

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Костромской государственный университет»
(КГУ)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)
ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

Направление подготовки: 03.03.02–Физика

Направленность: Физика

Квалификация выпускника: Бакалавр

Кострома 2023

Рабочая программа дисциплины «Физика твердого тела» разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования направления подготовки 03.03.02–Физика, утвержден 07.08.2020 г., приказ № 891

Разработал: Жиров Александр Владимирович, доцент кафедры общей и теоретической физики, к.т.н.

Рецензент: Шадрин Сергей Юрьевич, заведующий кафедрой общей и теоретической физики, к.т.н., доцент

УТВЕРЖДЕНО:

Заведующий кафедрой общей и теоретической физики

Шадрин Сергей Юрьевич к.т.н., доцент

Протокол заседания кафедры № 6 от 27 февраля 2023 г.

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Основной целью данного курса является подготовка бакалавров физики к научно-исследовательской, научно-инновационной, организационно-управленческой деятельности в научно-исследовательских институтах, лабораториях, конструкторских или проектных бюро, на предприятиях путем формирования соответствующих компетенций.

В результате изучения учебной дисциплины «Физика твёрдого тела» у обучаемых должна сформироваться профессиональная компетенция:

- Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные (ОПК-2).

Задачи дисциплины:

познакомить студентов с различными типами связи в твердых телах, элементами структурной кристаллографии, способами определения кристаллических структур;

механическими и тепловыми свойствами кристаллов;

с основными положениями зонной теории твердых тел, объяснить на её основе их электрические, оптические и магнитные свойства;

описать устройство и принцип действия твердотельных лазеров, приборов на p-n переходах.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

В результате изучения дисциплины «Физика твердого тела» обучаемые должны

Освоить компетенцию:

ОПК-2: Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.

Код и содержание индикаторов компетенции

ОПК-2.1. Выполняет научные исследования физических объектов, систем и процессов на основе специализированных знаний в области физики

ОПК-2.3. Осуществляет обработку, анализ и обобщение результатов физических экспериментов

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать

– классификацию твердых тел по типу химической связи и типу кристаллической системы; методы определения атомной структуры кристаллов и параметров их элементарных ячеек; типы дефектов;

– основные положения квантовой теории твердого тела; причины разделения твердых тел на проводники, диэлектрики и полупроводники;

– методы экспериментального определения и теоретического расчета основных параметров, характеризующих их электрические, оптические и магнитные свойства;

– состояние изученности проблем физики твердого тела

уметь

– объяснять возникновение различных типов химических связей в твердых телах на основе анализа характера сил межатомного взаимодействия в кристаллах;

– определять основные элементы симметрии кристалла по формуле симметрии, объяснять с точки зрения зонной теории различие в свойствах металлов, полупроводников, диэлектриков;

владеть

– методами количественной оценки скорости звуковых колебаний в кристаллах, температуры Дебая,

- методами количественной оценки концентрации носителей заряда, их подвижности, энергии Ферми, ширины запрещенной зоны, энергии активации примесей в полупроводниках и других параметров материала
- навыками решения практических задач физики твердого тела

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

«Физика твердого тела» изучается в седьмом семестре и относится к обязательной части образовательной программы подготовки бакалавров физики. Она базируется на таких дисциплинах, как: «Механика» (механические свойства твердых тел), «Термодинамика» (тепловые свойства твердых тел), «Электричество и магнетизм» (электрические и магнитные свойства твердых тел), «Оптика» (оптические и фотоэлектрические свойства твердых тел, дифракция рентгеновских лучей на кристаллах, квантовые генераторы), «Атомная и ядерная физика» (рентгеновские спектры, методы рентгеноструктурного анализа). Полноценное освоение дисциплины требует знаний некоторых разделов математики – математического анализа, линейной алгебры, теории дифференциальных уравнений. Физика твердого тела наряду с курсом физики составляет основу физического образования и профессиональной подготовки, а также способствует формированию современной физической картины мира. Освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее для выполнения научно-исследовательской работы и написания выпускной квалификационной работы.

4. Объем дисциплины (модуля)

4.1. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием академических (астрономических) часов и виды учебной работы

Виды учебной работы	Всего
Общая трудоемкость в зачетных единицах	5
Общая трудоемкость в часах	180
Аудиторные занятия в часах	110
Лекции	58
Практические занятия	52
Лабораторные занятия	–
Самостоятельная работа в часах	70
Форма промежуточной аттестации	Экзамен 7 семестр

4.2. Объем контактной работы на 1 обучающегося

Виды учебных занятий	Очная форма
Лекции	58
Практические занятия	52
Лабораторные занятия	–
Консультации	2
Зачет/зачеты	–
Экзамен/экзамены	0,35
Курсовые работы	3

Всего	115,35
-------	--------

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием количества часов и видов занятий

5.1 Тематический план учебной дисциплины

№ пп	Название раздела, темы	Всего час	Лекции	Практ	Сам. работа
1	Силы связи	12	4	4	4
2	Внутренняя структура твердых тел	12	4	4	4
3	Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах	12	4	4	4
4	Элементы физической статистики	18	8	6	4
5	Тепловые свойства твердых тел Теория теплоёмкости	12	4	4	4
6	Зонная теория твердых тел	16	8	6	2
7	Электропроводность твердых тел	10	4	4	2
8	Фотоэлектрические и оптические явления	10	4	4	2
9	Магнитные свойства твердых тел	12	6	4	2
10	Термоэлектрические и гальвано-магнитные явления	10	4	4	2
11	Контактные явления	10	4	4	2
12	Приборы на р-п переходах	10	4	4	2
	Экзамен	36			36
	ВСЕГО:	180	58	52	70

5.2. Содержание:

ТЕМА 1. Силы связи. Силы Ван-дер-Ваальса, ионная связь. Водородная связь. Сопоставление различных видов связи. Силы отталкивания. Разновесные постоянные решетки. Энергия связи. Сжимаемость и объемный модуль упругости.

ТЕМА 2. Внутренняя структура твердых тел. Кристаллическая решетка. Набор операций симметрии. Базис и кристаллическая структура. Примитивные ячейки. Основные типы кристаллических решеток: решетки Браве, решетки с базисом. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Классификация твердых тел по характеру сил связи. Явление полиморфизма. Дефекты кристаллической решетки.

ТЕМА 3. Дифракция в кристаллах. Закон Брэгга. Экспериментальные дифракционные методы рентгеноструктурного анализа (метод Лауэ, метод вращения кристалла, метод порошка).

ТЕМА 4. Элементы физической статистики. Описание состояния макроскопической системы. Невырожденные и вырожденные коллективы. Число состояний для микрочастиц. Функции распределения для невырожденного и вырожденного газа микрочастиц. Влияние температуры на распределение Ферми - Дирака. Условие снятия вырождения.

ТЕМА 5. Тепловые свойства твердых тел. Квантовый характер колебания решетки (фононы). Понятие о нормальных колебаниях решетки. Спектр нормальных колебаний решетки. Теплоемкость твердого тела. Теплоемкость электронного газа. Тепловое расширение твердых тел. Теплопроводность диэлектриков и металлов.

ТЕМА 6. Зонная теория твердых тел. Энергетические уровни свободных атомов. Обобществление электронов в кристалле. Энергетический спектр электронов в кристалле (энергетические зоны). Зависимость энергии электрона от волнового вектора. Эффективная масса электрона. Заполнение зон электронами. Проводники, диэлектрики и полупроводники. Собственные полупроводники. Понятие о дырках. Примесные полупроводники. Концентрация свободных носителей в полупроводниках. Положение уровня Ферми. Неравновесные носители.

ТЕМА 7. Электропроводность твердых тел. Равновесное состояние электронного газа в отсутствие электрического поля. Дрейф электронов под воздействием поля. Время релаксации и длина свободного пробега. Удельная электропроводность проводника. Электропроводность невырожденного и вырожденного газов. Закон Видемана - Франца - Лоренца. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Электропроводность чистых металлов. Электропроводность металлических сплавов. Собственная и примесная проводимости полупроводников. Эффект сильного поля (нарушение закона Ома). Эффект Ганна. Фотопроводимость полупроводников. Люминесценция. Сверхпроводимость.

ТЕМА 8. Магнитные свойства твердых тел. Магнитное поле в магнетиках (понятия намагниченности, магнитной восприимчивости и магнитной проницаемости). Диамагнитные, парамагнитные и ферромагнитные тела. Магнитные свойства атомов. Природа диамагнетизма, парамагнетизма и ферромагнетизма. Антиферромагнетизм. Ферромагнетизм. Магнитный резонанс. Понятие о квантовой электронике.

ТЕМА 19. Контактные явления. Работа выхода. Контакт двух металлов. Контакт металла с полупроводником. Контакт двух полупроводников с различным типом проводимости. Принципы работы полупроводниковых приборов, основанных на р-п-переходе. Понятие о микроэлектронике.

ТЕМА 10. Термоэлектрические и гальваномагнитные явления. Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Эффект Томсона. Гальваномагнитные явления (эффекты Холла, Эттингсхаузена и Нернста). Практическое использование термоэлектрических и гальваномагнитных явлений.

5.3 Практическая подготовка

Практическая подготовка

Код, направление, направленность	Наименование дисциплины/практики	Число часов дисциплины, реализуемые в форме практической подготовки			
		Всего	Семестр 7		
03.03.02, Физика, Физика	Физика твердого тела		Лек	Пр	Лаб
		28	–	28	–

Код компетенции	Индикатор компетенции	Содержание задания на практическую подготовку по выбранному виду деятельности	Число часов практической подготовки			
			Всего	Лекции	Практ. занятия	Лаб. работы
ОПК-2	ОПК-2.1	На основе статистики Бозе-Эйнштейна вычислить количество фононов, приходящихся на заданную частоту колебаний.	14	–	14	–
ОПК-2	ОПК-2.3	На основе зонной теории вычислить изменение толщины	14	–	14	–

		слоя объемного заряда в полупроводнике при подаче прямого и обратного напряжения				
--	--	--	--	--	--	--

6. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины

1. Дисциплина «Физика твердого тела» предназначена для формирования профессиональных качеств физика-исследователя. Рабочее место будущего физика – научные и заводские лаборатории, инженерно-физические, физико-медицинские и природоохранные учреждения. Он должен быть готов к научно-исследовательской, научно-инновационной, организационно-управленческой, экспертной, педагогической и просветительской деятельности. Поэтому наряду с фундаментальной теоретической подготовкой важно уже в студенческие годы в рамках читаемых спецкурсов создать условия для формирования и развития комплекса *исследовательских* умений и знакомства *с методами научного исследования*.

2. Изложение нового материала на лекциях проводится в рамках *комплексной* технологии, которая включает элементы таких монотехнологий как: *объяснительно-иллюстративная* с опорой на *деятельностный* подход и *проблемную* постановку вопросов, *информационно-компьютерная* технология. В лекционном курсе излагаются *основы современной зонной теории* твердых тел, изучение которой позволяет понять, почему все твёрдые тела делятся на металлы, полупроводники и диэлектрики, почему они по-разному ведут себя при изменении внешних параметров - температуры, напряжения, освещённости. Изучение данной дисциплины знакомит учащихся с физическими процессами в современной микроэлектронике, это позволяет *расширить их политехнический кругозор* и обобщить *знания в научную мировоззренческую систему*.

3. В рамках выбранной технологии разработана система обучения студентов *исследовательскому методу* через выполнение *учебно-исследовательских заданий* как на практических занятиях, так и при выполнении самостоятельной работы по индивидуальным творческим заданиям. При изучении темы: «Дифракция в кристаллах. Экспериментальные методы рентгеноструктурного анализа» проводится *экскурсия* в рентгеновскую научно-исследовательскую лабораторию университета. Она преследует цель – познакомить студентов с научными задачами, методикой и техникой рентгеноструктурного анализа, оборудованием и приборной базой лаборатории (аппарат для структурного анализа типа ДРОН-1), камеры для съёмки моно- и поликристаллов, средства индивидуальной защиты, дозиметры). По материалам экскурсии студентам рекомендуется выполнить *учебно-исследовательские задания* (лаб. работы 13 и 14), описанные в учебном пособии: Галанцева М.Л., Моисеев Б.М. Физический практикум (оптика): в 2-х ч. Часть 2. Волновая оптика.– Кострома: КГУ им. Н.А.Некрасова, 2002. – с. 41-49.

Второе пособие (Галанцева М.Л., Моисеев Б.М. Физический практикум. **Рентгеновские спектры. Основы рентгеноструктурного анализа.** – Кострома: Изд-во КГУ им. Н.А.Некрасова, 2003.- 46 стр) содержит **рекомендации** по:

1) изучению теоретического материала (особенности рентгеновских спектров), с. 5 – 13, 17 – 27.

2) выполнению практических расчетных *учебно-исследовательских* заданий на определение параметров элементарной ячейки по дифрактограммам материала, с 26 - 29;

3) подготовке к тематическому тестированию по вопросам: особенности тормозного и характеристического рентгеновских спектров. с. 6-10, 33.

Все задания сформулированы в терминах действий: описать, проанализировать, вычислить, сравнить, сделать вывод.

При таком деятельностном подходе реализуется *развивающая* функция обучения по данной дисциплине. Студенты при выполнении учебно-исследовательских заданий в рамках программы самостоятельной работы знакомятся с научными публикациями, учатся разрабатывать реферативные сообщения и выступать с докладами на семинарах, например, по таким темам:

- Рентгенодифрактометрический метод исследования структуры кристаллов.
- Фазовый анализ полиморфных материалов.
- Полупроводниковые приёмники ИК-, видимого и УФ -излучения.
- Принцип работы полупроводникового лазера.
- Получение искусственных алмазов. Лабораторное моделирование процессов внутри мантии Земли.
- Принцип работы полупроводниковых фотоэлементов и фотодиодов.
- Датчики Холла.
- Достижения науки в области нанотехнологий.

Обсуждение докладов можно проводить в День Науки на студенческой конференции или на практическом (семинарском) занятии.

4. Знакомство с научными методами исследования следует продолжить и дальше на лекциях и семинарах при обсуждении таких основополагающих тем курса, как : *Основы зонной теории. Электропроводность твердых тел. Оптические и фотоэлектрические процессы в твердых телах. Полупроводниковые лазеры.* Программой курса «**Физика твердого тела**» не предусмотрено выполнение лабораторных работ специального физического практикума. Поэтому для развития *интеллектуального потенциала*, навыков в отборе научной информации студентам наряду с решением расчетных задач предложен комплекс *экспериментально-расчётных исследовательских заданий* на основе функциональных зависимостей, взятых из научных статей и монографий.

Методические **рекомендации** по их использованию в учебном процессе описаны в статье: Галанцева М.Л., Моисеев Б.М. **Формирование творческого мышления и исследовательских навыков в процессе учебно-научно-исследовательской деятельности студентов** // Преподавание информационных и естественнонаучных дисциплин /Материалы межвузовской научно-методической конференции. – Кострома: КГУ им. Некрасова, 2007.- с.38-43.

Пример 1. Рассчитать методом структурных амплитуд спектр дифракционных отражений в кристаллах CdS и CdO. Сравнить расчётные и экспериментальные данные по предложенной рентгенограмме.

Пример 2. По графической зависимости электропроводности от температуры для некоторого полупроводникового материала определить: а) ширину запрещенной зоны – ΔE и б) энергию активации примесей – ΔE_p . Какой это материал?

5. Вышеописанные способы накопления и качественного углубления знаний в процессе учебно-исследовательской деятельности можно отнести к процессу **конструирования** (формирования) системы базовых знаний. В 7 семестре студенты 3 курса выполняют курсовую работу, которая по своей тематике, как правило, связана с будущей дипломной работой. На этом этапе исследования происходит **переконструирование** знаний. На этой стадии обучения происходит смена вида деятельности с теоретической на экспериментально-практическую при использовании информационно-компьютерных технологий:

- выбор метода, формулирование цели и проектирование методики эксперимента, адекватной поставленной задаче;

- практическая реализация алгоритма исследования, т.е. наладка экспериментальной установки, отбор совокупности приёмов и операций по измерению физических величин;

- проведение запланированных измерений и расчётов, сбор экспериментального материала.

На следующем этапе исследования – при выполнении дипломной работы – происходит *реконструирование* знаний на новом, более высоком уровне:

- обработка и анализ экспериментальных результатов;
- сопоставление полученных результатов с результатами независимых исследований других авторов;

- построение модели явления на основе эмпирических обобщений;

- выдвижение научной гипотезы для объяснения наблюдаемых процессов;

- проведение контрольного эксперимента по проверке гипотезы;

- теоретическое объяснение наблюдаемых закономерностей;

- подведение итогов исследования и формулирование выводов.

Выбор технологии обучения студентов исследовательскому методу через постановку разноуровневых проблемных учебно-исследовательских и научно-исследовательских задач способствует развитию интеллектуальных способностей, научного мышления, интегративной системы профессионально значимых компетенций и навыков самообразования.

6.1. Самостоятельная работа обучающихся по дисциплине (модулю)

№ пп	Раздел (тема) дисциплины	Задание	Часы	Методические рекомендации по выполнению задания	Форма контроля
1.	Кристаллическая структура твердых тел. Элементы симметрии	Вопросы теории ¹⁾ : [1, Гл. 1.] [2, § 1 - § 11] [3, с. 5-13] [4, № 6.193 - 6.199]	4	Изучить теорию по указанным учебникам, применить её для решения задач.	Опрос
2	Дифракция рентгеновских лучей. Закон Вульфа - Брэгга	Вопросы теории: [3, с. 17-27] Задачи [4, № 5.162 – 5.167] Подготовить доклад	4	Рекомендации указаны в издании [3 с. 5-13]	Опрос
3.	Методы рентгеноструктурного анализа.	Вопросы теории: [3, с. 17-27] [2, с. 15. 28]	4	Рекомендации указаны в издании [3, с. 27-43] [3, с. 35-42]	Опрос Тест Доклад
4.	Тепловые колебания решетки. Теплоемкость кристаллов	Вопросы теории: [1, Гл. 5, 6] [2, §30 – 34]; [4, № 6.200 - 203; № 6.209 – 218].	4	Рекомендации указаны в издании [3, с. 33]	Контр. раб. № 1,
5.	Элементы физической статистики.	Вопросы теории: [2, § 23 - 28]	4	Изучить теорию по указанным	Доклад с презентации

		Самост. работа № 1-53		учебникам, применить её для решения задач.	ей
6.	Уровни Ферми в кристаллах.	Вопросы теории: [2, § 27];.	2	Изучить теорию по указанным учебникам	Опрос
7.	Энергетический спектр электронов	Вопросы теории: [1, Гл. 7] [2, § 25 – 27]; Самост. работа № 1-53	2	Изучить теорию по указанным учебникам, применить её для решения	Опрос Тест
8.	Проводники, полупроводники и диэлектрики.	Вопросы теории: [1, Гл. 7, 8. [2]§ 42 – 46; Самост. работа № 1-53	2	Изучить теорию по указанным учебникам, применить её для решения	Контр. раб № 2
9.	Проводимость электронного газа. Закон Видемана - Франца.	Вопросы теории: [1] Гл. 8. [2] § 47 – 51; Самост. работа № 1-53	2	Изучить теорию по указанным учебникам, применить её для решения задач.	Опрос Собеседование по дом. самост-ой работе
10	Электропроводность металлов и полупроводников.	Вопросы теории: [1] Гл. 8. [2] § 53 – 57; Самост. работа № 1-53	2	Изучить теорию по указанным учебникам, применить её для решения задач.	Опрос Тест
11	Оптические и фотоэлектрические свойства твердых тел.	Вопросы теории: [1] Гл. 12. [2] § 60 – 61; Самост. работа № 1-53	2	Изучить теорию по указанным учебникам, применить её для решения задач.	Контр. раб № 3
12	Работа выхода. Контакт двух металлов или полупроводников Термоэлектрические и гальваномангнитные явления	Вопросы теории: [2] § 73 – 78. Вопросы теории: [2] § 79 – 83.	2	Изучить теорию по указанным учебникам, применить её для решения задач.	Опрос Собеседование по дом. самост. работе

*Примечание*¹⁾: Задания по изучению теоретических вопросов даны по изданиям [1 - 3]:

1. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. Физика твердого тела: Учеб. – М.: Высш. шк.; 2000.– 494 с.

2. Елифанов Г.И. Физика твердого тела: Учебное пособие, 4-е изд., стер.– СПб.: Изд. «Лань»; 2011.– 288 с.

3. Галанцева М.Л., Моисеев Б.М. Физический практикум. Рентгеновские спектры. Основы рентгеноструктурного анализа. – Кострома: Изд-во КГУ им. Н.А.Некрасова, 2003.– 46 с.

4. Иродов И. Е. Задачи по общей физике. – СПб. : Изд. Лань, 2001. – 426 с.

6.2. Тематика и задания для практических занятий

Формой отчетности по данной дисциплине является экзамен. Необходимые условия допуска к экзамену:

- Наличие полного конспекта лекций.
- Собеседование по домашней самостоятельной работе.
- Выполнение трёх контрольных работ с положительным результатом

Ниже приведены примерные планы практических занятий. Заданий даны по вышеназванным в разделе 6.1 изданиям основного списка литературы [3, 4]

Семинар 1-2. Силы связи.

Обсуждаемые вопросы: Силы Ван-дер-Ваальса, ионная связь. Водородная связь. Сопоставление различных видов связи. Силы отталкивания. Разновесные постоянные решетки. Энергия связи.

Семинар 3-4. Внутренняя структура твердых тел.

Обсуждаемые вопросы: Кристаллическая решетка. Набор операций симметрии. Базис и кристаллическая структура. Примитивные ячейки. Основные типы кристаллических решеток: решетки Браве, решетки с базисом. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Индексы Миллера.

Задачи для решения на занятии: [4, 6.193 – 6.196]

Задачи для самостоятельной работы: № (1 – 5) из раздела «Задачи по курсу ФТТ».

Семинар 5-6. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах.

Обсуждаемые вопросы: Рентгеновские спектры. Закон Вульфа-Брэгга.

Задачи для решения на занятии: [4, 6.141 – 6.146].

Задачи для самостоятельной работы: [4, 6.147 – 6.151].

Тесты: [3, с. 35 - 43].

Семинар 7-8. Экспериментальные методы рентгеноструктурного анализа

Обсуждаемые вопросы: Метод Лауэ, метод вращения кристалла, метод Дебая-Шеррера.

Доклад на тему «Рентгенодифрактометрический метод исследования структуры кристаллов».

Практическое задание на определение периодов кристаллической решетки по дебаеграмме. [3, с. 27 - 30]. Задачи для решения на занятии: [4, 6.162 – 6.165].

Задачи для самостоятельной работы: [4, 6.166 – 6.167].

Семинар 9-10. Контрольная работа № 1 « Структура твердого тела. Методы рентгеновской дифрактометрии», варианты (1-8) [3, с.33-34]

Семинар 11-12. Элементы физической статистики.

Обсуждаемые вопросы: Описание состояния макроскопической системы. Невырожденные и вырожденные коллективы. Число состояний для микрочастиц. Функции распределения для невырожденного и вырожденного газа микрочастиц. Влияние температуры на распределение Ферми - Дирака. Условие снятия вырождения.

Научное сообщение с *презентацией* на тему « Статистика Ферми-Дирака». Задачи для решения на занятии: № (10 – 13) из раздела «Задачи по курсу ФТТ»,

Задачи для самостоятельной работы: № (14 – 16) из раздела «Задачи по курсу ФТТ».

Семинар 13-14. Тепловые свойства твердых тел.

Обсуждаемые вопросы: Квантовый характер колебания решетки (фононы). Понятие о нормальных колебаниях решетки. Спектр нормальных колебаний решетки. Теплоемкость твердого тела. Теплоемкость электронного газа. Тепловое расширение твердых тел. Теплопроводность диэлектриков и металлов.

Задачи для решения на занятии: [4, № 6.200 – 6.203]

Задачи для самостоятельной работы: [4, 6.211 – 6.213].

Семинар 15-16. Зонная теория твердых тел.

Обсуждаемые вопросы: Энергетические уровни свободных атомов. Энергетический спектр электронов в кристалле (энергетические зоны). Эффективная масса электрона. Заполнение зон электронами. Проводники, диэлектрики и полупроводники. Собственные полупроводники. Примесные полупроводники. Концентрация свободных носителей в полупроводниках. Положение уровня Ферми. Неравновесные носители.

Задачи для решения на занятии: [4, 6.220 – 6.222].

Задачи для самостоятельной работы: [4, 6.223 – 6.224].

Семинар 17-18. Электропроводность твердых тел.

Обсуждаемые вопросы: Равновесное состояние электронного газа в отсутствие электрического поля. Дрейф электронов под воздействием поля. Время релаксации и длина свободного пробега. Удельная электропроводность проводника.. Закон Видемана - Франца - Лоренца. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Электропроводность чистых металлов. Электропроводность металлических сплавов. Собственная и примесная проводимости полупроводников. Эффект Холла.

Задачи для решения на занятии: [4, 6.232, 6.235, 6.236].

Задачи для самостоятельной работы: [4, 6.233, 6.244, 6.237, 6.238].

Семинар 19-20. Контрольная работа № 2 «Основы зонной теории твердых тел», варианты 1-4.

Семинар 21-22. Оптические и фотоэлектрические свойства твердых тел.

Обсуждаемые вопросы: Виды взаимодействия света с твёрдым телом. Поглощение света кристаллами. Фотопроводимость полупроводников. Фотоэлектрические приёмники излучения, их характеристики. Спонтанное и индуцированное излучение. Полупроводниковые лазеры. Люминесценция.

Задачи для решения на занятии: № (52 – 53) из раздела «Задачи по курсу ФТТ»,

Задачи для самостоятельной работы: № (54 – 55) из раздела «Задачи по курсу ФТТ»,

Семинар 23. Контрольная работа № 3 «Электропроводность и теплоёмкость твердых тел», варианты 1- 4.

Семинар 24. Магнитные свойства твердых тел.

Обсуждаемые вопросы: Магнитное поле в магнетиках. Магнитные свойства атомов. Природа диамагнетизма, парамагнетизма и ферромагнетизма. Антиферромагнетизм. Ферромагнетизм. Магнитный резонанс. Понятие о квантовой электронике.

Семинар 25. Контактные явления.

Обсуждаемые вопросы Работа выхода. Контакт двух металлов. Контакт металла с полупроводником. Контакт двух полупроводников с различным типом проводимости. Принципы работы полупроводниковых приборов, основанных на р-n- переходе.

Семинар 26. Термоэлектрические и гальваномагнитные явления.

Обсуждаемые вопросы Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Эффект Томсона. Гальваномагнитные явления (эффекты Холла, Эттингсхаузена и Нернста). Практическое использование термоэлектрических и гальваномагнитных явлений.

7. Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Основная:

1. Павлов П. В. Физика твердого тела : Учеб. для студ. высш. учеб. заведений. - 3-е изд., стер. - М. : Высш. шк., 2000. - 494 с. (16 экз.)

2. Епифанов Г. И. Физика твердого тела : Учеб. пособие для вузов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высш. шк., 1977. - 288 с. (49 экз.)
3. Галанцева М. Л. Физический практикум: Рентгеновские спектры. Основы рентгеноструктурного анализа. - Кострома : КГУ, 2003. - 46 с. (35 экз.)
4. Иродов И. Е. Задачи по общей физике : учеб. пособие. - 3-е изд., испр. - СПб. : Лань, 2001. - 416 с. (20 экз.)

Дополнительная:

1. Маделунг О. Физика твердого тела : Локализ. состояния: Пер. с нем. и англ. - Москва : Наука, 1985. - 184 с. (6 экз.)
2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела : [учеб. руководство] / пер. с 4-го американского изд. А. А. Гусева и А. В. Пахнева ; под общ. ред. А. А. Гусева. - М. : Наука, 1978. - 791 с. (10 экз.)
3. Физика твердого тела : Атомная структура твердых тел: Пер. с англ. / Под ред. Г.С. Жданова. - Москва : Наука, 1972. - 136 с. (5 экз.)
4. Физика твердого тела. Электронные свойства твердых тел / Пер. с англ.; Под ред. Г.С. Жданова. - Москва : Наука, 1972. - 167 с. (6 экз.)
5. 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> (11.11.2018).

8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Электронные библиотечные системы:

1. Университетская библиотека онлайн <http://biblioclub.ru>
2. «Лань» <http://e.lanbook.com/>
3. ЭБС «Znaniium»

9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория для лекций

Лекционные занятия проводятся в аудиториях с требуемым числом посадочных мест, оборудованные мультимедиа (например, корпус Е, № 226, количество посадочных мест – 60, мультимедийный комплекс, включающий экран, компьютер и проектор)

Аудитория для практических занятий:

Корпус Е, № 304, количество посадочных мест – 24.

Аудитории для самостоятельной работы:

Читальный зал корпуса «Е», количество посадочных мест – 22, 9 компьютеров (6 для читателей, 3 для сотрудников); 1 сканер.

Читальный зал корпуса «Б1», количество посадочных мест – 200. 3 компьютера для сотрудников; 1 принтер; 1 копир/принтер; 1 проектор; 2 экрана для проектора; 1 ворота «Антивор»; 1 WIFI-точка доступа. Лицензионное ПО: АИБС МаркSQL.

Компьютерный класс, корпус "Е", ауд.227, количество посадочных мест – 16, Блок системный КМ Office ТЗ-4170, монитор Philips. Лицензионное ПО: Windows 8.1 Pro договор № 50155/ЯР4393 от 12.12.2014 с ООО Софт-лайн Проекты, MathCAD Education договор № 208/13 от 10.06.2013 с ООО ЮнитАльфаСофт.

Аннотация		
Наименование дисциплины	Физика твердого тела	
Направление подготовки	03.03.02–Физика	
Направленность подготовки	Физика	
Трудоемкость дисциплины	Зачетные единицы	Часы
	5	180
Формы контроля	Экзамен	
Цели освоения дисциплины		
<p>Основной целью курса является подготовка бакалавров физики к научно-исследовательской, научно-инновационной, организационно-управленческой и педагогической деятельности в научно-исследовательских институтах, высших и средних учебных заведениях, лабораториях, конструкторских или проектных бюро, на предприятиях</p>		
Задачи дисциплины		
<p>познакомить студентов с различными типами связи в твердых телах, элементами структурной кристаллографии, способами определения кристаллических структур; механическими и тепловыми свойствами кристаллов;</p> <p>с основными положениями зонной теории твердых тел, объяснить на её основе их электрические, оптические и магнитные свойства;</p> <p>описать устройство и принцип действия твердотельных лазеров, приборов на p-n переходах.</p>		
Место дисциплины в структуре ОП		
<p>Данная дисциплина изучается в седьмом-семестре образовательной программы подготовки бакалавров физики и относится к обязательной части.</p>		
Формируемые компетенции		
<p>ОПК-2: Способен проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные.</p>		
Требования к уровню освоения содержания дисциплины:		
знать:		
<ul style="list-style-type: none"> – классификацию твердых тел по типу химической связи и типу кристаллической системы; методы определения атомной структуры кристаллов и параметров их элементарных ячеек; типы дефектов; – основные положения квантовой теории твердого тела; причины разделения твердых тел на проводники, диэлектрики и полупроводники; – методы экспериментального определения и теоретического расчета основных параметров, характеризующих их электрические, оптические и магнитные свойства; – состояние изученности проблем физики твердого тела 		
уметь:		
<ul style="list-style-type: none"> – объяснять возникновение различных типов химических связей в твердых телах на основе анализа характера сил межатомного взаимодействия в кристаллах; – определять основные элементы симметрии кристалла по формуле симметрии, объяснять с точки зрения зонной теории различие в свойствах металлов, полупроводников, диэлектриков 		
владеть:		
<ul style="list-style-type: none"> – методами количественной оценки скорости звуковых колебаний в кристаллах, температуры Дебая, 		

- методами количественной оценки концентрации носителей заряда, их подвижности, энергии Ферми, ширины запрещенной зоны, энергии активации примесей в полупроводниках и других параметров материала
- навыками решения практических задач физики твердого тела