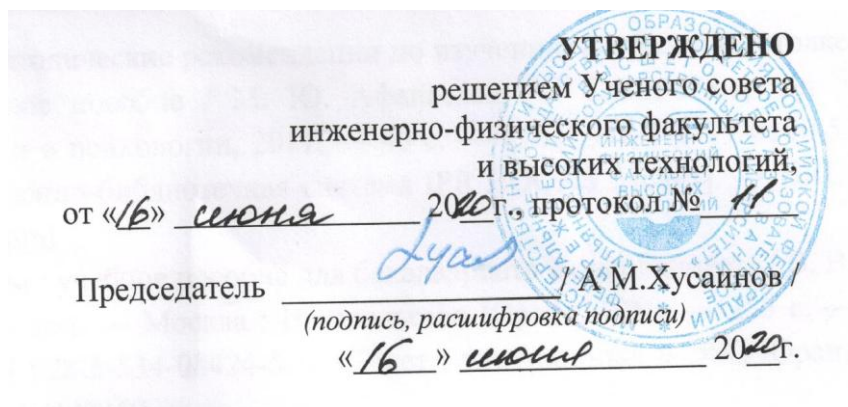


Министерство науки и высшего образования РФ Ульяновский государственный университет	Форма	
Ф-Рабочая программа дисциплины		



### РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

Дисциплина:	«Физика твердого тела»
Факультет	Инженерно-физический факультет высоких технологий (ИФФВТ)
Кафедра	Кафедра Физического материаловедения (ФМ)
Курс	3

Направление (специальность): **28.03.02 Наноинженерия**

*(код направления (специальности), полное наименование)*

Направленность (профиль/специализация) **Наноинженерия в машиностроении**

*полное наименование*

Форма обучения **очная**

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

Дата введения в учебный процесс УлГУ:

« 1 » сентября 2020 г.


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

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

Сведения о разработчиках:

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

СОГЛАСОВАНО
Заведующий выпускающей кафедрой физического материаловедения
 Подпись / В.Н.Голованов / ФИО « 5 » июня 2020г.

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 твердого тела» 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 «Физика», «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения».

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

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


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

- Нанoeлектроника
- Физико-химические основы нанотехнологий
- Композиционные материалы. Металломатричные, с полимерной матрицей.

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

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

Код и наименование реализуемой компетенции	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций
ОПК-1 Способен решать задачи профес-	Знать: классификацию твердых тел на металлы, полупро-

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


<p>сиональной деятельности на основе применения естественнонаучных и инженерных знаний, методов математического анализа и моделирования</p>	<p>водники и диэлектрики с точки зрения зонной теории; основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока; особенности электронных свойств неупорядоченных и аморфных материалов</p> <p>Уметь: понимать физическую сущность процессов, протекающих в металлах, полупроводниковых, диэлектрических, магнитных материалах и в структурах, созданных на основе этих материалов, в том числе и при воздействии внешних полей и изменении температуры</p> <p>Владеть: опытом проведения количественных оценок величины эффектов и характеристических параметров с учетом особенностей кристаллической структуры, электронного и фононного спектров, типа и концентрации легирующих примесей</p>
<p>ПК-3 Использовать методики комплексного анализа структуры и свойств наноструктурированных композиционных материалов для испытаний инновационной продукции nanoиндустрии</p>	<p>Знать: методики комплексного анализа структуры и свойств наноструктурированных композиционных материалов</p> <p>Уметь: измерять параметры структуры и свойства наноструктурированных композиционных материалов</p> <p>Владеть: навыками измерения и анализа результатов новых экспериментальных и теоретических исследований в области физики твердого тела и полупроводников, к самостоятельному выбору метода и объекта исследования</p>

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах (всего) – 9 ЗЕ

4.2. По видам учебной работы (в часах): 324

Вид учебной работы	Количество часов (форма обучения – очная)		
	Всего по плану	в т.ч. по семестрам	
		5	6
Контактная работа обучающихся с преподавателем	136/136	72/72	64/64
Аудиторные занятия:			
• лекции	50/50	18/18	32/32
• практические и семинарские занятия	68/68	36/36	32/32


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

• лабораторные работы (лабораторный практикум)	18/18	18/18	
Самостоятельная работа	152/152	72/72	80/80
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)–
<b>Всего часов по дисциплине</b>	<b>324/324</b>	<b>144/144</b>	<b>180/180</b>


\* 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.

#### 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			
<b>Раздел 1. Основы квантовой механики</b>							
Тема 1. Основные постулаты квантовой механики. Дуализм явлений микромира. Динамика одномерных квантовых систем	12	2	4			6	Контрольная работа, тестирование
<b>Раздел 2. Электрические свойства твердых тел.</b>							
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, тестирование
Тема 4. Зонная теория твердых тел.	20	2	4	6		8	Контрольная

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

							работа, тестирование
Тема 5. Термоэлектрические явления.	17	1	4	4		8	Контрольная работа, тестирование
<b>Раздел 3. Структура и дефекты в кристаллах.</b>							
Тема 6. Геометрия совершенных кристаллов.	12	2	4			6	Контрольная работа, тестирование
Тема 7. Взаимодействие атомов в твердых телах.	10	2	2			6	Контрольная работа, тестирование
Тема 8. Точечные дефекты.	9	1	2			6	Контрольная работа, тестирование
Тема 9. Радиационные дефекты и электропроводность металлов.	7	1	2			4	Контрольная работа, тестирование
Тема 10. Дислокации.	12	2	4			6	Контрольная работа, тестирование
Тема 11. Макроскопические дефекты.	10	2	2			6	Контрольная работа, тестирование
<b>Раздел 4. Механические и тепловые свойства твердых тел.</b>							
Тема 12. Упругие свойства твердых тел.	12	2	4			6	Контрольная работа, тестирование
Тема 13. Пластичность и твердость.	10	2	2			6	Контрольная работа, тестирование

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

							вание
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
<b>Раздел 5. Сверхпроводимость. Магнитные свойства твердых тел.</b>							
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 резонансы.	10	2	2			6	Контрольная работа, тестирование
<b>Раздел 6. Оптические свойства твердых тел.</b>							
Тема 23. Поглоще-	8	2	2			4	Кон-

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

ние света.							трольная работа, тестирование
Тема 24. Рекомбинационное излучение.	8	2	2			4	Контрольная работа, тестирование
<b>ИТОГО:</b>	<b>288</b>	<b>50</b>	<b>68</b>	<b>18</b>		<b>152</b>	

## 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 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.

#### 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.

#### 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

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

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. 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. 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.

#### **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



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

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 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.

### **Тема 13. Пластичность и твердость.**

Пластическая деформация. Скольжение и двойникование. Явление упрочнения /наклеп/. Отдых и рекристаллизация. Дислокационная теория пластичности.

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

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. Сопоставление 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.

#### **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

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

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**

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

#### **Занятия 1-2**

Форма проведения – семинар.

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

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.

### **Тема 5. Термоэлектрические явления.**

#### **Занятия 9-10**

Форма проведения – семинар.

Вопросы по теме: Взаимосвязь тепловых и электрических процессов.

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

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. 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. Объём ячейки прямой и обратной решетки. Методы определения атомной структуры твердых тел: рентгено-, электро- 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.

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 вакан-

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

сионных 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 Бюргера. 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**

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.


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

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. Сопоставление теплопроводности диэлектриков и металлов. Решение задач.

### **Тема 16. Диффузия в твердых телах.**

#### **Занятие 26**

Форма проведения – семинар.

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

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

мость коэффициента диффузии. 1-й и 2-й законы Фика.  
Диффузия из постоянного поверхностного источника. Диффузия из ограниченного по-  
верхностного 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 сверх-  
проводников. Эффект Мейсснера-Оксенфельда. Критическое магнитное поле. Сверхпро-  
водники первого и второго рода. Фазы Мейсснера и Шубникова. Изотопический эффект в  
сверхпроводниках. Теплоемкость сверхпроводников. Поглощение излучения сверхпро-  
водниками. 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 сверхпровод-  
никах I-го рода. Двухжидкостная модель Гортера и Казимира. Температурная зависимость  
концентрации сверхпроводящих носителей. Электромагнитные свойства сверхпроводни-  
ков. Теория Лондонов. Глубина проникновения поля в сверхпроводник. Понятие о нело-  
кальной теории Пиппарда. Сверхпроводники второго рода в магнитных полях. Теория  
Гинзбурга-Ландау. Возникновение смешанных состояний. Явление пиннинга. Притяже-  
ние электронов за счет их взаимодействия с решеткой – силы Фрелиха. Куперовские пары.  
Оценка размеров пары. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Возникновение энергетиче-  
ской 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 диа-  
магнетизма. Парамагнетизм. Функция Ланжевена. Учет пространственного квантования.  
Закон Кюри для парамагнетиков. Магнитные свойства электронного газа. Получение низ-  
ких температур методом адиабатического размагничивания парамагнетиков. Решение за-  
дач.


### **Тема 21. Ферромагнетизм.**

#### **Занятие 31**

Форма проведения – семинар.

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



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

## **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)**

Лабораторная работа 1. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника

Лабораторная работа 2. Исследование электропроводности полупроводников

Лабораторная работа 3. Исследование электропроводности металлов

Лабораторная работа 4. Изучение работы p-n перехода

Лабораторная работа 5. Пробой p-n перехода

Лабораторная работа 6. Контакт металл-полупроводник

Лабораторная работа 7. Эффект Холла в примесных полупроводниках


Лабораторная работа 8. Изучение электрической прочности твердых диэлектриков

## **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 не-

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


- вырожденного электронного газа.
2. Распределение Ферми-Дирака. Энергия Ферми. Полная функция распределения вырожденного газа электронов.
  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

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

- дислокации. Плотность дислокаций.
30. Узлы дислокаций. Дилатация. Смещенные и криволинейные дислокации. Источники дислокаций. Движение дислокаций и пластичность.
  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.


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

20. Сверхпроводники второго рода в магнитных полях. Теория Гинзбурга-Ландау.
21. Притяжение электронов за счет их взаимодействия с решеткой. Куперовские пары. Оценка размеров пары.
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-	8	Тестирование, отчеты к

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

	методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка отчетов к лабораторным работам Подготовка к сдаче экзамена.		лаб. работам
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		

	го обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.		
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;	6	Тестирование, устный опрос

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


	Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.		
Тема 19. Высокотемпературная сверхпроводимость.	Проработка учебного материала с использованием ресурсов учебно-методического и информационного обеспечения дисциплины; Подготовка к тестированию; Подготовка к сдаче экзамена.	6	Тестирование, 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:

1. Гуртов, В. А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко ; под редакцией Л. А. Алешина. — Москва : Техносфера, 2012. — 560 с. — ISBN 978-5-94836-327-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/26903.html>

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

#### Дополнительная:

1. Элементы физики твёрдого тела : учебное пособие / составители В. Я. Чечуев, С. В. Викулов, И. М. Дзю. — Новосибирск : Новосибирский государственный аграрный университет, 2012. — 160 с. — ISBN 2227-8397. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. — URL: <http://www.iprbookshop.ru/64832.html>

#### 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:

*Библиотечный отдел* / *Чачелва А.Ф.* / *[подпись]* / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
 Должность сотрудника научной библиотеки      ФИО      подпись      дата

#### б) программное обеспечение


не предусмотрено

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

##### 1. Электронно-библиотечные системы

- 1.1. **IPRbooks** [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система/ группа компаний Ай Пи Эр Медиа. - Электрон. дан. - Саратов, [2019]. - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru>.
- 1.2. **ЮРАЙТ** [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система/ ООО Электронное издательство ЮРАЙТ. - Электрон. дан. – Москва, [2019]. - Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru>.
- 1.3. **Консультант студента** [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система/ ООО Политехресурс. - Электрон. дан. – Москва, [2019]. - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/pages/catalogue.html>.
- 1.4. **Лань** [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система/ ООО ЭБС Лань. - Электрон. дан. – С.-Петербург, [2019]. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com>.
- 1.5. **Znanium.com** [Электронный ресурс]: электронно-библиотечная система/ ООО Знаниум. - Электрон. дан. – Москва, [2019]. - Режим доступа: <http://znanium.com>.
2. **КонсультантПлюс** [Электронный ресурс]: справочная правовая система/ Компания «Консультант Плюс». - Электрон. дан. - Москва: КонсультантПлюс, [2019].
3. **База данных периодических изданий** [Электронный ресурс]: электронные журналы/ ООО ИВИС. - Электрон. дан. - Москва, [2019]. - Режим доступа: <https://dlib.eastview.com/browse/udb/12>.
4. **Национальная электронная библиотека** [Электронный ресурс]: электронная библиотека. - Электрон. дан. – Москва, [2019]. - Режим доступа: <https://нэб.рф>.
5. **Федеральные информационно-образовательные порталы:**
  - 5.1. Информационная система [Единое окно доступа к образовательным ресурсам](#).



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

Режим доступа: <http://window.edu.ru>.

5.2. Федеральный портал [Российское образование](http://www.edu.ru). Режим доступа: <http://www.edu.ru>.

#### 6. Образовательные ресурсы УлГУ:

6.1. Электронная библиотека УлГУ. Режим доступа: <http://lib.ulsu.ru/MegaPro/Web>.

6.2. Образовательный портал УлГУ. Режим доступа: <http://edu.ulsu.ru>.

#### 7. Профессиональные информационные ресурсы:

7.1. «Техническая механика» информационно-обучающий ресурс. Режим доступа: <https://isopromat.org>.

Согласовано:

*Зам. нач. УИТИТ*

*Ключкова АВ*

*[Подпись]*

Должность сотрудника УИТИТ

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.

Для проведения лабораторных работ используется следующее оборудование:

- МОДУЛЬНЫЙ УЧЕБНЫЙ КОМПЛЕКС МУК-ТТ1
- АМПЕРМЕТР-ВОЛЬТМЕТР АВ1
- ГЕНЕРАТОР НАПРЯЖЕНИЙ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГН4-01
- СТЕНД С ОБЪЕКТАМИ ИССЛЕДОВАНИЯ СЗ-ЭХ01
- СТЕНД С ОБЪЕКТАМИ ИССЛЕДОВАНИЯ СЗ-ТТ01
- Соединительные провода длиной 60 см (штекера Ш1-6, Ш4)


## 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.

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

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

Разработчик



подпись

доцент, Рыбин Владислав Витальевич

должность, ФИО