


МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ С.А. ЕСЕНИНА»

Утверждаю:
Декан
физико-математического
факультета

Н.Б. Федорова
«30» августа 2018 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Уровень основной образовательной программы: бакалавриат

Направление подготовки: 16.03.01 Техническая физика

Профиль: Физическая электроника

Форма обучения: очная

Сроки освоения ОПОП: 4 года (нормативный)

Факультет: физико-математический

Кафедра: общей и теоретической физики и МПФ

Рязань, 2018

ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины «Физика твердого тела и полупроводников» являются формирование у обучающихся компетенций в процессе освоения необходимого объема фундаментальных знаний в области физики твердого тела и полупроводников, формирование представлений об основных понятиях и идеях физики твердого тела и методах решения задач, а также демонстрация способов применения этих представлений в различных областях науки и техники и знакомство студентов с экспериментальными и теоретическими методами, применяемыми при исследованиях в этой области.

Задачи курса:

1. сформировать представление об особенностях структуры кристаллов, о роли симметрии при объяснении свойств твердых тел;
2. сформировать у студентов систему понятий и представлений о различных типах симметрии, используемых для описания структуры свойств твердых тел;
3. дать представление об особенностях исследования структуры твердых тел;
4. изложить основы зонной теории кристаллов;
5. познакомить студентов с природой электрических и магнитных свойств твердых тел;
6. дать студентам представление об основных типах дефектов твердых тел и о влиянии дефектов на физические свойства кристалла

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВУЗА

2.1. Учебная дисциплина **Б1.В.ОД.9 «Физика твердого тела и полупроводников»** относится к вариативной части Блока 1 (обязательные дисциплины).

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины необходимы следующие знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами:

- Математика
- Физика (разделы Электричество и магнетизм, Оптика и квантовая физика, Статистическая физика)
- Механика;
- Математическая физика.

2.3. Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:

- **Физика электронных и ионных процессов;**
- **Квантовая электроника;**
- **Практикум по микро- и наноэлектронике;**

- *Выполнение ВКР;*
- *Физика наноразмерных структур.*

2.4 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения основной профессиональной образовательной программы

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся общекультурных (ОК) (общепрофессиональных- ОПК) и профессиональных (ПК) компетенций:

№ п/п	Номер/индекс компетенции	Содержание компетенции (или ее части)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
			Знать	Уметь	Владеть
1	2	3	4	5	6
1.	ОПК-1	способностью использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	Законы физики твердого тела и полупроводников и их технические приложения	Применять законы физики твердого тела и полупроводников для решения профессионально ориентированных задач	Приемами применения на практике законов физики твердого тела и полупроводников
2.	ОПК-2	способностью применять методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности	Особенности физико-математического аппарата физики твердого тела и полупроводников	Применять методы физики твердого тела и полупроводников на практике	Аппаратом физики твердого тела и полупроводников
3.	ОПК-3	способностью к теоретическим и экспериментальным исследованиям в избранной области технической физики, готовностью учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности	Особенности теоретических и экспериментальных исследований в области физики твердого тела и полупроводников, современные проблемы и достижения физики твердого тела и полупроводников	Проводить простейшие теоретические и экспериментальные исследования в области физики твердого тела и полупроводников	Опытом поиска и обсуждения современных достижений физики твердого тела и полупроводников
4.	ОПК-8	способностью самостоятельно осваивать современную физическую,	Современное аналитическое	Подбирать оборудование и	Опытом работы с аналитическим

		аналитическую и технологическую аппаратуру различного назначения и работать на ней	оборудование в области физики твердого тела Современные методы изучения твердого тела и полупроводников	режимы работы оборудования, необходимые для проведения экспериментальных исследований в области твердого тела Производить поиск информации о современных методах исследования твердых тел и полупроводников	оборудованием в области твердого тела и полупроводников
5.	ПК-14	способностью разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных установок, проекты изделий с учетом технологических, экономических и эстетических параметров	Основные практические применения достижений физики твердого тела и полупроводников	Ориентироваться в применении законов и положений физики твердого тела и полупроводников в функциональных и структурных элементах и узлах установок	Навыками оценки перспективности тех или иных достижений физики твердого тела и полупроводников для физической электроники

2.5 Карта компетенций дисциплины.

КАРТА КОМПЕТЕНЦИЙ ДИСЦИПЛИНЫ					
НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ Физика твердого тела и полупроводников					
Цель дисциплины	формирование у обучающихся компетенций в процессе освоения необходимого объема фундаментальных знаний в области физики твердого тела, формирование представлений об основных понятиях и идеях физики твердого тела и методах решения задач, а также демонстрация способов применения этих представлений в различных областях науки и техники и знакомство студентов с экспериментальными и теоретическими методами, применяемыми при исследованиях в этой области				
В процессе освоения данной дисциплины студент формирует и демонстрирует следующие					
Профессиональные компетенции:					
КОМПЕТЕНЦИИ		Перечень компонентов	Технологии формирования	Форма оценочного средства	Уровни освоения компетенции
ИНДЕКС	ФОРМУЛИРОВКА				
ОПК-1	способностью использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности	Знать законы физики твердого тела и полупроводников и их технические приложения Уметь применять законы физики твердого тела и полупроводников для решения профессионально ориентированных задач Владеть приемами применения на практике законов физики твердого тела и полупроводников	Путем проведения лекционных, практических, лабораторных занятий, применения новых образовательных технологий, организации самостоятельных работ.	Тестирование, контрольные работы, защита лабораторных работ, реферат, индивидуальные домашние задания, проектные работы, зачет, экзамен	Пороговый Способен выявлять в профессиональных задачах содержание в предметной области физики твердого тела и полупроводников Повышенный Способен самостоятельно выбирать приемы и методы решения профессиональных задач в предметной области физики твердого тела и полупроводников.
ОПК-2	способностью применять методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач, возникающих в	Знать особенности физико-математического аппарата физики твердого тела и полупроводников Уметь применять методы физики твердого тела и полупроводников на практике Владеть аппаратом физики твердого тела и	Путем проведения лекционных, практических, лабораторных занятий, применения новых образовательных технологий, организации самостоятельных работ.	Тестирование, контрольные работы, защита лабораторных работ, реферат, индивидуальные домашние задания, проектные работы, зачет, экзамен	Пороговый Способен, опираясь на известные образцы, применять законы и методы физики твердого тела при решении профессиональных задач Повышенный Способен самостоятельно выявлять в профессиональной деятельности задачи, решаемые

	ходе профессиональной деятельности	полупроводников			аппаратом физики твердого тела и полупроводников
ОПК-3	способностью к теоретическим и экспериментальным исследованиям в избранной области технической физики, готовностью учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности	Знать особенности теоретических и экспериментальных исследований в области физики твердого тела и полупроводников, современные проблемы и достижения физики твердого тела и полупроводников Уметь проводить простейшие теоретические и экспериментальные исследования в области физики твердого тела и полупроводников Владеть опытом поиска и обсуждения современных достижений физики твердого тела и полупроводников	Путем проведения лекционных, практических, лабораторных занятий, применения новых образовательных технологий, организации самостоятельных работ.	Тестирование, контрольные работы, защита лабораторных работ, реферат, индивидуальные домашние задания, проектные работы, зачет, экзамен	Пороговый Способен решать простые теоретические и экспериментальные задачи физики твердого тела Повышенный Способен планировать и проводить исследования в области физики твердого тела и полупроводников
ОПК-8	способностью самостоятельно осваивать современную физическую, аналитическую и технологическую аппаратуру различного назначения и работать на ней	Знать современное аналитическое оборудование в области физики твердого тела Уметь подбирать оборудование и режимы работы оборудования, необходимые для проведения экспериментальных исследований в области твердого тела и полупроводников Владеть опытом работы с аналитическим оборудованием в области твердого тела и	Путем проведения лекционных, практических, лабораторных занятий, применения новых образовательных технологий, организации самостоятельных работ.	Тестирование, контрольные работы, защита лабораторных работ, реферат, индивидуальные домашние задания, проектные работы, зачет, экзамен	Пороговый Способен с помощью преподавателя работать на аналитическом оборудовании в области физики твердого тела Повышенный Способен самостоятельно подбирать оборудование и режимы работы оборудования, необходимые для проведения экспериментальных исследований в области твердого тела и полупроводников

		полупроводников			
ПК-14	способностью разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных установок, проекты изделий с учетом технологических, экономических и эстетических параметров	Знать основные практические применения достижений физики твердого тела и полупроводников Уметь ориентироваться в применении законов и положений физики твердого тела и полупроводников в функциональных и структурных элементах и узлах установок Владеть навыками оценки перспективности тех или иных достижений физики твердого тела и полупроводников для физической электроники	Путем проведения лекционных, семинарских занятий, применения новых образовательных технологий, выполнения тематических обзоров, проектов, организации самостоятельных работ.	Тестирование, ИДЗ, Контрольная работа, Тематический обзор, Проектная работа, Компьютерная симуляция, экзамен	Пороговый Способен ориентироваться в практических применениях физики твердого тела и полупроводников Повышенный Способен оценивать перспективность достижений физики твердого тела и полупроводников для физической электроники

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. ОБЪЕМ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ

Вид учебной работы		Всего часов	Семестр	
			5 часов	6 часов
1		2	3	4
Аудиторные занятия (всего)		154	90	64
В том числе:				
Лекции (Л)		52	36	16
Практические занятия (ПЗ), Семинары (С)		34	18	16
Лабораторные работы (ЛР)		68	36	32
Самостоятельная работа студента (всего)		206	90	116
В том числе				
<i>СРС в семестре:</i>		170	90	80
Курсовая работа	КП			
	КР			
Другие виды СРС:				
Подготовка к выполнению и защите лабораторных работ		65	30	35
Выполнение ИДЗ		35	16	19
Работа со справочниками, словарями, таблицами		14	7	7
Разбор стандартных задач		10	10	
Отработка терминологии		12	7	5
Разбор нестандартных задач		7	7	
Подготовка к тестированию		4	4	
Подготовка к контрольной работе		6	3	3
Реферат		6		6
Проектная работа		11	6	5
<i>СРС в период сессии</i>		36	-	36
Вид промежуточной аттестации	зачет (З)		Зачет	Экзамен
		36		36
ИТОГО: Общая трудоемкость		360	180	180
		10	5	5

2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

2.1. Содержание разделов учебной дисциплины

№ се ме ст ра	№ раз де ла	Наименование раздела учебной дисциплины	Содержание раздела в дидактических единицах
5	1	Конденсированное состояние сред. Элементы кристаллографии	Классификация конденсированных сред. Кристаллическая решетка и ее характеристики: вектор трансляции, решетка, базис. Двухмерные кристаллы: элементарная и примитивная ячейки, решетки Браве для двухмерных кристаллов. Трехмерные кристаллы, решетки Браве для трехмерных кристаллов. Индексы Миллера и обозначение направлений. Простые кристаллические структуры: кубическая гранецентрированная и гексагональная с плотной упаковкой; структура алмаза и хлористого натрия. Анизотропия твердых тел. Явление полиморфизма. Классификация типов связи в кристаллах: ионные, ковалентные, металлические и молекулярные кристаллы. Принцип плотной упаковки.
	2	Дефекты в кристаллах	Классификация дефектов. Мозаичная структура. Точечные дефекты. Примеси. Атомы в междоузлиях и вакансии. Равновесная концентрация дефектов. Дислокации. Дефекты упаковки. Границы зерен. Влияние дислокаций на свойства твердых тел.
	3	Динамика кристаллической решетки.	Основные параметры упругих волн. Гармоническое приближение. Соотношения дисперсии для упругих волн в одномерной кристаллической цепочке, состоящей из одинаковых атомов и из атомов 2-х видов. Акустические и оптические ветви колебаний для одномерных и трехмерных кристаллов. Акустические и оптические фононы. Обратная решетка. Зоны Бриллюэна.
	4	Магнитные свойства твердых тел	Магнитные свойства атомов. Классификация твердых тел по магнитным свойствам. Диамагнетизм. Классическая теория диамагнетизма. Циклотронный резонанс, его практическое применение. Парамагнетизм. Классическая и квантовая теории парамагнетизма, электронный и ядерный парамагнитный резонанс, его практическое применение. Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейсса. Роль обменного взаимодействия в возникновении ферромагнетизма. Доменная структура ферромагнитных тел. Антиферромагнетизм. Ферримагнетизм. Магнитные спектры вещества.
	5	Диэлектрические свойства твердых тел.	Основные характеристики диэлектриков. Виды поляризации. Электрострикция, пьезоэффект, пироэффект. Сегнетоэлектрики. Электреты.

	6	Зонная структура твердых тел	Одноэлектронное приближение. Теорема Блоха. Изменение состояния электронов при сближении атомов. Энергетические зоны. Приближение почти свободных электронов. Модель Кронига-Пенни. Структура энергетических зон. Металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной теории. Волновые функции электрона в периодической решетке. Эффективная масса электрона, дырки. Примеси и примесные уровни.
	7	Сверхпроводимость и современные материалы	Сверхпроводящие материалы. Эффект Мейснера. Сверхпроводники первого и второго рода. Теплоемкость сверхпроводников. Поглощение электромагнитного излучения сверхпроводниками. Изотопический эффект. Основы теории БКШ: образование куперовских пар, энергетическая щель. Эффекты Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость. Применение сверхпроводников. Современные твердотельные приборы.
6	8	История открытия полупроводников	Ранние исследования. Основные свойства полупроводников. Применение полупроводников в науке и технике. Классификация полупроводников (по составу, по ширине запрещенной зоны, разделение на прямозонные и непрямозонные материалы, по магнитным свойствам). Методы выращивания полупроводниковых кристаллов: метод Чохральского; газофазная эпитаксия; молекулярно-пучковая эпитаксия. Методы получения низкоразмерных структур: двумерных квантовых слоев, квантовых проволок и точек
	9	Энергетический спектр реальных полупроводников	Классификация дефектов. Различные виды дефектов (примеси замещения, внедрения, вакансии, наличие границы). Мелкие примесные уровни (водородоподобная примесь). Спектр и волновые функции мелких донорных и акцепторных состояний. Спектр слабо- и сильнолегированных полупроводников. Переход Мотта.
	10	Статистика полупроводников	Распределение Ферми-Дирака. Уровень Ферми. Вырожденный и невырожденный электронный газ. Плотность состояний. Плотность состояний в анизотропной зоне. Эффективная масса плотности состояний. Концентрация носителей заряда в зонах и на локальных уровнях. Интегралы Ферми. Решение уравнения электронейтральности для собственного полупроводника. Температурная зависимость концентрации носителей заряда в собственном полупроводнике. Решение уравнения электронейтральности в полупроводнике с одним типом однозарядных доноров. Температурная зависимость концентрации электронов в полупроводнике с одним типом однозарядных доноров. Решение уравнения электронейтральности и температурная зависимость концентрации электронов при одновременном наличии донорной и акцепторной примеси.

6	11	Явления электронного переноса	Электропроводность. Подвижность. Транспортное время релаксации импульса. Закон Ома в анизотропных полупроводниках. “Дрейфовая” эффективная масса. Эффект Холла (один тип носителей, движущихся с одинаковой скоростью, малые магнитные поля). Характер движения электронов и дырок в скрещенных электрическом и магнитном полях. Тензор электропроводности, эффект Холла и магнитосопротивление в произвольном магнитном поле. Эффект Холла и магнитосопротивление для двух типов носителей заряда – электронов и дырок. Температурная и магнитополевая зависимость коэффициента Холла.
	12	Магнитные квантовые эффекты	Энергетический спектр электронов и дырок в магнитном поле. Плотность состояний. Учет спина. Осцилляции Шубникова - де Гааза. Условия наблюдения. Определение концентрации и эффективной массы из осцилляций Шубникова-де Газа. Магнитофононный резонанс (МФР). Определение эффективной массы из МФР. Межзонное и примесное магнитное вымораживание носителей. Циклотронный резонанс (классическое рассмотрение).

2.2. Разделы учебной дисциплины, виды учебной деятельности и формы контроля

№ семестра	№ раздела	Наименование раздела учебной дисциплины	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов (в часах)					Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра)
			Л	ЛР	ПЗ/С	СРС	всего	
5	1	Конденсированное состояние сред. Элементы кристаллографии	6	8	4	15	33	Защита лабораторных работ (3 неделя), ИДЗ (2, 4 неделя)
	2	Дефекты в кристаллах	4	6	2	14	26	Защита лабораторных работ (5,6 неделя), ИДЗ (6 неделя)
	3	Динамика кристаллической решетки.	6		2	10	18	ИДЗ (8 неделя), тестирование (7 неделя)
	4	Магнитные свойства твердых тел	6	6	2	14	28	Защита лабораторных работ (8, 9 неделя), ИДЗ (10 неделя)
	5	Диэлектрические свойства твердых тел.	4	7	2	14	27	Защита лабораторных работ (11, 12 неделя), ИДЗ (12 неделя)
	6	Зонная структура твердых тел	6	9	4	15	34	Защита лабораторных работ (14, 15, 16 неделя), ИДЗ (14 неделя), тестирование (15 неделя),

							контрольная работа (16 неделя)	
7	Сверхпроводимость и современные материалы	4		2	8	14	Защита лабораторных работ (17 неделя), проектная работа (18 неделя)	
	ИТОГО за семестр	36	36	18	90	180	Зачет	
6	8	История открытия полупроводников	2		2	10	11	Реферат (1 неделя)
	9	Энергетический спектр реальных полупроводников	4	9	4	20	37	Защита лабораторных работ (3, 4, 5 неделя), ИДЗ (5 неделя)
	10	Статистика полупроводников	4	9	4	12	29	Защита лабораторных работ (6 - 9 неделя), ИДЗ (7, 9 неделя)
	11	Явления электронного переноса	4	6	2	19	31	Защита лабораторных работ (10 - 13 неделя), ИДЗ (11, 13 неделя), контрольная работа (12 неделя)
	12	Магнитные квантовые эффекты	2	8	4	19	33	Защита лабораторных работ (14 - 16 неделя), ИДЗ (15 неделя), проектная работа (16 неделя)
		По разделам 1 -13				36	36	Экзамен
	ИТОГО за семестр	16	32	16	116	180	Экзамен	
	ИТОГО	52	68	34	206	360		

2.3. Лабораторный практикум

№ семестра	№ раздела	Наименование раздела учебной дисциплины	Наименование лабораторных работ	Всего часов	
1	2	3	4	5	
5	1.	Конденсированное состояние сред. Элементы кристаллографии	1. Определение ориентировки кристалла поваренной соли методом Лауэ 2. Качественный рентгенофазовый анализ	8	
	2.	Дефекты в кристаллах	3. Индицирование дебаграмм кубической системы	6	
	3.	Динамика кристаллической решетки.			
	4.	Магнитные свойства твердых тел	4. Изучение основных характеристик ферромагнитных материалов	6	
	5.		Диэлектрические свойства твердых тел.	5. Исследование диэлектрических свойств различных материалов	3
				6. Исследование диэлектрических свойств сегнетоэлектриков	4
6.		Зонная структура твердых тел	7. Нахождение спектра разрешенных значений энергий в прямоугольной квантовой яме с потенциальным барьером произвольной высоты 8. Задача о двух туннельно связанных ямах	4	

				5
	7.	Сверхпроводимость и современные материалы		
	ИТОГО в семестре			36
6	8.	История открытия полупроводников		
	9.	Энергетический спектр реальных полупроводников	9. Расчет зонной диаграммы сверхрешеток на основе одномерной модели Кронига-Пенни	6
			10. Определение ширины запрещенной зоны полупроводника оптическим методом	3
	10.	Статистика полупроводников	11. Изучение статистических закономерностей	5
			12. Изучение температурной зависимости концентрации электронов в полупроводнике	4
	11.	Явления электронного переноса	13. Исследование туннельного эффекта в туннельном диоде 14. Эффект Холла в полупроводниках	2 4
	12.	Магнитные квантовые эффекты	15. Анализ кривых квантового эффекта Холла	4
16. Исследование параметров вырожденного двумерного электронного газа на основе изучения осциллирующих зависимостей магнитосопротивления			4	
ИТОГО в семестре			32	
ИТОГО			68	

2.4. Примерная тематика курсовых работ

Не предусмотрены

3. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА

3.1. Виды СРС

№	№	Наименование раздела учебной дисциплины	Виды СРС	
				Всего часов
5	1.	Конденсированное состояние сред. Элементы кристаллографии	Подготовка к лабораторной работе № 1 Подготовка к лабораторной работе № 2 Подготовка к защите лабораторной работы №1 Подготовка к защите лабораторной работы №2 Выполнение ИДЗ № 1 Выполнение ИДЗ № 2 Работа со справочниками, словарями, таблицами Разбор стандартных задач по кристаллографии Отработка терминологии Разбор нестандартных задач по кристаллографии	1 1 2 2 2 2 1 2 1 1
	2.	Дефекты в кристаллах	Подготовка к лабораторной работе № 3 Подготовка к защите лабораторной работы №3 Выполнение ИДЗ № 3 Работа со справочниками, словарями, таблицами Разбор стандартных задач по дефектам в кристаллах Отработка терминологии Разбор нестандартных задач по дефектам в кристаллах	2 2 3 1 2 2 2
	3.	Динамика кристаллической решетки.	Выполнение ИДЗ № 4 Работа со справочниками, словарями, таблицами Разбор стандартных задач по динамике кристаллической решетки Отработка терминологии Разбор нестандартных задач по динамике кристаллической решетки Подготовка к тестированию	2 1 2 1 2 2
	4.	Магнитные свойства твердых тел	Подготовка к лабораторной работе № 4 Подготовка к защите лабораторной работы №4 Выполнение ИДЗ № 5 Работа со справочниками, словарями, таблицами Разбор стандартных задач по магнитным свойствам твердых тел Отработка терминологии Разбор нестандартных задач по магнитным свойствам твердых тел	2 2 3 2 2 1 2
	5.	Диэлектрические свойства твердых тел.	Подготовка к лабораторной работе № 5 Подготовка к лабораторной работе № 6 Подготовка к защите лабораторной работы № 5 Подготовка к защите лабораторной работы № 6 Выполнение ИДЗ № 6 Работа со справочниками, словарями, таблицами Разбор стандартных задач по диэлектрическим свойствам твердых тел Отработка терминологии	2 2 2 2 2 1 2 1
	6.	Зонная структура твердых	Подготовка к лабораторной работе № 7	2

	тел	Подготовка к лабораторной работе № 8 Подготовка к защите лабораторной работы №7 Выполнение ИДЗ № 7 Работа со справочниками, словарями, таблицами Отработка терминологии Подготовка к тестированию Подготовка к контрольной работе	2 2 2 1 1 2 3	
7.	Сверхпроводимость и современные материалы	Подготовка к защите лабораторной работы №8 Работа с литературой по теме проектного задания Выполнения проектного задания Выполнения отчета по проектному заданию	2 2 2 2	
	Итого в семестре		90	
6	8.	История открытия полупроводников	Работа со справочниками, словарями, таблицами Отработка терминологии Работа с литературой по теме реферата Подготовка реферата Подготовка презентации по теме реферата	2 2 2 2 2
	9.	Энергетический спектр реальных полупроводников	Подготовка к лабораторной работе № 9 Подготовка к лабораторной работе № 10 Подготовка к защите лабораторной работы №9 Подготовка к защите лабораторной работы №10 Выполнение ИДЗ № 8 Работа со справочниками, словарями, таблицами Отработка терминологии	2 3 3 3 3 3 3
	10.	Статистика полупроводников	Подготовка к лабораторной работе № 11 Подготовка к лабораторной работе № 12 Подготовка к защите лабораторной работы №11 Подготовка к защите лабораторной работы №12 Выполнение ИДЗ № 9 Выполнение ИДЗ № 10	2 2 2 2 2 2
	11.	Явления электронного переноса	Подготовка к лабораторной работе № 13 Подготовка к лабораторной работе № 14 Подготовка к защите лабораторной работы №13 Подготовка к защите лабораторной работы №14 Выполнение ИДЗ № 11 Выполнение ИДЗ № 12 Работа со справочниками, словарями, таблицами Подготовка к контрольной работе	2 2 2 2 3 3 2 3
	12.	Магнитные квантовые эффекты	Подготовка к лабораторной работе № 15 Подготовка к лабораторной работе № 16 Подготовка к защите лабораторной работы №15 Подготовка к защите лабораторной работы №16 Выполнение ИДЗ № 13 Выполнение ИДЗ № 14 Подготовка проектного задания Подготовка презентации по проекту	2 2 2 2 3 3 4 1
		По разделам 8-12	Изучение конспектов лекций по теме «История открытия полупроводников» Изучение конспектов лекций по теме «Энергетический спектр реальных полупроводников» Разбор стандартных заданий по теме «Энергетический спектр реальных полупроводников» Изучение конспектов лекций по теме «Статистика полупроводников» Разбор стандартных заданий по теме «Статистика полупроводников» Изучение конспектов лекций по теме «Явления электронного переноса» Разбор стандартных заданий по теме «Явления электронного переноса»	2 2 3 2 3 2 3
				3

	Разбор нестандартных заданий по разделу 9	3
	Разбор нестандартных заданий по разделу 10	3
	Разбор нестандартных заданий по разделу 11	3
	Разбор нестандартных заданий по разделу 12	3
	Работа с литературой	3
	Сдача экзамена	4
Итого в семестре		116
ИТОГО		206

3.3. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Некоторые общие рекомендации по изучению литературы.

- 1) Всю учебную литературу желательно изучать «под конспект». Чтение литературы, не сопровождаемое конспектированием, даже пусть самым кратким – бесполезная работа. Цель написания конспекта по дисциплине – сформировать навыки по поиску, отбору, анализу и формулированию учебного материала. Эти навыки обязательны для любого специалиста с высшим образованием независимо от выбранной специальности.
- 2) Написание конспекта должно быть творческим – нужно не переписывать текст из источников, но пытаться кратко излагать своими словами содержание ответа, при этом максимально его структурируя и используя символы и условные обозначения. Копирование и заучивание неосмысленного текста трудоемко и по большому счету не имеет большой познавательной и практической ценности.
- 3) При написании конспекта используется тетрадь, поля в которой обязательны. Страницы нумеруются, каждый новый вопрос начинается с нового листа, для каждого экзаменационного вопроса отводится 1-2 страницы конспекта. На полях размещается вся вспомогательная информация – ссылки, вопросы, условные обозначения и т.д.
- 4) В идеале должен получиться полный конспект по программе дисциплины, с выделенными определениями, узловыми пунктами, примерами, неясными моментами, проставленными на полях вопросами.
- 5) При работе над конспектом обязательно выявляются и отмечаются трудные для самостоятельного изучения вопросы, с которыми уместно обратиться к преподавателю при посещении установочных лекций и консультаций, либо в индивидуальном порядке.
- 6) При чтении учебной и научной литературы всегда следить за точным и полным пониманием значения терминов и содержания понятий, используемых в тексте. Всегда следует уточнять значения по словарям или энциклопедиям, при необходимости записывать.
- 7) При написании учебного конспекта обязательно указывать все прорабатываемые источники, автор, название, дата и место издания, с указанием использованных страниц.

3.3.1. Тестирование

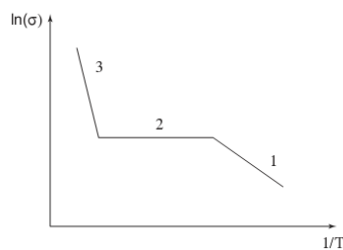
Тестирование предназначено для проверки усвоения обучающимися знаний и умений.

<p>1. Для кристаллической решетки тетрагональной сингонии характерны следующие соотношения:</p> $a = b \neq c,$ $a = b \neq c,$ $a \neq b \neq c,$ $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $\alpha = \beta = 90^\circ \gamma = 120^\circ$ $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$
<p>2. Установите соответствие между типом межатомной связи и формулой, описывающей энергию сцепления кристалла с этим видом связи:</p> <p>Ионная связь Ковалентная связь Ван-дер-ваальсова связь Формула Борна – Ланде Формула Леннарда-Джонсона</p>
<p>3. Исключите из списка типы дефектов, не являющихся поверхностными</p> <p>Дефекты по Шоттки, границы зерен, дефекты упаковки, стенки доменов, дислокации</p>
<p>1. Выберите на рисунке зонную диаграмму, соответствующую полупроводнику с акцепторной примесью.</p>



2. Установите соответствие между термином и его определением
- Дно зоны проводимости
 - Потолок валентной зоны
 - Уровень Ферми
 - Запрещенная зона
 - Область значений энергии, которыми не может обладать электрон в идеальном (бездефектном) кристалле
 - Самое низкое по энергии состояние в зоне проводимости
 - Значение энергии, ниже которой при температуре абсолютного нуля $T=0$ К, все энергетические состояния системы частиц, подчиняющихся Ферми — Дирака статистике, заняты, а выше — свободны
 - Верхняя граница валентной зоны

3. Укажите, какой цифре соответствует область собственной проводимости в полупроводнике.



3.3.2. Индивидуальные домашние задания

Индивидуальные расчетные задания направлены на формирование у обучающихся навыков решения задач физики твердого тела и полупроводников различного уровня сложности.

Образцы ИДЗ

ИДЗ по теме 1	1. Сколько атомов приходится на одну элементарную ячейку 1) примитивной решетки кубической сингонии; 2) объемно-центрированной решетки ромбической сингонии.
	2. Используя метод упаковки шаров, найти отношение c/a параметров в гексагональной решетке с плотнейшей упаковкой. Указать причины отклонения этой величины в реальном кристалле от вычисленного
	3. Система плоскостей в примитивной кубической решетке задана индексами Миллера (221). Найти наименьшие отрезки, отсекаемые плоскостью на осях координат, и изобразить эту плоскость графически
Защита лабораторных работ по теме 2	1. Опишите суть опыта, проводимого в работе.
	1. Почему при проведении расчетов необходимо учитывать толщину образца? Объясните, как толщина образца влияет на вид дебаеграммы.
	3. Объясните принцип действия рентгеновской установки
ИДЗ по теме 2	1. Приведите примеры влияния дефектов на свойства твердых тел.
	2. Вычислите равновесную концентрацию дефектов по Шоттки в кристалле.
	3. Выведите законы Фика для диффузии внедренных атомов в разбавленных твердых растворах.
ИДЗ по теме 3	1. Найдите зависимость среднеквадратичных смещений атомов при тепловых колебаниях от массы атомов.
	2. Определите приближенно скорость звука в алмазе, зная, что дебаевская температура

	<p>алмаза – 1860 К, а кратчайшее межатомное расстояние - 1,54 Å.</p> <p>3. Найти частоту ν колебаний атомов серебра по теории теплоемкости Эйнштейна, если характеристическая температура θ_E серебра равна 165К</p>
ИДЗ по теме 4	<p>1. Приведите примеры применения постоянных магнитов</p> <p>2. Висмутовый шарик радиусом $R=1$ см помещен в однородное магнитное поле ($B_0=0,5$ Тл). Определить магнитный момент p_m, приобретенный шариком, если магнитная восприимчивость χ висмута равна $-1,5 \cdot 10^{-4}$</p> <p>3. Определить частоту ω_L ларморовой прецессии электронной орбиты в атоме, находящемся в магнитном поле Земли ($B=50$ мкТл)</p>
ИДЗ по теме 5	<p>1. Считая золото одновалентным металлом со сферической поверхностью Ферми, найдите e_F, T_F, V_F, L_F при $T = 77$ К и 295 К. Используйте при решении задачи следующие данные: плотность Au $19,3$ г/см³, атомный вес равен 197, удельное сопротивление при 77 К $0,5 \times 10^{-6}$ Ом×см, при 295 К – $2,2 \times 10^{-6}$ Ом×см</p> <p>2. Объясните явление гистерезиса в сегнетоэлектриках.</p> <p>3. Поляризация титаната бария при некоторой температуре составляет около $0,25$ К/м². Какова напряженность электрического поля в пластинке из титаната бария, вырезанной перпендикулярно к сегнетоэлектрической оси?</p>
ИДЗ по теме 6	<p>1. Зарисуйте и объясните зонную структуру кремния</p> <p>2. Зная распределение $dn(\epsilon)$ электронов в металле по энергиям, установить распределение $dn(p)$ электронов по импульсам. Найти частный случай распределения при $T=0$К.</p> <p>3. Удельная проводимость γ кремния с примесями равна 112 Ом/м. Определить подвижность b_p дырок и их концентрацию n_p, если постоянная Холла $R_H=3,66 \cdot 10^{-4}$ м³/Кл. Принять, что полупроводник обладает только дырочной проводимостью.</p>
ИДЗ по теме 9	<p>1. Рассмотрите энергетические уровни в одномерной решетке с периодом d, где потенциальная энергия имеет вид: $U = U_0$, при $-b \leq x \leq 0$ $U = 0$, при $0 \leq x \leq d - b$, $U(x + d) = U(x)$</p> <p>2. Определите значения энергии для верхнего края первой зоны и нижнего края второй зоны на границе зон, если $U_0=0,1$, $d=8$ и $b=3$ ат.ед.</p> <p>3. Свет падает на образец кремния, легированный донорами с концентрацией $N_D=10^{16}$ см⁻³. при этом генерируется 10^{11} см⁻³·с⁻¹ электронно-дырочных пар. Генерация происходит равномерно по образцу. Имеется 10^8 см⁻³ центров генерации и рекомбинации с энергией $E_t=E_i$, поперечные сечения захвата электронов и дырок равны 10^{-14} см². Рассчитайте установившиеся времена релаксации системы после выключения света и время жизни.</p>
ИДЗ по теме 10	<p>1. Определить уровень Ферми ϵ_f в собственном полупроводнике, если энергия ΔE_0 активации равна $0,1$эВ. За нулевой уровень отсчета кинетической энергий электронов принять низший уровень зоны проводимости.</p> <p>2. Собственный полупроводник (германий) имеет при некоторой температуре удельное сопротивление $\rho=0,480$м·м. Определить концентрацию n носителей заряда, если подвижности b_n и b_p электронов и дырок соответственно равны $0,36$ и $0,16$ м²/(В·с).</p> <p>3. В германий часть атомов замещена атомами сурьмы. Рассматривая дополнительный электрон примесного атома по модели Бора, оценить его энергию E связи и радиус r орбиты. Диэлектрическая проницаемость ϵ германия равна 16.</p>
ИДЗ по теме 11	<p>1. Полупроводник в виде тонкой пластины шириной $l=1$см и длиной $L=10$см помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B=0,2$Тл. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости пластины. К концам пластины (по направлению L) приложено постоянное напряжение $U=300$В. Определить холловскую разность потенциалов U_H на гранях пластины, если постоянная Холла $R_H=0,1$м³/Кл, удельное сопротивление $\rho=0,5$Ом·м.</p> <p>2. Собственный полупроводник (германий) имеет при некоторой температуре удельное сопротивление $\rho=0,480$м·м. Определить концентрацию n носителей заряда, если подвижности b_n и b_p электронов и дырок соответственно равны $0,36$ и $0,16$ м²/(В·с).</p> <p>3. Тонкая пластина из кремния шириной $l=2$см помещена перпендикулярно линиям индукции однородного магнитного поля ($B=0,5$Тл). При плотности тока $j=2$мкА/мм², направленного вдоль пластины, холловская разность потенциалов U_H оказалась равной $2,8$В. Определить концентрацию n носителей заряда.</p>

3.3.3. Проект

Методика подготовки проекта

Проект представляет собой комплексное практическое задание, направленное на закрепление умений и навыков формулировать и решать исследовательские задачи и использовать профессиональную информацию.

Проектное задание может выполняться индивидуально или в малых группах.

Этапы подготовки проекта

Подготовка

- Постановка исследовательской задачи и обоснование ее актуальности;
- Разработка структуры проекта;

Планирование

- Определение источников необходимой информации;
- Определение способов сбора и анализа информации;
- Определение способа представления результатов (формы проекта);
- Установление процедур и критериев оценки результатов проекта;
- Распределение задач (обязанностей) между участниками проекта (в случае

группового выполнения).

Выполнение проекта

- Сбор и уточнение информации (основные инструменты: интервью, опросы, наблюдения, эксперименты и т.п.);
- Выявление и обсуждение альтернатив, возникших в ходе выполнения проекта;
- Выбор оптимального варианта хода проекта;
- Поэтапное выполнение исследовательских задач проекта.

Выводы

- Анализ информации;
- Формулирование выводов.

Обобщающий этап: оформление результатов.

Доработка проектов с учетом замечаний и предложений

Подготовка к публичной защите проектов

- Подготовка отчета о ходе выполнения проекта с объяснением полученных результатов (возможные формы отчета: устный отчет, устный отчет с демонстрацией материалов, письменный отчет);
- Генеральная репетиция публичной защиты проектов;
- Анализ выполнения проекта, достигнутых результатов (успехов и неудач) и причин этого.

Представление (защита) проекта и оценка его результатов

- Подготовка отчета о ходе выполнения проекта с объяснением полученных результатов (возможные формы отчета: устный отчет, устный отчет с демонстрацией материалов, письменный отчет);
- Анализ выполнения проекта, достигнутых результатов (успехов и неудач) и причин этого.

Заключительный этап:

- Публичная защита проектов осуществляется на итоговом занятии.

Результаты выполнения проекта оцениваются по итогам рассмотрения комиссией представленного продукта с краткой пояснительной запиской, презентации обучающегося и отзыва руководителя.

3.3.4. Лабораторные работы

Выполнение студентами лабораторных и практических работ направлено на достижение следующих целей:

обобщение, систематизация, углубление, закрепление полученных теоретических знаний;

формирование умений, получение первоначального практического опыта по выполнению профессиональных задач в соответствии с требованиями к результатам освоения дисциплины. Освоенные на практических и лабораторных занятиях умения в совокупности с усвоенными знаниями и полученным практическим опытом при прохождении учебной и производственной практики формируют профессиональные компетенции;

совершенствование умений применять полученные знания на практике, реализация единства интеллектуальной и практической деятельности;

выработка при решении поставленных задач таких профессионально значимых качеств, как творческая инициатива, самостоятельность, ответственность, способность работать в команде и брать на себя ответственность за работу всех членов команды, способность к саморазвитию и самореализации

Алгоритм выполнения студентами учебных заданий лабораторной работы во многом определяется целью данной формы практического занятия, формулируемой преподавателем.

Как и всякое практическое занятие, каждая лабораторная работа должна иметь четко сформулированную цель своего проведения.

Учебные задания, разрабатываемые преподавателем в соответствии с задачами лабораторной работы, всегда должны содержать исходные данные для самостоятельного выполнения студентами профессионально ориентированных прикладных учебных действий.

Процесс подготовки, выполнения и защиты лабораторной работы предполагает следующие этапы:

1. Подготовка к лабораторной работе. Оформление макета отчета. Макет отчета должен содержать:
тему лабораторной работы;
цель занятия;
ключевые расчетные формулы и схемы;
таблицы для представления полученных результатов;
формулы для расчета погрешностей.
2. Допуск к выполнению лабораторной работы осуществляется по результатам собеседования с преподавателем, на котором студенты демонстрируют, что знают, что, зачем и в какой последовательности будут выполнять.
3. Выполнение лабораторной работы. В ходе выполнения студенты решают поставленные учебные задачи, получают необходимые результаты и оформляют отчет.
4. Завершение отчета и защита лабораторной работы. На этом этапе студенты завершают расчеты по лабораторной работе, рассчитывают погрешности, если это предусмотрено заданиями, и формулируют вывод по результатам работы. Защита работы предполагает анализ преподавателем отчета и ответ студентов на контрольные вопросы.

Образцы заданий для защиты лабораторных работ

Защита лабораторных работ по теме 1	1. Изложите основные положения рентгенофазового анализа.
	2. Объясните принцип опыта, проведенного в работе
	3. Дайте определение индексам Миллера и опишите их
Защита лабораторных работ по теме 2	1. Опишите суть опыта, проводимого в работе.
	2. Почему при проведении расчетов необходимо учитывать толщину образца? Объясните, как толщина образца влияет на вид дебаеграммы.
	3. Объясните принцип действия рентгеновской установки
Защита	1. Объясните природу парамагнетизма

лабораторных работ по теме 4	2. В чем заключается явление электронного парамагнитного резонанса? 3. В чем отличие ферромагнетиков от антиферромагнетиков?
Защита лабораторных работ по теме 5	1. Охарактеризуйте природу основных видов поляризации 2. В чем заключается пьезоэффект? Перечислите примеры его применения в технике. 3. Что такое температура Кюри?
Защита лабораторных работ по теме 6	1. Может ли в твердом теле отсутствовать запрещенная зона? 2. Как образуются энергетические зоны в твердых телах? 3. В каких приборах используются особенности зонной структуры твердых тел?
Защита лабораторных работ по теме 9	1. Сформулируйте основные положения модели Кронига-Пенни. 2. Какую структуру называют сверхрешеткой? Каковы ее свойства? 3. Объясните принцип измерения ширины запрещенной зоны оптическим методом
Защита лабораторных работ по теме 10	1. Что такое энергия Ферми? 2. Как изменяются функции плотности состояний и распределения носителей в полупроводнике заряда с ростом температуры? 3. Охарактеризуйте особенности температурной зависимости собственной и примесной проводимости.
Защита лабораторных работ по теме 11	1. Объясните причину возникновения эффекта Холла в полупроводниках 2. Что такое туннельный эффект? Можно ли объяснить такой эффект с позиций классической физики? 3. Объясните принцип действия измерителя магнитной индукции.
Защита лабораторных работ по теме 12	1. В чем заключается эффект Шубникова- де Газа? 2. Какие системы называются системами пониженной размерности? Приведите примеры. 3. Какие параметры электронного газа можно определить из осцилляций Шубникова- де Газа.

3.3.5. Контрольная работа

Цель контрольной работы:

- получить специальные знания по выбранной теме;

Основные задачи выполняемой работы:

- 1) закрепление полученных ранее теоретических знаний;
- 2) выработка навыков самостоятельной работы;
- 3) выяснение подготовленности студента к будущей практической работе

Контрольная работа включает в себя три задания:

Образцы заданий контрольной работы:

Контрольная работа по темам 1-6	1. Вычислить угол φ между нормальными к плоскостям (в кубической решетке), заданных индексами Миллера (111) и (111). 2. Определить максимальную частоту ω_{\max} собственных колебаний в кристалле золота по теории Дебая. Характеристическая температура θ_D равна 180К. 3. Оценить температуру $T_{\text{кр}}$ вырождения для калия, если принять, что на каждый атом приходится по одному свободному электрону. Плотность ρ калия 860 кг/м ³ .
Контрольная работа по темам 8-11	1. Удельная проводимость γ кремния с примесями равна 112 Ом/м. Определить подвижность b_p дырок и их концентрацию n_p , если постоянная Холла $R_H = 3,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$. Принять, что полупроводник обладает только дырочной проводимостью. 2. Выразить среднюю квадратичную скорость $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ электронов в полупроводнике при $T=0\text{К}$ через максимальную скорость U_{\max} электронов. Функцию распределения электронов по скоростям считать известной. 3. Образец арсенида галлия подвергается внешнему воздействию, в результате которого генерируется $10^{15} \text{ см}^{-3} \cdot \text{с}^{-1}$ электронно-дырочных пар. Уровень легирования $2 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-3}$, время жизни $\tau_0 = 5 \cdot 10^{-8} \text{ с}$, $T=300 \text{ К}$. Вычислите коэффициент рекомбинации.

3.3.6. Реферат

Рефераты по дисциплине предполагают анализ литературы по предложенной тематике и представление материалов для общего обсуждения для более полного охвата материала и отработки навыков постановки

исследовательских заданий.

Примерные темы рефератов

Реферат	Метод Чохральского
	Газофазная эпитаксия
	Молекулярно-лучевая эпитаксия

4. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ И РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Виды контроля и аттестации, формы оценочных средств

(см. Фонд оценочных средств)

4.2. Рейтинговая система оценки знаний обучающихся по учебной дисциплине

Рейтинговая система не используется.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1. Основная литература

п/п	Автор (ы), наименование, место издания и издательство, год	Используется при изучении разделов	Семестр	Количество экземпляров	
				в библиотеке	на кафедре
1	2	3	4	5	6
1	Гуртов, В.А. Физика твердого тела для инженеров : учебное пособие / В.А. Гуртов, Р.Н. Осауленко ; науч. ред. Л.А. Алешина. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Техносфера, 2012. - 560 с. - (Мир физики и техники). - ISBN 978-5-94836-327-1 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=233466 (13.11.2018).	1 - 7	10	ЭБС	
2	Фомин, Д.В. Экспериментальные методы физики твердого тела : учебное пособие / Д.В. Фомин. - Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2014. - 186 с. : ил., схем., табл. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-4475-2829-4 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=259074 (13.11.2018).	1 - 7	10	ЭБС	

5.2. Дополнительная литература

п/п	Автор (ы), наименование, место издания и издательство, год	Используется	мес	ст	Количество экземпляров
-----	--	--------------	-----	----	------------------------

		при изучен ии раздел ов		в библиот еке	на кафедре
1	2	3	4	5	6
1	Афанасова, М.М. Физика твердого тела и полупроводников: практикум по выполнению лабораторных работ в среде Mathcad [Текст]: Практикум по выполнению лабораторных работ в среде Mathcad / Афанасова М.М., Горбунова Ю.Н. / РГУ им. С. А. Есенина. - Рязань, Рязанский институт развития образования, 2014 – 41 с.	1-7	10	10	5
2	Гантмахер, В.Ф. Электроны в неупорядоченных средах [Электронный ресурс] / В.Ф. Гантмахер. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Физматлит, 2005. - 233 с. URL: //biblioclub.ru/index.php?page=book&id=75495 (19.12.2016)	1-7	10	ЭБС	
3	Ашкрофт, Н. Физика твердого тела / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. - Москва : Мир, 1978. - Т. 1. - 391 с. : ил. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483337 (13.11.2018).	1-7	10	ЭБС	
4	Ашкрофт, Н. Физика твердого тела / Н. Ашкрофт, Н. Мермин. - Москва : Мир, 1979. - Т. 2. - 419 с. : ил. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483336 (13.11.2018).	1-7	10	ЭБС	
5	Киттель, Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель ; пер. с англ. А. Гусева. - Москва : Наука, 1978. - 788 с. : ил. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483361 (13.11.2018).	1-7	10	ЭБС	
6	Задачи по физике твердого тела / под ред. Г.Д. Голдсמיד ; пер. с англ. А.А. Гусеева, М.П. Шаскольской. - Москва : Наука, 1976. - 429 с. : ил. ; То же [Электронный ресурс]. - URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483354 (13.11.2018).	1-7	10	ЭБС	

5.3. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

1. Университетская библиотека ONUNE [Электронный ресурс] : электронная библиотека. - Доступ к полным текстам по паролю. - Режим доступа: <http://biblioclub.ni/index.php?page=main> ub red (дата обращения: 13.11.2018).

5.4. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» (далее – сеть «Интернет»), необходимых для освоения дисциплины

1. Научная электронная библиотека — URL: <http://elibrary.ru> - (дата обращения 13.11.2018)
2. Guide to physics on the web — URL: <http://www.physics.org> - (дата обращения 13.11.2018)
3. Сайт, посвященный современным достижениям физики и смежных с ней областей исследования «Физика сегодня» — URL: <http://www.physicstoday.org> (дата обращения 13.11.2018)
4. Сайт журнала теоретической и математической физики — URL: <http://www.mathnet.ru/php/journal.phtml?jrnid=tmf> (дата обращения 13.11.2018)
5. Сайт журнала «Физика твердого тела» — URL: <http://journals.ioffe.ru/ftt/> (дата обращения 13.11.2018)
6. Подборка моделей по физике твердого тела — URL: <http://jas.eng.buffalo.edu/> (дата обращения 13.11.2018)
7. Center of Solid State Physics — URL: <http://www.e-physica.pl/> (дата обращения 13.11.2018)

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Требования к аудиториям (помещениям, местам) для проведения занятий:

Стандартно оборудованные лекционные аудитории для проведения интерактивных лекций: видеопроектор, экран настенный, др. оборудование или компьютерный класс

6.2. Требования к оборудованию рабочих мест преподавателя и обучающихся:

Видеопроектор, ноутбук, переносной экран. Компьютерный класс, оборудованный компьютерами

6.3. Требования к специализированному оборудованию:

Не предусмотрено.

7. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ (Заполняется только для стандарта ФГОС ВПО)

8. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Основными видами аудиторной работы студентов являются лекции, лабораторные и семинарские занятия.

В ходе лекций преподаватель излагает и разъясняет основные, наиболее сложные понятия темы, а также связанные с ней теоретические и практические проблемы, дает рекомендации на семинарское занятие и указания на самостоятельную работу.

Семинарские занятия завершают изучение наиболее важных тем учебной дисциплины. Они служат для закрепления изученного материала, развития умений и навыков подготовки докладов, сообщений, приобретения опыта устных публичных выступлений, ведения дискуссии, аргументации и защиты выдвигаемых положений, решения стандартных и нестандартных задач различной степени сложности, а также для контроля преподавателем степени подготовленности студентов по изучаемой дисциплине.

Семинар предполагает свободный обмен мнениями по избранной тематике. Он начинается со вступительного слова преподавателя, формулирующего цель занятия и характеризующего его основную проблематику. Затем, как правило, заслушиваются сообщения студентов, либо студентам предлагается ознакомиться с нормативными документами. Обсуждение сообщения или изученных материалов совмещается с рассмотрением намеченных вопросов. Сообщения, предполагающие анализ публикаций по отдельным вопросам семинара, заслушиваются обычно в середине занятия. Поощряется выдвижение и обсуждение альтернативных мнений. Завершающий этап предполагает разбор задач по изучаемой теме. В заключительном слове преподаватель подводит итоги обсуждения и объявляет оценки выступавшим студентам.

При подготовке к семинару студенты имеют возможность воспользоваться консультациями преподавателя. Кроме указанных тем студенты вправе, по согласованию с преподавателем, избирать и другие интересующие их темы.

При подготовке к лабораторной работе студенты изучают методические указания к лабораторным работам, готовят макет отчета к лабораторной работе, изучают теоретические основы работы и порядок ее выполнения, а также завершают подготовку отчета по предыдущей лабораторной работе, готовят ответы на контрольные вопросы.

В ходе лабораторных занятий углубляются и закрепляются знания студентов по ряду рассмотренных на лекциях вопросов, формируются умения и навыки по разделам дисциплины.

При подготовке к лабораторным занятиям студент должен:

- изучить теорию по теме лабораторной работы, используя конспект лекций и рекомендуемую литературу;
- составить план выполнения опытов с учётом правил техники безопасности;
- получить допуск к работе в лабораторной аудитории, ознакомившись с инструкцией по охране труда;

- ознакомиться с вопросами к допуску к лабораторной работе и быть готовым ответить на них во время допуска к выполнению работы.

В процессе выполнения лабораторной работы, в случае затруднения, студент вправе обратиться за помощью к преподавателю.

После выполнения всех заданий лабораторной работы студенту надлежит выполнить индивидуальное творческое задание к лабораторной работе, направленное на закрепление умений студента, полученных в ходе выполнения заданий лабораторной работы, но требующее от студента их применения в новой ситуации.

Результаты выполнения лабораторной работы и индивидуального творческого задания представляются преподавателю для проверки. Проверка преподавателя осуществляется не только визуально, но и предусматривает ответы студента на уточняющие вопросы, поэтому перед сдачей лабораторной работы необходимо еще раз просмотреть теоретический материал к работе.

9. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

1. Чтение лекций с использованием слайд-презентаций, электронного курса лекций, графических объектов, видео- аудио- материалов
2. Проверка домашних заданий и консультирование посредством электронной почты.
3. Представление результатов практических заданий (рефератов, проектов) с использованием слайд-презентаций, графических объектов, видео- аудио- материалов.
4. ИТ обработка данных при выполнении проекта

10. Требования к программному обеспечению учебного процесса:

1. Операционная система Windows Pro (договор №Tr000043844 от 22.09.15г.);
2. Антивирус Kaspersky Endpoint Security (договор №14/03/2018-0142 от 30/03/2018г.);
3. Офисное приложение LibreOffice (свободно распространяемое ПО);
4. Архиватор 7-zip (свободно распространяемое ПО);
5. Браузер изображений FastStoneImageViewer (свободно распространяемое ПО);
6. PDF ридер FoxitReader (свободно распространяемое ПО);
7. PDF принтер doPdf (свободно распространяемое ПО);
8. Медиа проигрыватель VLC media player (свободно распространяемое ПО);
9. Запись дисков ImageBurn (свободно распространяемое ПО);
10. DJVU браузер DjVu Browser Plug-in (свободно распространяемое ПО).

11. Иные сведения

Приложение 1

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине для промежуточного контроля успеваемости

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины (результаты по разделам)	Код контролируемой компетенции или её части	Наименование оценочного средства
1	Конденсированное состояние сред. Элементы кристаллографии	ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-8; ПК-14	Зачет, экзамен
2	Дефекты в кристаллах		
3	Динамика кристаллической решетки.		
4	Магнитные свойства твердых тел		
5	Диэлектрические свойства твердых тел.		
6	Зонная структура твердых тел		
7	Сверхпроводимость и современные материалы		

ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОБУЧЕНИЯ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Индекс компетенции	Содержание компетенции	Элементы компетенции	Индекс элемента
ОПК-1	способностью использовать фундаментальные законы природы и основные законы естественнонаучных дисциплин профессиональной деятельности	знать	
		1 Законы физики твердого тела и полупроводников и их технические приложения	ОПК-1 З1
		уметь	
		1 Применять законы физики твердого тела и полупроводников для решения профессионально ориентированных задач	ОПК1 У1
		владеть	
		1 Приемами применения на практике законов физики твердого тела и полупроводников	ОПК1 В1
ОПК-2	способностью применять	знать	

	методы математического анализа, моделирования, оптимизации и статистики для решения задач, возникающих в ходе профессиональной деятельности		1 Особенности физико-математического аппарата физики твердого тела и полупроводников	ОПК2 З1
			уметь	
			1 Применять методы физики твердого тела и полупроводников на практике	ОПК2 У1
			владеть	
			1 Аппаратом физики твердого тела и полупроводников	ОПК2 В1
ОПК-3	способностью к теоретическим и экспериментальным исследованиям в избранной области технической физики, готовностью учитывать современные тенденции развития технической физики в своей профессиональной деятельности		знать	
			1 Особенности теоретических и экспериментальных исследований в области физики твердого тела и полупроводников, современные проблемы и достижения физики твердого тела и полупроводников	ОПК3 З1
			уметь	
			1 Проводить простейшие теоретические и экспериментальные исследования в области физики твердого тела и полупроводников	ОПК3 У1
			владеть	
			1 Опытом поиска и обсуждения современных достижений физики твердого тела и полупроводников	ОПК3 В1
ОПК-8	способностью самостоятельно осваивать современную физическую, аналитическую и технологическую аппаратуру различного назначения и работать на ней		знать	
			1 Современное аналитическое оборудование в области физики твердого тела	ОПК8 З1
			2 Современные методы изучения твердого тела и полупроводников	ОПК8 З2
			уметь	
			1 Подбирать оборудование и режимы работы оборудования, необходимые для проведения экспериментальных исследований в области твердого тела	ОПК8 У1
			2 Производить поиск информации о современных методах исследования твердых тел и полупроводников	ОПК8 У2
			владеть	
			1 Опытом работы с аналитическим оборудованием в области твердого тела и полупроводников	ОПК8 В1

ПК-14	способностью разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных установок, проекты изделий с учетом технологических, экономических и эстетических параметров	знать	
		1 Основные практические применения достижений физики твердого тела и полупроводников	ПК14 З1
		уметь	
		1 Ориентироваться в применении законов и положений физики твердого тела и полупроводников в функциональных и структурных элементах и узлах установок	ПК14 У1
		владеть	
		1 Навыками оценки перспективности тех или иных достижений физики твердого тела и полупроводников для физической электроники	ПК14 В1

КОМПЛЕКТ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ (ЭКЗАМЕН)

№	*Содержание оценочного средства	Индекс оцениваемой компетенции и ее элементов
1.	Предмет и методы физики твердого тела. Разделы физики твердого тела, ее связь с другими науками. Современное состояние	ОПК-1 З1, ПК14 З1
2.	Одноэлектронное приближение. Теорема Блоха	ОПК-1 З1, ОПК2 З1, ОПК3 З1
3.	Определить число элементарных ячеек кристалла объемом $V=1 \text{ м}^3$ хлористого цезия (решетка объемно-центрированная кубической сингонии). Проанализируйте, как подобные задачи могут быть использованы в физической электронике	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК1 В1, ОПК2 У1, ОПК2 В1, ОПК3 У1, ОПК3 В1, ПК14 З1, ПК14 У1
4.	Пользуясь классической теорией, вычислите удельные теплоемкости с кристаллов NaCl и CaCl ₂ . Спланируйте профессиональную ситуацию, в которой может быть использована подобная задача	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК1 В1, ОПК2 З1, ОПК2 У1, ОПК2 В1, ПК14 З1, ПК14 У1
5.	Кристаллическое состояние и его классификация. Аморфное и жидкое состояние. Дискуссионные вопросы кристаллографии.	ОПК-1 З1, ОПК3 З1, ОПК8 З2
6.	Структура энергетических зон твердого тела. Проанализируйте степень сложности темы и предложите адаптированные темы исследований. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК2 В1, ОПК3 З1, ОПК3 У1, ОПК3 В1, ОПК8 З1, ОПК8 У1
7.	Кристаллическая решетка. Элементарная ячейка, базис. Предложите варианты тем исследований, связанных с созданием моделей кристаллических решеток.	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК3 У1, ОПК3 В1, ОПК8 У2, ПК14 З1

8.	Виды поляризации в диэлектриках. Можно ли объяснить различные виды поляризации исходя из классических представлений? Объясните свою точку зрения.	ОПК-1 З1, ОПК3 З1, ОПК3 В1, ОПК8 З2, ПК14 У1
9.	Определить число элементарных ячеек кристалла объемом $V=1 \text{ м}^3$ кобальта, имеющего гексагональную структуру с плотной упаковкой. Сформулируйте примерный план исследований на основе данной задачи. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК1 В1, ОПК2 У1, ОПК2 В1, ОПК3 З1, ОПК3 У1, ОПК8 У1, ОПК8 В1
10.	Определить изменение $\square U$ внутренней энергии кристалла никеля при нагревании его от $t=0^\circ\text{C}$ до $t_2=300^\circ\text{C}$. Масса m кристалла равна 20 г. Теплоёмкость C вычислить. Сформулируйте проблемные вопросы на основе задачи.	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК1 В1, ОПК2 У1, ОПК2 В1, ОПК3 З1, ОПК3 В1
11.	Кристаллическая решетка. Кристаллографические направления, плоскости и зоны. Проанализируйте возможные межпредметные связи темы.	ОПК-1 З1, ОПК2 З1, ОПК3 З1, ПК14 З1
12.	Типичные свойства металлов. Практическая значимость металлов.	ОПК-1 З1, ОПК3 З1, ОПК8 У2, ПК14 З1, ПК14 У1
13.	Найти плотность ρ кристалла неона (при 20 К), если известно, что решетка гранецентрированная кубической сингонии. Постоянная a решетки при той же температуре равна 0,452 нм. Предложите примерный план исследования данной задачи. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК1 В1, ОПК2 У1, ОПК2 В1, ОПК3 З1, ОПК3 У1, ОПК8 У1
14.	Определить энергию U и теплоемкость C системы, состоящей из $N=10^{25}$ классических трёхмерных независимых гармонических осцилляторов. Температура $T=300\text{K}$. Сравните классический и квантовый подходы к решению данной задачи.	ОПК-1 З1, ОПК1 В1, ОПК2 У1, ОПК2 В1
15.	Кристаллическая решетка. Сингонии кристаллов. Решетки Бравэ. Ячейка Вигнера-Зейтца. Проанализируйте возможные межпредметные связи темы.	ОПК-1 З1, ОПК2 З1, ОПК8 У2, ПК14 З1
16.	Взаимодействие электромагнитного излучения с твердым телом. Предложите примерный план исследования практических приложений темы. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК3 З1, ОПК3 У1, ОПК8 З1, ОПК8 З2, ОПК8 У1, ОПК8 В1
17.	Найти частоту ν колебаний атомов серебра по теории теплоемкости Эйнштейна, если характеристическая температура θ_E серебра равна 165К. Объясните, какие еще возможны подходы к решению этой задачи.	ОПК-1 З1, ОПК1 В1, ОПК2 У1, ОПК2 В1
18.	Симметрия кристаллов. Точечные операции симметрии. Пространственные группы симметрии. Объясните геометрические основы темы.	ОПК-1 З1, ОПК2 З1, ОПК3 З1
19.	Эффекты Джозефсона. Предложите варианты исследований по теме. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	ОПК-1 З1, ОПК3 З1, ОПК3 У1, ОПК8 З1, ОПК8 З2, ОПК8 У1, ОПК8 В1
20.	Обратная решетка. Принцип плотной упаковки. Сформулируйте основные направления	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК3 У1, ОПК8 У1, ОПК8 В1

	исследовательской деятельности по данной теме. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	
21.	Связь между поляризуемостью и диэлектрической проницаемостью. Электрострикция, пьезоэффект, пирозэффект. Предложите план исследований по практическому применению перечисленных эффектов. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК3 З1, ОПК3 У1, ОПК8 З1, ОПК8 З2, ОПК8 У1, ОПК8 В1
22.	Найти постоянную a решетки и расстояние d между ближайшими соседними атомами кристалла алюминия (решетка гранцентрированная кубической сингонии. Проиллюстрируйте решение геометрически.	ОПК-1 З1, ОПК1 В1, ОПК2 З1, ОПК2 У1, ОПК2 В1
23.	Полиморфизм. Жидкие кристаллы. Предложите темы исследований, связанные с практическим применением жидких кристаллов и полиморфизма. Оцените эффективность этих исследований	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК3 З1, ОПК8 З1, ОПК8 У2, ПК14 З1, ПК14 У1, ПК14 В1
24.	Основные характеристики диэлектриков. Сформулируйте перечень исследовательских заданий, позволяющий раскрыть данную тему и ее важность для практики. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК3 З1, ОПК3 У1, ОПК8 У1, ОПК8 В1
25.	Методы определения структуры твердых тел. Предложите простые практические задания по теме.	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК3 В1, ОПК8 З1, ОПК8 З2, ОПК8 У2, ПК14 З1
26.	Энергия Ферми. Критерий вырождения электронного газа.	ОПК-1 З1, ОПК3 З1
27.	Определить относительную погрешность, которая будет допущена, если при вычислении теплоемкости C вместо значения, даваемого теорией Эйнштейна (при $T=\theta_E$), воспользоваться значением, даваемым законом Дюлонга и Пти.	ОПК-1 З1, ОПК1 В1, ОПК2 З1, ОПК2 У1, ОПК2 В1
28.	Химическая связь и валентность. Энергия связи. Сформулируйте и обоснуйте межпредметные связи раздела	ОПК-1 З1, ОПК3 З1, ОПК8 У2, ПК14 З1
29.	Сегнетоэлектрики. Электреты. Предложите план исследований по данной теме. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК3 З1, ОПК3 У1, ОПК8 З1, ОПК8 З2, ОПК8 У1, ОПК8 В1, ПК14 У1
30.	Типы межатомных связей в твердых телах. Ионная и ковалентная связь. Сформулируйте и обоснуйте межпредметные связи раздела	ОПК-1 З1, ОПК2 З1, ОПК3 В1, ОПК8 У2
31.	Примеси и примесные уровни. Зонная структура неупорядоченных твердых тел. Объясните практическое значение темы и приведите примеры влияния примесей на свойства твердых тел.	ОПК-1 З1, ОПК1 У1, ОПК3 В1, ОПК8 З1, ОПК8 З2, ОПК8 У2, ПК14 У1

32.		<p>Определить индексы узлов, отмеченных на рис. буквами <i>A</i>, <i>B</i>, <i>C</i>, <i>D</i>.</p>	<p>ОПК-1 31, ОПК1 В1, ОПК2 31, ОПК2 У1, ОПК2 В1</p>
33.	<p>Типы межатомных связей в твердых телах. Металлическая, ван-дер-ваальсова и водородная связь. Предложите темы исследований по теме и обоснуйте их значимость. Какое оборудование необходимо для таких исследований?</p>		<p>ОПК-1 31, ОПК3 31, ОПК3 У1, ОПК3 В1, ОПК8 У1, ОПК8 В1</p>
34.	<p>Оптические характеристики металлов, диэлектриков и полупроводников. Сформулируйте план исследований по теме. Какое оборудование необходимо для таких исследований?</p>		<p>ОПК-1 31, ОПК3 31, ОПК3 У1, ОПК8 31, ОПК8 32, ОПК8 У1, ОПК8 В1</p>
35.	<p>Классификация дефектов. Геометрические основы раздела. Оцените, насколько важны дефекты для практических приложений</p>		<p>ОПК-1 31, ОПК2 31, ПК14 В1</p>
36.	<p>Классическая теория свободных электронов Друде-Лоренца. Сформулируйте основные проблемные места раздела</p>		<p>ОПК-1 31, ОПК3 31, ОПК3 В1, ОПК8 32, ОПК8 У2</p>
37.	<p>Точечные дефекты. Каким образом они могут повлиять на свойства твердых тел? Сформулируйте практическое задание по теме.</p>		<p>ОПК-1 31, ОПК1 У1, ПК14 31, ПК14 У1</p>
38.	<p>Движение электрона в периодическом поле кристалла под действием внешнего поля. Эффективная масса электрона. Насколько важна эта тема для практических приложений?</p>		<p>ОПК-1 31, ОПК3 31, ОПК8 У2, ПК14 В1</p>
39.	<p>Дислокации. Влияние дислокаций на свойства твердых тел. Сформулируйте план исследований по теме. Какое оборудование необходимо для таких исследований?</p>		<p>ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК3 У1, ОПК8 31, ОПК8 У1, ОПК8 В1</p>
40.	<p>Приближение почти свободных электронов. Модель Кронига-Пенни. Сравните модели Друде-Лоренца и Кронига-Пенни</p>		<p>ОПК-1 31, ОПК3 31</p>
41.	<p>Дефекты упаковки. Методы наблюдения дислокаций. Предложите простое исследовательское задание по теме. Какое оборудование необходимо для таких исследований?</p>		<p>ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК2 31, ОПК3 У1, ОПК8 32, ОПК8 У1, ОПК8 В1</p>
42.	<p>Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейса. Предложите план исследований ферромагнетиков. Какое оборудование необходимо для таких исследований?</p>		<p>ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК3 31, ОПК3 У1, ОПК8 31, ОПК8 32, ОПК8 У1, ОПК8 В1</p>
43.	<p>Механизмы диффузии в твердых телах. Законы Фика.</p>		<p>ОПК-1 31, ОПК3 31</p>
44.	<p>Концентрация электронов и дырок в разрешенных зонах для случая вырождения. Предложите</p>		<p>ОПК-1 31, ОПК3 31, ОПК8 У2, ПК14 В1</p>

	практические приложения темы	
45.	Колебания одномерной моноатомной цепочки атомов. Зоны Бриллюэна	ОПК-1 31, ОПК3 31
46.	Подвижность свободных носителей заряда при различных механизмах рассеяния. Проводимость в полупроводниках	ОПК-1 31, ОПК2 31, ОПК8 31, ОПК8 У2, ПК14 У1
47.	Определить концентрацию n свободных электронов в металле при температуре $T=0\text{К}$. Энергию Ферми ϵ принять равной 1эВ	ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК1 В1, ОПК2 У1, ОПК2 В1
48.	Колебательный спектр двухатомной одномерной цепочки. Акустическая и оптическая ветви колебаний.	ОПК-1 31, ОПК2 31
49.	Энергия обменного взаимодействия. Доменная структура ферромагнетиков. Предложите план исследований ферромагнетиков. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	ОПК-1 31, ОПК3 31, ОПК3 У1, ОПК8 31, ОПК8 У1, ОПК8 В1
50.	Определить отношение концентраций n_1/n_2 свободных электронов при $T=0$ в литии и цезии, если известно, что уровни Ферми в этих металлах соответственно равны $\epsilon_{f,1}=4,72\text{эВ}$, $\epsilon_{f,2}=1,53\text{эВ}$	ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК1 В1, ОПК2 У1, ОПК2 В1
51.	Колебания атомов трехмерной решетки	ОПК-1 31, ОПК2 31
52.	Плотность квантовых состояний в разрешенных зонах. Случай 2D, 1D, 0D электронного газа. Объясните значимость темы для практических приложений	ОПК-1 31, ОПК2 31, ОПК8 32, ПК14 В1
53.	Фононы. Локальные фононные моды.	ОПК-1 31, ОПК3 31
54.	Функции распределения электронов по энергиям. Предложите темы обсуждения по разделу	ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК3 В1, ОПК8 У2, ПК14 31, ПК14 У1
55.	Во сколько раз число свободных электронов, приходящихся на один атом металла при $T=0$, больше в алюминий, чем в меди, если уровни Ферми соответственно равны $\epsilon_{f,1}=11,7\text{эВ}$, $\epsilon_{f,2}=7,0\text{эВ}$?	ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК1 В1, ОПК2 У1, ОПК2 В1
56.	Теплоемкость твердых тел. Закон Дюлонга – Пти. Выделите и сформулируйте ключевые проблемные ситуации раздела	ОПК-1 31, ОПК2 31, ОПК3 В1, ОПК8 31, ОПК8 32, ОПК8 У2, ПК14 В1
57.	Концентрация электронов и дырок в собственном полупроводнике	ОПК-1 31, ОПК3 31
58.	Энергия тепловых колебаний решетки. Приближение Эйнштейна	ОПК-1 31, ОПК3 31
59.	Концентрация электронов и дырок в примесном полупроводнике	ОПК-1 31, ОПК3 31
60.	Энергия тепловых колебаний решетки. Приближение Дебая. Сравните приближения Эйнштейна и Дебая, поясните необходимость и обоснованность двух подходов.	ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК2 31, ОПК8 У2
61.	Генерация и рекомбинации в полупроводниках и диэлектриках	ОПК-1 31, ОПК3 31, ОПК8 31, ОПК8 32
62.	Электронная теплоемкость и ее зависимость от температуры	ОПК-1 31, ОПК2 31, ОПК8 32, ПК14 У1
63.	Эффект Мейснера. Сверхпроводники первого и	ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК8

	второго рода. Изотопический эффект. Предложите темы исследований по разделу. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	31, ОПК8 32, ОПК8 У1, ОПК8 В1
64.	Ангармонизм колебаний атомов и тепловое расширение. Предложите и обоснуйте темы и структуру практических заданий по теме	ОПК-1 31, ОПК2 31, ОПК8 31, ОПК8 У2, ПК14 31, ПК14 У1, ПК14 В1
65.	Плотность квантовых состояний в разрешенных зонах. Случай классического 3D-электронного газа	ОПК-1 31, ОПК8 32
66.	Выразить среднюю квадратичную скорость $\sqrt{\langle v^2 \rangle}$ электронов в металле при $T=0K$ через максимальную скорость U_{max} электронов. Функцию распределения электронов по скоростям считать известной	ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК1 В1, ОПК2 31, ОПК2 У1, ОПК2 В1, ОПК3 В1
67.	Теплопроводность твердых тел. Сформулируйте план научных исследований по разделу. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК3 31, ОПК3 У1, ОПК8 У1, ОПК8 В1
68.	Элементы зонной теории Бардина-Купера – Шриффера. Куперовские пары	ОПК-1 31, ОПК2 31, ОПК3 31, ОПК8 32, ОПК8 У2
69.	Классификация магнетиков. Сформулируйте план научных исследований по изучению магнетиков. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК3 31, ОПК3 У1, ОПК3 В1, ОПК8 32, ОПК8 У1, ОПК8 В1, ПК14 В1
70.	Кинетическое уравнение Больцмана. Дифференциальный закон Ома для невырожденного электронного газа.	ОПК-1 31, ОПК3 31
71.	Собственный полупроводник (германий) имеет при некоторой температуре удельное сопротивление $\rho=0,480\text{м}\cdot\text{м}$. Определить концентрацию n носителей заряда, если подвижности b_n и b_p электронов и дырок соответственно равны $0,36$ и $0,16 \text{ м}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$	ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК1 В1, ОПК2 У1, ОПК2 В1
72.	Природа парамагнетизма. Предложите варианты тем исследований природы парамагнетизма. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	ОПК-1 31, ОПК3 31, ОПК3 У1, ОПК8 31, ОПК8 У1, ОПК8 В1
73.	Изменение состояния электронов при сближении атомов. Энергетические зоны. Объясните значимость темы для практики	ОПК-1 31, ОПК3 31, ОПК8 32, ПК14 В1
74.	Полупроводник в виде тонкой пластины шириной $l=1\text{см}$ и длиной $L=10\text{см}$ помещен в однородное магнитное поле с индукцией $B=0,2\text{Тл}$. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости пластины. К концам пластины (по направлению L) приложено постоянное напряжение $U=300\text{В}$. Определить холловскую разность потенциалов U_H на гранях пластины, если постоянная Холла $R_H=0,1\text{м}^3/\text{Кл}$, удельное сопротивление $\rho=0,50\text{м}\cdot\text{м}$	ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК1 В1, ОПК2 31, ОПК2 У1, ОПК2 В1
75.	Высокотемпературная сверхпроводимость. Применение сверхпроводников. Предложите тему и структуру проекта по применению сверхпроводников. Какое оборудование необходимо для таких исследований?	ОПК-1 31, ОПК1 У1, ОПК2 31, ОПК3 31, ОПК3 У1, ОПК3 В1, ОПК8 31, ОПК8 32, ОПК8 У1, ОПК8 В1, ПК14 У1

ПОКАЗАТЕЛИ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ (Шкалы оценивания)

«Отлично» (5) / «зачтено» – оценка соответствует повышенному уровню и выставляется обучающемуся, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний, причем не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал монографической литературы, правильно обосновывает принятое решение, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

«Хорошо» (4) / «зачтено» - оценка соответствует повышенному уровню и выставляется обучающемуся, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос или выполнении заданий, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками и приемами их выполнения.

«Удовлетворительно» (3) / «зачтено» - оценка соответствует пороговому уровню и выставляется обучающемуся, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, демонстрирует недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при выполнении практических работ.

«Неудовлетворительно» (2) / «не зачтено» - оценка выставляется обучающемуся, который не достигает порогового уровня, демонстрирует непонимание проблемы, не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы.