энергия каждого вида взаимодействия. Энергия связи молекулярных кристаллов. Потенциал Леннарда–Джонсона, структурные суммы. Равновесное расстояние и минимальная энергия взаимодействия. Ионная связь. Потенциал взаимодействия. Постоянные Маделунга. Фор-мула Борна—Ланде. Определение параметров потенциала из измерений сжимаемости кристалла. Ковалентная связь. Понятие об обменном взаимодействии. Энергия связи. Направленность и насыщенность связей. Металлическая связь. Механизм формирования. Энергия связи металлических кристаллов. Понятие о водородной связи. Сопоставление различных видов связи и их суперпозиция в реальных соединениях. Решение задач.

Тема 3.3. Точечные дефекты кристаллической решетки

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

Вопросы к теме:

Очная форма

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 3.4. Радиационные дефекты и электропроводность металлов

Вопросы к теме:

Очная форма

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.

Тема 3.5. Дислокации

Вопросы к теме:

Очная форма

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 3.6. Макроскопические дефекты

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

Вопросы к теме:

Очная форма

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.

Раздел 4. Механические и тепловые свойства твердых тел

Тема 4.1. Упругие свойства твердых тел

Вопросы к теме:

Очная форма

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 4.2. Пластичность и твердость

Вопросы к теме:

Очная форма

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 4.3. Колебания атомов кристаллической решетки. Тепловые свойства твердых тел.

Вопросы к теме:

Очная форма

Гармонический осциллятор. Волны в упругой среде. Фазовая и групповая скорость волн.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

Одномерные колебания однородной струны. Упругие волны в трехмерной сплошной среде. Колебания однородной цепочки атомов. Дисперсионные соотношения. Фазовая и групповая скорости волн в атомной цепочке. Дискретность значений волнового числа. Нормальные координаты и суперпозиция гармонических осцилляторов. Колебания одномерной цепочки с базисом. Оптическая и акустическая ветви дисперсионных кривых. Область запрещенных частот. Спектр нормальных колебаний трехмерной решетки. Дисперсионные кривые для решеток с базисом. Плотность нормальных колебаний. Частота и температура Дебая. Понятие о фононах, их свойства и характеристики. Статистика Бозе – Эйнштейна. Решение задач.

Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга – Пти. Теория теплоемкости Эйнштейна. Характеристическая температура Эйнштейна. Теория теплоемкости Дебая. Теплоемкость электронного газа в металлах.

Тепловое расширение твердых тел. Учет ангармоничности колебаний. Коэффициент теплового расширения тел. Теплопроводность твердых тел. Закон Фурье для изотропных и анизотропных твердых тел. Решеточная теплопроводность. Роль ангармоничности колебаний. Зависимость коэффициента решеточной теплопроводности от температуры. Теплопроводность металлов. Учет вклада свободных электронов. Закон Видемана – Франца. Теория Друде - Лорентца. Теория Зоммерфельда. Зависимость электронной теплопроводности от температуры. Сопоставление теплопроводности диэлектриков и металлов. Решение задач.

Тема 4.4. Диффузия в твердых телах

Вопросы к теме:

Очная форма

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. Решение задач.

Раздел 5. Сверхпроводимость. Магнитные свойства твердых тел.

Тема 5.1. Свойства сверхпроводников. Теория сверхпроводников 1-го и 2-го рода.

Вопросы к теме:

Очная форма

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.

Термодинамическое объяснение скачка теплоемкости в сверхпроводниках I-го рода. Двухжидкостная модель Гортера и Казимира. Температурная зависимость концентрации

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

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

Тема 5.2. Высокотемпературная сверхпроводимость. Диа- и парамагнетизм.

Вопросы к теме:

Очная форма

Высокотемпературная сверхпроводимость. Решение задач.

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 5.3. Ферромагнетизм. Магнитомеханические явления и магнитные резонансы.

Вопросы к теме:

Очная форма

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.

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.

Раздел 6. Оптические свойства твердых тел

Тема 6.1. Поглощение света. Рекомбинационное излучение.

Вопросы к теме:

Очная форма

Механизмы поглощения света. Собственное поглощение. Экситонное поглощение. Поглощение свободными носителями. Примесное и решеточное поглощение. Решение задач.

Рекомбинационное излучение. Основные механизмы рекомбинации. Межзонная рекомбинация.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

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, ПРАКТИКУМЫ

Данный вид работы не предусмотрен УП.

8. ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ, КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ, РЕФЕРАТОВ

Данный вид работы не предусмотрен УП.

9. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

1. Уравнение Шредингера для кристалла. Понятие об адиабатическом приближении, валентной аппроксимации и одноэлектронном приближении. Самосогласованное поле. Периодичность кристалла и функции Блоха.
2. Волновой вектор свободного электрона и электрона в периодическом поле кристалла. Понятие о квазиимпульсе.
3. Распределение Максвелла-Больцмана. Полная функция распределения частиц невырожденного электронного газа.
4. Распределение Ферми-Дирака. Энергия Ферми. Полная функция распределения вырожденного газа электронов.
5. Классическая электронная теория Друде-Лорентца. Вывод закона Ома и выражения для удельной электропроводности. Влияние вырожденности электронного газа.
6. Зависимость подвижности электронов в металлах от температуры. Электропроводность чистых металлов.
7. Зоны Бриллюэна. Дискретность волновых векторов. Энергетические зоны.
8. Поверхность Ферми для свободных электронов и для электронов в кристалле.
9. Модель Кронига-Пенни. Влияние степени связи электрона на закон дисперсии $E(k)$. Разрешенные и запрещенные зоны.
10. Эффективная масса электрона в кристалле. Понятие о дырках.
11. Заполнение энергетических зон. Проводники, диэлектрики и полупроводники.
12. Поверхностные состояния. Уровни Тамма.
13. Энергетические уровни примесных атомов и дефектов. Доноры и акцепторы.
14. Электропроводность металлических сплавов.
15. Температурная зависимость проводимости.
16. Кристаллографические системы координат – сингонии. Решетки Браве.
17. Кристаллографические символы узлов, плоскостей и прямых. Индексы Миллера.
18. Обратная решетка. Векторы обратной решетки. Углы между векторами обратной решетки. Объем ячейки прямой и обратной решетки.
19. Методы определения атомной структуры твердых тел.
20. Природа сил межатомного взаимодействия. Потенциал ионизации, энергия сродства к электрону

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

и электроотрицательность атомов.

21. Основные типы химической связи: металлическая, валентная и ионная.
22. Силы Ван-дер-Ваальса. Молекулярные кристаллы. Энергия связи молекулярных кристаллов. Потенциал Леннарда–Джонсона, структурные суммы. Равновесное расстояние и минимальная энергия взаимодействия.
23. Ионная связь. Потенциал взаимодействия. Постоянные Маделунга. Формула Борна—Ланде. Определение параметров потенциала из измерений сжимаемости кристалла.
24. Ковалентная связь. Понятие об обменном взаимодействии. Энергия связи. Направленность и насыщенность связей.
25. Металлическая связь. Механизм формирования. Энергия связи металлических кристаллов. Понятие о водородной связи.
26. Точечные, линейные, поверхностные и объёмные дефекты. Тепловые, стехиометрические и радиационные дефекты. Дефекты по Шоттки и по Френкелю.
27. Точечные дефекты тепловой природы. Термический механизм образования пар Френкеля и дефектов Шоттки. Концентрация равновесных дефектов. Учет термической энтропии. Энергия образования дефектов.
28. Точечные радиационные дефекты. Ударный механизм образования пар Френкеля. Пороговая энергия смещения. Минимальная энергия частиц излучения, создающего радиационные дефекты. Модель Кинчина-Пиза и её модификации.
29. Понятие о дислокациях. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Линия дислокации. Плотность дислокаций.
30. Узлы дислокаций. Дилатация. Смещенные и криволинейные дислокации. Источники дислокаций. Движение дислокаций и пластичность. Механизмы движения дислокаций – переползание и скольжение. Механизм Франка – Рида. Поле напряжений дислокации. Энергия дислокации.
31. Деформация и напряжение. Истинные и условные деформации и напряжения. Напряжения сжатия /растяжения/ и сдвига. Тензор напряжений. Деформации сжатия и сдвига. Описание объёмной деформации.
32. Диаграмма деформации. Упругость. Закон Гука для растяжения и для сдвига. Модуль Юнга и модуль сдвига. Коэффициент Пуассона. Обобщенный закон Гука.
33. Пластическая деформация. Скольжение и двойникование. Явление упрочнения /наклеп/. Отдых и рекристаллизация. Дислокационная теория пластичности.
34. Хрупкое и пластическое разрушение. Теоретическая оценка прочности твердых тел. Модель микротрещин Гриффитса. Модели зарождения микротрещин.
35. Гармонический осциллятор. Волны в упругой среде. Фазовая и групповая скорость волн.
36. Одномерные колебания однородной струны. Упругие волны в трехмерной сплошной среде.
37. Колебания однородной цепочки атомов. Дисперсионные соотношения. Фазовая и групповая скорости волн в атомной цепочке. Дискретность значений волнового числа. Нормальные координаты и суперпозиция гармонических осцилляторов.
38. Колебания одномерной цепочки с базисом. Оптическая и акустическая ветви дисперсионных кривых. Область запрещенных частот.
39. Спектр нормальных колебаний трехмерной решетки. Дисперсионные кривые для решеток с базисом. Плотность нормальных колебаний. Частота и температура Дебая. Понятие о фононах, их свойства и характеристики. Статистика Бозе – Эйнштейна.
40. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга – Пти. Теория теплоемкости Эйнштейна. Характеристическая температура Эйнштейна.

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

41. Теория теплоемкости Дебая. Теплоемкость электронного газа в металлах.
42. Тепловое расширение твердых тел. Учет ангармоничности колебаний. Коэффициент теплового расширения тел.
43. Теория диффузии Френкеля. Температурная зависимость коэффициента диффузии. 1-й и 2-й законы Фика.
44. Диффузия из постоянного поверхностного источника. Диффузия из ограниченного поверхностного источника.
45. Понятие о сверхпроводимости. Электрическое сопротивление сверхпроводников. Эффект Мейсснера-Оксенфельда.
46. Критическое магнитное поле. Сверхпроводники первого и второго рода. Фазы Мейсснера и Шубникова.
47. Теплоемкость сверхпроводников. Поглощение излучения сверхпроводниками.
48. Двухжидкостная модель. Температурная зависимость концентрации сверхпроводящих носителей.
49. Электромагнитные свойства сверхпроводников. Теория Лондонов. Глубина проникновения поля в сверхпроводник.
50. Сверхпроводники второго рода в магнитных полях. Теория Гинзбурга-Ландау.
51. Притяжение электронов за счет их взаимодействия с решеткой. Куперовские пары. Оценка размеров пары.
52. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Возникновение энергетической щели. Квантование магнитного потока.
53. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость.
54. Магнитное поле в веществе. Классификация магнетиков. Природа диамагнетизма.
55. Парамагнетизм. Функция Ланжевена. Учет пространственного квантования. Закон Кюри для парамагнетиков.
56. Спиновая природа ферромагнетизма. Опыты Эйнштейна и де-Гааза и опыт Барнетта. Молекулярное поле Вейсса. Закон Кюри-Вейсса.
57. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм. Доменная структура ферромагнетиков. Кривая намагничивания. Петля гистерезиса.
58. Природа ядерного магнитного резонанса. Характеристика линий поглощения. Химический сдвиг. Сдвиг Найта. Применение ЯМР для исследования металлов.
59. Электронный парамагнитный резонанс и его применение. Ферромагнитный резонанс.
60. Взаимодействие света с твердыми телами. Комплексный показатель преломления.
61. Механизмы поглощения света.
62. Рекомбинационное излучение. Основные механизмы рекомбинации.
63. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через локализованные уровни.

10. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩИХСЯ

Содержание, требования, условия и порядок организации самостоятельной работы обучающихся с учетом формы обучения определяются в соответствии с «Положением об организации самостоятельной работы обучающихся», утвержденным Ученым советом УлГУ (протокол №8/268 от 26.03.2019г.).

По каждой форме обучения: очная/заочная/очно-заочная заполняется отдельная таблица

Форма обучения: очная

Название разделов и тем	Вид самостоятельной работы (проработка учебного материала, решение задач, реферат, доклад, контрольная работа, подготовка к сдаче зачета, экзамена и др).	Объем в часах	Форма контроля (проверка решения задач, реферата и др.)
Раздел 1. Основы квантовой механики			
Тема 1.1. Основные постулаты квантовой механики. Дуализм явлений микромира. Динамика одномерных квантовых систем	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	2	Вопросы к экзамену
Раздел 2. Электрические свойства твердых тел			
Тема 2.1. Элементы физической статистики. Модель свободных электронов	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	4	Вопросы к экзамену, Тестирование
Тема 2.2. Зонная теория твердых тел	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	4	Вопросы к экзамену, Тестирование
Тема 2.3. Термоэлектрические явления	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	2	Вопросы к экзамену
Раздел 3. Структура и дефекты в кристаллах			
Тема 3.1. Геометрия совершенных кристаллов	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	2	Вопросы к экзамену, Тестирование
Тема 3.2. Взаимодействие атомов в твердых телах	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	2	Вопросы к экзамену, Тестирование
Тема 3.3. Точечные дефекты кристаллической решетки	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	2	Вопросы к экзамену, Тестирование
Тема 3.4. Радиационные	Проработка учебного материала с	2	Вопросы к экзамену

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

Название разделов и тем	Вид самостоятельной работы (проработка учебного материала, решение задач, реферат, доклад, контрольная работа, подготовка к сдаче зачета, экзамена и др).	Объем в часах	Форма контроля (проверка решения задач, реферата и др.)
дефекты и электропроводность металлов	использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.		
Тема 3.5. Дислокации	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	2	Вопросы к экзамену
Тема 3.6. Макроскопические дефекты	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	2	
Раздел 4. Механические и тепловые свойства твердых тел			
Тема 4.1. Упругие свойства твердых тел	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	2	Вопросы к экзамену
Тема 4.2. Пластичность и твердость	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	2	Вопросы к экзамену
Тема 4.3. Колебания атомов кристаллической решетки. Тепловые свойства твердых тел.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	6	Вопросы к экзамену
Тема 4.4. Диффузия в твердых телах	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	2	Вопросы к экзамену, Тестирование
Раздел 5. Сверхпроводимость. Магнитные свойства твердых тел.			
Тема 5.1. Свойства сверхпроводников. Теория сверхпроводников 1-го и 2-го рода.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	4	Вопросы к экзамену, Тестирование
Тема 5.2. Высокотемпературная сверхпроводимость. Диа- и парамагнетизм.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и	4	Вопросы к экзамену

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

Название разделов и тем	Вид самостоятельной работы (проработка учебного материала, решение задач, реферат, доклад, контрольная работа, подготовка к сдаче зачета, экзамена и др).	Объем в часах	Форма контроля (проверка решения задач, реферата и др.)
	информационного обеспечения дисциплины.		
Тема 5.3. Ферромагнетизм. Магнитомеханические явления и магнитные резонансы.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	4	Вопросы к экзамену, Тестирование
Раздел 6. Оптические свойства твердых тел			
Тема 6.1. Поглощение света. Рекомбинационное излучение.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины.	6	Вопросы к экзамену

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) Список рекомендуемой литературы

основная

1. Сарина, М. П. Физика твердого тела : учебное пособие / М. П. Сарина ; М. П. Сарина. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. - 107 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - Текст. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 05.02.2025 (автопродлонгация). - электронный. - Электрон. дан. (1 файл). - URL: <http://www.iprbookshop.ru/91466.html>. - Режим доступа: ЭБС IPR BOOKS; для авторизир. пользователей. - ISBN 978-5-7782-3319-5. / .— ISBN 0_151800

2. Бажанов В. Л. Механика деформируемого твердого тела : учебное пособие / В. Л. Бажанов. - Москва : Юрайт, 2024. - 178 с. - (Высшее образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/539465>. - Режим доступа: Электронно-библиотечная система Юрайт, для авториз. пользователей. - ISBN 978-5-534-04104-0 : 819.00. / .— ISBN 0_526969

3. Физика конденсированного состояния : учебное пособие / Т. А. Колесникова, О. Л. Никонович, О. В. Горева [и др.] ; Колесникова Т. А., Никонович О. Л., Горева О. В., Барышников В. И., Григорьева Ю. А. - Иркутск : ИрГУПС, 2017. - 87 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ИрГУПС - Физика. - <https://e.lanbook.com/book/134688>. - <https://e.lanbook.com/img/cover/book/134688.jpg>. - Режим доступа: ЭБС "Лань"; для авторизир. пользователей. / .— ISBN 0_373680

дополнительная

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

1. Делоне Н.Б. Основы физики конденсированного вещества : учебное пособие / Н.Б. Делоне ; Делоне Н.Б. - Москва : Физматлит, 2011. - . - URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922112611.html>. - Режим доступа: ЭБС "Консультант студента"; по подписке. - ISBN 978-5-9221-1261-1. / .— ISBN 0_243344

2. Гольдаде, В. А. Физика конденсированного состояния / В. А. Гольдаде, Л. С. Пинчук ; В. А. Гольдаде, Л. С. Пинчук. - Минск : Белорусская наука, 2009. - 648 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - Текст. - Весь срок охраны авторского права. - электронный. - Электрон. дан. (1 файл). - URL: <http://www.iprbookshop.ru/11505.html>. - Режим доступа: ЭБС IPR BOOKS; для авторизир. пользователей. - ISBN 2227-8397. / .— ISBN 0_120906

3. Юрьев, В. А. Введение в теорию конденсированных сред : учебное пособие / В. А. Юрьев, В. В. Ожерельев, Е. Н. Федорова ; В. А. Юрьев, В. В. Ожерельев, Е. Н. Федорова. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2018. - 206 с. - Книга находится в премиум-версии ЭБС IPR BOOKS. - Текст. - Гарантированный срок размещения в ЭБС до 01.03.2025 (автопродлонгация). - электронный. - Электрон. дан. (1 файл). - URL: <http://www.iprbookshop.ru/93251.html>. - Режим доступа: ЭБС IPR BOOKS; для авторизир. пользователей. - ISBN 978-5-7731-0703-3. / .— ISBN 0_153124

учебно-методическая

1. Семенцов Д. И. Методические указания для самостоятельной работы студентов по дисциплине «Физика конденсированных сред» для студентов бакалавриата направлений подготовки 03.03.03 "Радиофизика", 28.03.02 "Наноинженерия" / Д. И. Семенцов ; УлГУ, ИФФВТ. - 2022. - 46 с. - Неопубликованный ресурс. - URL: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Download/MObject/14702>. - Режим доступа: ЭБС УлГУ. - Текст : электронный. / .— ISBN 0_504117.

б) Программное обеспечение

- Операционная система "Альт образование"
- Офисный пакет "Мой офис"

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, [2024]. – 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, [2024]. - URL: <https://uraйт.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, [2024]. – URL: <https://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

: электронный.

1.4. Консультант врача. Электронная медицинская библиотека : база данных : сайт / ООО Высшая школа организации и управления здравоохранением-Комплексный медицинский консалтинг. – Москва, [2024]. – URL: <https://www.rosmedlib.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.5. Большая медицинская библиотека : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Букап. – Томск, [2024]. – 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, [2024]. – URL: <https://e.lanbook.com>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

1.7. ЭБС **Znanium.com** : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Знаниум. - Москва, [2024]. - 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, [2024].

3. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : сайт / ООО «Научная Электронная Библиотека». – Москва, [2024]. – URL: <http://elibrary.ru>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный

4. Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» : электронная библиотека : сайт / ФГБУ РГБ. – Москва, [2024]. – URL: <https://нэб.рф>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

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.

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 (*выбрать необходимое*)

Аудитории укомплектованы специализированной мебелью, учебной доской. Аудитории для

Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет Ф – Рабочая программа дисциплины	Форма	
--	-------	--

проведения лекций оборудованы мультимедийным оборудованием для представления информации большой аудитории. Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа к электронной информационно-образовательной среде, электронно-библиотечной системе. Перечень оборудования, используемого в учебном процессе:

- Мультимедийное оборудование: компьютер/ноутбук, экран, проектор/телевизор
- Компьютерная техника

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		Семенцов Дмитрий Игоревич
	Должность, ученая степень, звание	ФИО

