

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

УТВЕРЖДЕНО
 решением Ученого совета ИФФВТ
 от 16 июня 2020 г. протокол № 11/02-19-10
 Председатель _____ (Хусаинов А.Ш.)
(подпись, расшифровка подписи)



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплина:	«Физика конденсированных сред»
Факультет	Инженерно-физический факультет высоких технологий (ИФФВТ)
Кафедра	Радиофизики и электроники
Курс	3

Направление **03.03.03 «Радиофизика» (бакалавриат)**
(код направления, полное наименование)

Направленность (профиль) **Твердотельная электроника и наноэлектроника**
полное наименование

Форма обучения: **очная**

Дата введения в учебный процесс УлГУ: « 01 » _____ сентября _____ 2020 г.

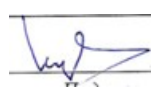
Программа актуализирована на заседании кафедры: протокол № _____ от _____ 20 ____ г.

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 радиофизики и электроники
 _____ / Гурин Н.Т./ <i>Подпись</i> ФИО « <u>09</u> » _____ <u>06</u> _____ 2020 г.

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

ЛИСТ ИЗМЕНЕНИЙ

В рабочую программу дисциплины «Физика конденсированного состояния вещества»

Направление (специальность): **03.03.03 Радиофизика (бакалавриат)**

Направленность (профиль/специализация): **Наноэлектроника**

Форма обучения: **очная**

№ п/п	Содержание изменения или ссылка на прилагаемый текст изменения	ФИО заведующего кафедрой, реализующей дисциплину/ выпускающей кафедрой	Подпись	Дата

Министерство науки и высшего образования РФ 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 вещества» является дисциплиной по выбору и относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 дисциплин цикла подготовки бакалавров по направлению **28.03.02. «Наноинженерия»**.

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

- Ознакомительная практика
- Теория колебаний
- Метрология, стандартизация и сертификация
- Технологическая (проектно-технологическая) практика
- Материаловедение наноматериалов и наносистем
- Нанометрология

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:

- Физико-химические основы нанотехнологий
- Высоковакуумные технологические процессы в наноинженерии
- Физика активных элементов
- Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы)
- Микро- и наноэлектроника
- Квантовая электроника
- Интегральная и волоконная оптика
- Оптоэлектронные устройства
- Моделирование микро- и наносистем

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

- СВЧ полупроводниковые приборы и методы автоматизированного контроля электропараметров СВЧ-модулей
 - Физические основы технологии полупроводниковых приборов и интегральных микросхем
 - Композиционные материалы. Металломатричные, с полимерной матрицей.
 - Электродинамика СВЧ
 - Технологические системы в нанотехнологиях
 - Конструкции гибридных интегральных схем и микросборок
- а также для прохождения преддипломной практик, государственной итоговой аттестации.

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

Код и наименование реализуемой компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций
ПК-3 Использование методик комплексного анализа структуры и физико-химических свойств полупроводниковых наноструктур	Знать: принципы работы современной радиоэлектронной измерительной и испытательной аппаратуры и оборудования для проведения испытаний полупроводниковых наноструктур Уметь: проводить испытания полупроводниковых наноструктур с использованием современной техники электро- и радиоизмерений по существующим методикам Владеть: приемами и навыками эксплуатации современной радиоэлектронной и оптической аппаратуры и оборудования для испытаний полупроводниковых наноструктур

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего) – 8 ЗЕ

4.2. По видам учебной работы (в часах): 288

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения – очная)		
	Всего по плану	в т.ч. по семестрам	
		5	6
Контактная работа обучающихся с преподавателем	114/114	54/54	60/60
Аудиторные занятия:			
• Лекции (в т.ч. 0 ПрП)*	38/38	18/18	30/30
• практические и семинарские занятия (в т.ч. 0 ПрП)*	66/66	36/36	30/30
• лабораторные работы, прак-			

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

тикумы (в т.ч. 0 ПрП)*			
Самостоятельная работа	138/138	54/54	84/84
Форма текущего контроля знаний и контроля самостоятельной работы: тестирование, контр. работа, коллоквиум, реферат и др. (не менее 2 видов)	Тестирование Выполнение контрольных работ	Тестирование Выполнение контрольных работ	Тестирование Выполнение контрольных работ
Курсовая работа	-	-	-
Виды промежуточной аттестации (экзамен, зачет)	Зачет Экзамен (36)	Зачет	Экзамен (36)
Всего часов по дисциплине	288/288	108/108	180/180

* В случае необходимости использования в учебном процессе частично/исключительно дистанционных образовательных технологий в таблице через слеш указывается количество часов работы ППС с обучающимися для проведения занятий в дистанционном формате с применением электронного обучения.

*часы ПрП по дисциплине указываются в соответствии с УП, в случае, если дисциплиной предусмотрено выполнение отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью обучающихся.

4.3. Содержание дисциплины (модуля). Распределение часов по темам и 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			
Раздел 1. Основы квантовой механики							
Тема 1. Основные постулаты квантовой механики. Дуализм явлений микромира. Динамика одномерных квантовых систем	12	2	4			6	Контрольная работа, тестирование
Раздел 2. Электрические свойства твердых тел.							
Тема 2. Элементы физической статистики.	17	1	4	4		8	Контрольная работа, тестирование
Тема 3. Модель свободных электронов.	18	2	4	4		8	Контрольная работа,

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

							тести- ро- вание
Тема 4. Зонная тео- рия твердых тел.	20	2	4	6		8	Кон- трольная работа, тести- ро- вание
Тема 5. Термозлек- трические явления.	17	1	4	4		8	Кон- трольная работа, тести- ро- вание
Раздел 3. Структура и дефекты в кристаллах.							
Тема 6. Геометрия совершенных кри- сталлов.	12	2	4			6	Кон- трольная работа, тести- ро- вание
Тема 7. Взаимодей- ствие атомов в твердых телах.	10	2	2			6	Кон- трольная работа, тести- ро- вание
Тема 8. Точечные дефекты.	9	1	2			6	Кон- трольная работа, тести- ро- вание
Тема 9. Радиацион- ные дефекты и электропровод- ность металлов.	7	1	2			4	Кон- трольная работа, тести- ро- вание
Тема 10. Дислока- ции.	12	2	4			6	Кон- трольная работа, тести- ро- вание
Тема 11. Макро- скопические де- фекты.	10	2	2			6	Кон- трольная работа, тести- ро- вание
Раздел 4. Механические и тепловые свойства твердых тел.							
Тема 12. Упругие свойства твердых тел.	12	2	4			6	Кон- трольная работа, тести- ро- вание

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

Тема 13. Пластичность и твердость.	10	2	2			6	Контрольная работа, тестирование
Тема 14. Колебания атомов кристаллической решетки.	16	4	4			8	Контрольная работа, тестирование
Тема 15. Тепловые свойства твердых тел.	16	4	4			8	Контрольная работа, тестирование
Тема 16. Диффузия в твердых телах.	10	2	2			6	Контрольная работа, тестирование
Раздел 5. Сверхпроводимость. Магнитные свойства твердых тел.							
Тема 17. Свойства сверхпроводников.	10	2	2			6	Контрольная работа, тестирование
Тема 18. Теория сверхпроводников 1-го и 2-го рода.	10	2	2			6	Контрольная работа, тестирование
Тема 19. Высокотемпературная сверхпроводимость.	10	2	2			6	Контрольная работа, тестирование
Тема 20. Диа- и парамагнетизм.	10	2	2			6	Контрольная работа, тестирование
Тема 21. Ферромагнетизм.	14	4	2			8	Контрольная работа, тестирование
Тема 22. Магнито-механические явления и магнитные	10	2	2			6	Контрольная работа,

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

резонансы.							тести- рование
Раздел 6. Оптические свойства твердых тел.							
Тема 23. Поглоще- ние света.	8	2	2			4	Кон- трольная работа, тестиро- вание
Тема 24. Рекомби- национное излуче- ние.	8	2	2			4	Кон- трольная работа, тестиро- вание
ИТОГО:	288	38/38	66/66			138	

5. СОДЕРЖАНИЕ КУРСА

Раздел 1. Основы квантовой механики

Тема 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. Элементы физической статистики.

Термодинамический способ описания коллектива частиц. Термодинамические потенциа-
лы. Химический потенциал. Статистический способ описания коллектива частиц. Полная
функция распределения. Плотность состояний. Вырожденные и невырожденные коллек-
тивы 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 вырож-
денного газа электронов. Функция распределения для вырожденного газа бозонов. Темпе-
ратурная зависимость энергии Ферми. Среднее значение энергии вырожденного элек-
тронного газа.

Тема 3. Модель свободных электронов.

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.

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

Тема 4. 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 5. Термоэлектрические явления.

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.

Раздел 3. Структура и дефекты в кристаллах.

Тема 6. Геометрия совершенных кристаллов.

Понятие о кристаллах, кристаллической структуре и элементарной ячейке. Прimitives 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. 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 7. 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.

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

Тема 8. 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 9. 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 10. 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 11 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 12. 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 Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		

Тема 13. 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 14. Колебания атомов кристаллической решетки.

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.

Тема 15. Тепловые свойства твердых тел.

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. Сопротивление теплопроводности диэлектриков и металлов.

Тема 16. 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 17. 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.

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

Тема 18. 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 энергетической щели. Квантование магнитного потока. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона.

Тема 19. Высокотемпературная сверхпроводимость.

Высокотемпературная сверхпроводимость.

Тема 20. 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 21. 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 22. 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.

Раздел 6. Оптические свойства твердых тел.

Тема 23. Поглощение света.

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

Тема 24. Рекомбинационное излучение.

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

Раздел 1. Основы квантовой механики

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

Тема 1. Основные постулаты квантовой механики. Дуализм явлений микромира. Динамика одномерных квантовых систем.

Занятия 1-2

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: 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.

Раздел 2. Электрические свойства твердых тел.

Тема 2. Элементы физической статистики.

Занятия 3-4

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: 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.

Тема 3. Модель свободных электронов.

Занятия 5-6

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: 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 4. Зонная теория твердых тел.

Занятия 7-8

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: 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.

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

Тема 5. Термоэлектрические явления.

Занятия 9-10

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: 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 6. Геометрия совершенных кристаллов.

Занятия 11-12

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Понятие о кристаллах, кристаллической структуре и элементарной ячейке. Прimitивные 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 7. Взаимодействие атомов в твердых телах.

Занятие 13

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: 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. Решение задач.

Тема 8. Точечные дефекты кристаллической решетки.

Занятие 14

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.

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

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 9. Радиационные дефекты и электропроводность металлов.

Занятие 15

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.

Тема 10. Дислокации.

Занятия 16-17

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 11 Макроскопические дефекты.

Занятие 18

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.

Раздел 4. Механические и тепловые свойства твердых тел.

Тема 12. Упругие свойства твердых тел.

Занятия 19-20

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

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 13. Пластичность и твердость.

Занятие 21

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 14. Колебания атомов кристаллической решетки.

Занятия 22-23

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: 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. Решение задач.

Тема 15. Тепловые свойства твердых тел.

Занятия 24-25

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: 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. Сопротивление теплопроводности диэлектриков и металлов. Решение задач.

Тема 16. Диффузия в твердых телах.

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

Занятие 26

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: 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 17. Свойства сверхпроводников.

Занятие 27

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 18. Теория сверхпроводников 1-го и 2-го рода.

Занятие 28

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

Тема 19. Высокотемпературная сверхпроводимость.

Занятие 29

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Высокотемпературная сверхпроводимость. Решение задач.

Тема 20. Диа- и парамагнетизм.

Занятие 30

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 21. Ферромагнетизм.

Занятие 31

Форма проведения – семинар.

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

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 22. Магнитомеханические явления и магнитные резонансы.

Занятие 32

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.

Раздел 6. Оптические свойства твердых тел.

Тема 23. Поглощение света.

Занятие 33

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Механизмы поглощения света. Собственное поглощение. Экситонное поглощение. Поглощение свободными носителями. Примесное и решеточное поглощение. Решение задач.

Тема 24. Рекомбинационное излучение.

Занятие 34

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: 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 ЗАЧЕТУ

1. Распределение Максвелла-Больцмана. Полная функция распределения частиц невырожденного электронного газа.
2. Распределение Ферми-Дирака. Энергия Ферми. Полная функция распределения вырожденного газа электронов.

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

3. Классическая электронная теория Друде-Лорентца. Вывод закона Ома и выражения для удельной электропроводности. Влияние вырожденности электронного газа.
4. Зависимость подвижности электронов в металлах от температуры. Электропроводность чистых металлов.
5. Уравнение Шредингера для кристалла. Понятие об адиабатическом приближении, валентной аппроксимации и одноэлектронном приближении. Самосогласованное поле. Периодичность кристалла и функции Блоха.
6. Волновой вектор свободного электрона и электрона в периодическом поле кристалла. Понятие о квазиимпульсе.
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. Температурная зависимость проводимости.
15. Кристаллографические системы координат – сингонии. Решетки Браве.
16. Кристаллографические символы узлов, плоскостей и прямых. Индексы Миллера.
17. Обратная решетка. Векторы обратной решетки. Углы между векторами обратной решетки. Объем ячейки прямой и обратной решетки.
18. Методы определения атомной структуры твердых тел.
19. Природа сил межатомного взаимодействия. Потенциал ионизации, энергия сродства к электрону и электроотрицательность атомов.
20. Основные типы химической связи: металлическая, валентная и ионная.
21. Силы Ван-дер-Ваальса. Молекулярные кристаллы. Энергия связи молекулярных кристаллов. Потенциал Леннарда-Джонсона, структурные суммы. Равновесное расстояние и минимальная энергия взаимодействия.
22. Ионная связь. Потенциал взаимодействия. Постоянные Маделунга. Формула Борна—Ланде. Определение параметров потенциала из измерений сжимаемости кристалла.
23. Ковалентная связь. Понятие об обменном взаимодействии. Энергия связи. Направленность и насыщенность связей.
24. Металлическая связь. Механизм формирования. Энергия связи металлических кристаллов.
25. Понятие о водородной связи.
26. Точечные, линейные, поверхностные и объемные 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.

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

31. Механизмы движения дислокаций – переползание и скольжение. Механизм Франка – Рида. Поле напряжений дислокации. Энергия дислокации.

ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ

1. Деформация и напряжение. Истинные и условные деформации и напряжения. Напряжения сжатия /растяжения/ и сдвига. Тензор напряжений. Деформации сжатия и сдвига. Описание объемной деформации.
2. Диаграмма деформации. Упругость. Закон Гука для растяжения и для сдвига. Модуль Юнга и модуль сдвига. Коэффициент Пуассона. Обобщенный закон Гука.
3. Пластическая деформация. Скольжение и двойникование. Явление упрочнения /наклеп/. Отдых и рекристаллизация. Дислокационная теория пластичности.
4. Хрупкое и пластическое разрушение. Теоретическая оценка прочности твердых тел. Модель микротрещин Гриффитса. Модели зарождения микротрещин.
5. Гармонический осциллятор. Волны в упругой среде. Фазовая и групповая скорость волн.
6. Одномерные колебания однородной струны. Упругие волны в трехмерной сплошной среде.
7. Колебания однородной цепочки атомов. Дисперсионные соотношения. Фазовая и групповая скорости волн в атомной цепочке. Дискретность значений волнового числа. Нормальные координаты и суперпозиция гармонических осцилляторов.
8. Колебания одномерной цепочки с базисом. Оптическая и акустическая ветви дисперсионных кривых. Область запрещенных частот.
9. 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.
10. Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга – Пти. Теория теплоемкости Эйнштейна. Характеристическая температура Эйнштейна.
11. Теория теплоемкости Дебая. Теплоемкость электронного газа в металлах.
12. Тепловое расширение твердых тел. Учет ангармоничности колебаний. Коэффициент теплового расширения тел.
13. Теория диффузии Френкеля. Температурная зависимость коэффициента диффузии. 1-й и 2-й законы Фика.
14. Диффузия из постоянного поверхностного источника. Диффузия из ограниченного поверхностного источника.
15. Понятие о сверхпроводимости. Электрическое сопротивление сверхпроводников. Эффект Мейсснера-Оксенфельда.
16. Критическое магнитное поле. Сверхпроводники первого и второго рода. Фазы Мейсснера и Шубникова.
17. Теплоемкость сверхпроводников. Поглощение излучения сверхпроводниками.
18. Двухжидкостная модель. Температурная зависимость концентрации сверхпроводящих носителей.
19. Электромагнитные свойства сверхпроводников. Теория Лондонов. Глубина проникновения поля в сверхпроводник.
20. Сверхпроводники второго рода в магнитных полях. Теория Гинзбурга-Ландау.
21. Притяжение электронов за счет их взаимодействия с решеткой. Куперовские пары. Оценка размеров пары.

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

22. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Возникновение энергетической щели. Квантование магнитного потока.
23. Стационарный и нестационарный эффекты Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость.
24. Магнитное поле в веществе. Классификация магнетиков. Природа диамагнетизма.
25. Парамагнетизм. Функция Ланжевена. Учет пространственного квантования. Закон Кюри для парамагнетиков.
26. Спиновая природа ферромагнетизма. Опыты Эйнштейна и де-Гааза и опыт Барнетта. Молекулярное поле Вейсса. Закон Кюри-Вейсса.
27. Обменное взаимодействие и ферромагнетизм. Антиферромагнетизм и ферримагнетизм.
28. Доменная структура ферромагнетиков. Кривая намагничивания. Петля гистерезиса.
29. Природа ядерного магнитного резонанса. Характеристика линий поглощения. Химический сдвиг. Сдвиг Найта. Применение ЯМР для исследования металлов.
30. Электронный парамагнитный резонанс и его применение. Ферромагнитный резонанс.
31. Взаимодействие света с твердыми телами. Комплексный показатель преломления.
32. Механизмы поглощения света.
33. Рекомбинационное излучение. Основные механизмы рекомбинации.
34. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через локализованные уровни.

10. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

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.)
Тема 1. Основные постулаты квантовой механики. Дуализм явлений микромира. Динамика одномерных квантовых систем	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, устный опрос
Тема 2. Элементы физической статистики.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка отчетов к лабораторным работам Подготовка к сдаче экзамена.	8	Тестирование, отчеты к лаб. работам
Тема 3. Модель свободных электронов.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию;	8	Тестирование, отчеты к лаб. работам

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

	Подготовка отчетов к лабораторным работам Подготовка к сдаче экзамена.		
Тема 4. Зонная теория твердых тел.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка отчетов к лабораторным работам Подготовка к сдаче экзамена.	8	Тестирование, отчеты к лаб.работам
Тема 5. Термоэлектрические явления.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка отчетов к лабораторным работам Подготовка к сдаче экзамена.	8	Тестирование, отчеты к лаб.работам
Тема 6. Геометрия совершенных кристаллов.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, устный опрос
Тема 7. Взаимодействие атомов в твердых телах.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, устный опрос
Тема 8. Точечные дефекты.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, устный опрос
Тема 9. Радиационные дефекты и электропроводность металлов.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	4	Тестирование, устный опрос
Тема 10. Дислокации.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, устный опрос

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

Тема 11. Макроскопические дефекты.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, устный опрос
Тема 12. Упругие свойства твердых тел.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, устный опрос
Тема 13. Пластичность и твердость.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, устный опрос
Тема 14. Колебания атомов кристаллической решетки.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	8	Тестирование, устный опрос
Тема 15. Тепловые свойства твердых тел.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	8	Тестирование, устный опрос
Тема 16. Диффузия в твердых телах.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, устный опрос
Тема 17. Свойства сверхпроводников.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, устный опрос
Тема 18. Теория сверхпроводников 1-го и 2-го рода.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, устный опрос
Тема 19. Высокотемпе-	Проработка учебного материала с	6	Тестирование,

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

ратурная сверхпроводимость.	использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.		устный опрос
Тема 20. Диа- и парамагнетизм.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, устный опрос
Тема 21. Ферромагнетизм.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	8	Тестирование, устный опрос
Тема 22. Магнитомеханические явления и магнитные резонансы.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, устный опрос
Тема 23. Поглощение света.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	4	Тестирование, устный опрос
Тема 24. Рекомбинационное излучение.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	4	Тестирование, устный опрос

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

а) Список рекомендуемой литературы

Основная:

- 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>

Дополнительная:

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

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>

Учебно-методическая:

1. 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>

Согласовано:

Ч. А. Чечуев
Должность сотрудника научной библиотеки

Чачелва А. Ф.
ФИО

11/11/19
подпись — / дата

б) программное обеспечение

не предусмотрено

в) Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы

1. Электронно-библиотечные системы:

1.1. IPRbooks : электронно-библиотечная система : сайт / группа компаний Ай Пи Ар Медиа. - Саратов, [2021]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru>. — Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.2. ЮРАЙТ : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Электронное издательство ЮРАЙТ. — Москва, [2021]. - URL: <https://urait.ru>. — Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.3. Консультант студента : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Политехресурс. — Москва, [2021]. — URL: <https://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>. — Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. — Текст : электронный.

1.4. Консультант врача : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Высшая школа организации и управления здравоохранением-Комплексный медицинский консалтинг. — Москва, [2021]. — URL: <https://www.rosmedlib.ru>. — Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. — Текст : электронный.

1.5. Большая медицинская библиотека : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Букап. — Томск, [2021]. — URL: <https://www.books-up.ru/ru/library/>. — Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. — Текст : электронный.

1.6. Лань : электронно-библиотечная система : сайт / ООО ЭБС Лань. — Санкт-Петербург, [2021]. — URL: <https://e.lanbook.com>. — Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. — Текст : электронный.

1.7. Znanium.com : электронно-библиотечная система : сайт / ООО Знаниум. - Москва, [2021]. - URL: <http://znanium.com>. — Режим доступа : для зарегистрир. пользователей. - Текст : электронный.

1.8. Clinical Collection : коллекция для медицинских университетов, клиник, медицинских библиотек // EBSCOhost : [портал]. — URL: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/search/advanced?vid=1&sid=9f57a3e1-1191-414b-8763-e97828f9f7e1%40sessionmgr102>. — Режим доступа : для авториз. пользователей. — Текст :

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

электронный.

1.9. Русский язык как иностранный : электронно-образовательный ресурс для иностранных студентов : сайт / ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа». – Саратов, [2021]. – URL: <https://ros-edu.ru>. – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст : электронный.

2. КонсультантПлюс [Электронный ресурс]: справочная правовая система. /ООО «Консультант Плюс» - Электрон. дан. - Москва : КонсультантПлюс, [2021].

3. Базы данных периодических изданий:

3.1. База данных периодических изданий : электронные журналы / ООО ИВИС. - Москва, [2021]. – URL: <https://dlib.eastview.com/browse/udb/12>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

3.2. eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека : сайт / ООО Научная Электронная Библиотека. – Москва, [2021]. – URL: <http://elibrary.ru>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный

3.3. «Grebennikon» : электронная библиотека / ИД Гребенников. – Москва, [2021]. – URL: <https://id2.action-media.ru/Personal/Products>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Текст : электронный.

4. Национальная электронная библиотека : электронная библиотека : федеральная государственная информационная система : сайт / Министерство культуры РФ ; РГБ. – Москва, [2021]. – URL: <https://нэб.рф>. – Режим доступа : для пользователей научной библиотеки. – Текст : электронный.

5. SMART Imagebase // EBSCOhost : [портал]. – URL: <https://ebSCO.smartimagebase.com/?TOKEN=EBSCO-1a2ff8c55aa76d8229047223a7d6dc9c&custid=s6895741>. – Режим доступа : для авториз. пользователей. – Изображение : электронные.

6. Федеральные информационно-образовательные порталы:

6.1. Единое окно доступа к образовательным ресурсам : федеральный портал / учредитель ФГАОУ ДПО ЦРГОП и ИТ. – URL: <http://window.edu.ru/>. – Текст : электронный.

6.2. Российское образование : федеральный портал / учредитель ФГАОУ ДПО ЦРГОП и ИТ. – URL: <http://www.edu.ru>. – Текст : электронный.

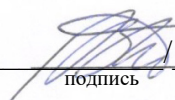
7. Образовательные ресурсы УлГУ:

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

Согласовано:

Зам. начальника
Должность сотрудника УИТиТ

/ Ключкова А.В.
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.

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

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:

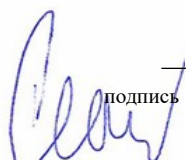
– для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации;

– 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



профессор кафедры РФЭ, Семенов Д. И.

подпись

должность, ФИО