



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИБиС  
Ю.В. Сомова

03.02.2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***ТЕОРИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА***

Направление подготовки (специальность)  
03.04.02 Физика

Направленность (профиль/специализация) программы  
Компьютерное моделирование физических процессов и структур, методы преподавания физики

Уровень высшего образования - магистратура

Форма обучения  
очная

Институт/ факультет	Институт естествознания и стандартизации
Кафедра	Физики
Курс	1
Семестр	1

Магнитогорск  
2025 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 03.04.02 Физика (приказ Минобрнауки России от 07.08.2020 г. № 914)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Физики  
28.01.2025, протокол № 4

Зав. кафедрой



Д.М. Долгушин

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЕиС  
03.02.2025 г. протокол № 3

Председатель



Ю.В. Сомова

Рабочая программа составлена:  
доцент кафедры Физики, канд. физ.-мат. наук



А.П. Давыдов

Рецензент:  
зав. кафедрой ВТиП, д-р техн. наук



О.С. Логунова

## Лист актуализации рабочей программы

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2026 - 2027 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Д.М. Долгушин

---

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ Д.М. Долгушин

## 1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целями освоения дисциплины «Теория твердого тела», в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта ВО по направлению подготовки 03.04.02 Физика (уровень ВО магистратура), утвержденного 07.08.2020 г. (приказ № 914), являются:

- 1) обеспечение базовой подготовки, включающей в себя изучение и усвоение классических и квантовомеханических основ теории твердого тела, а также знакомство с результатами, полученными экспериментальными методами при исследовании поверхностных и объемных свойств твердых тел с различной структурой;
- 2) формирование, высокого уровня теоретической базы знаний, достаточной для анализа и решения современных научных и технических проблем, связанных с использованием свойств твердых тел в науке и технике.

## 2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Теория твердого тела входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, навыки), сформированные в результате изучения определенных дисциплин на уровне бакалавриата или специалитета, таких как Общая физика, Теоретическая физика, Методы математической физики, Математический анализ, Аналитическая геометрия, Векторный и тензорный анализ.

Также необходимы знания (умения, владения), формирующиеся параллельно с изучением данной дисциплины в результате изучения дисциплин первого семестра магистратуры: Физическая акустика, Численное моделирование физических процессов переноса в твердых телах

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Компьютерное моделирование наноструктур и их свойств

Волновые процессы в конденсированных средах

Дополнительные главы общей физики

Методы исследования поверхности твердых тел

Приборы и методы в спектроскопии твердого тела

Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена

Производственная - педагогическая практика

Производственная - практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности

Производственная - преддипломная практика

## 3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Теория твердого тела» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-1	Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики,

необходимыми для осуществления преподавательской деятельности;	
ОПК-1.1	Использует знания физических законов и принципов, математический аппарат для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования и моделирования физических и систем, явлений и процессов, решения научно-исследовательских задач и профессиональных задач
ОПК-1.2	Знает и использует законы и принципы, методы педагогики и применяет фундаментальные физические, математические и междисциплинарные знания для осуществления преподавательской деятельности по учебным дисциплинам «Физика», «Астрономия»
ОПК-4 Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности.	
ОПК-4.1	Оценивает достоинства и недостатки, результат своей деятельности, знает этапы внедрения результатов, презентует свое исследование, выбирает или предлагает возможные варианты и сферы внедрения результатов научно-исследовательской деятельности в своей профессиональной области, имеет представление о требованиях к сопровождающей документации

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 академических часов, в том числе:

- контактная работа – 55,05 академических часов;
- аудиторная – 54 академических часов;
- внеаудиторная – 1,05 академических часов;
- самостоятельная работа – 52,95 академических часов;
- в форме практической подготовки – 0 академических часов;

Форма аттестации - зачет с оценкой

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в академических часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Симметрия и кристаллическое строение твердых тел								
1.1 Симметрия и типы кристаллических решеток	1	2		1	4	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
1.2 Федоровские пространственные группы, примеры пространственных групп		1		2	4	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
1.3 Решетки Браве		1		2	2	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
Итого по разделу		4		5	10			
2. Основы зонной теории твердого тела								

2.1 Зависимость энергии электронов от волнового вектора	1	2		3	6	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
2.2 Уравнение Шредингера для кристалла. Теория и классификация энергетических зон в кристаллах		2		8	9	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
2.3 Зоны Бриллюэна		2		2	5	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
2.4 Элементарная теория локальных уровней. Структура энергетических зон алмаза, графита, карбона		2		4	6	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
Итого по разделу		8		17	26			
3. Электропроводность и кинетические явления в твердом теле								
3.1 Статистика электронов и дырок в проводниках и полупроводниках. Уровень Ферми	1	1		2	5	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
3.2 Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Эффект Холла		1		4	5	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1

						практическому занятию		
Итого по разделу		2		6	10			
4. Оптические, фотоэлектрические, контактные и термоэлектрические явления в твердом теле								
4.1 Оптические свойства твердых тел. Спектры поглощения и отражения. Расчет оптических параметров твердых тел из спектров поглощения и отражения	1	2		4	4	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
4.2 Фотоэлектрические свойства, люминисценция в твердых телах, фотопроводимость полупроводников. Контактные и термоэлектрические явления		2		4	2,95	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к практическому занятию, подготовка к зачету	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-4.1
Итого по разделу		4		8	6,95			
Итого за семестр		18		36	52,95		зао	
Итого по дисциплине		18		36	52,95		зачет с оценкой	

## **5 Образовательные технологии**

Результат освоения дисциплины «Теория твердого тела» – формирование у студентов компетенций представляющих собой динамичную совокупность знаний, умений, владений, способностей и личностных качеств, которую студент может продемонстрировать после завершения обучения по магистерской образовательной программе. Для формирования этих компетенций и реализации предусмотренных видов учебной работы, в учебном процессе в качестве образовательных технологий используются традиционная и технология информационно-проектного обучения, позволяющая студенту в процессе обучения самому выбирать формируемые компетенции и личностные качества, тем самым проектируя для себя образовательный процесс.

Учебные занятия проводятся в виде лекций и практических занятий

Лекции проводятся в виде:

- обзорных – для систематизации и закрепления знаний по дисциплине
- информационных – для ознакомления со стандартами и справочной информацией
- проблемных - для развития исследовательских навыков и изучения способов решения задач.

Лекции проводятся в поточных аудиториях с применением компьютерных презентаций. Концептуальную основу лекционно-семинарской технологии составляют принципы педагогики: научности, последовательности и систематичности, доступности, прочности, сознательности и активности, наглядности, связи теории с практикой, учета индивидуальных особенностей студентов.

На практических занятиях применяются как активные, так и интерактивные методы обучения, которые в отличие от активных методов, ориентированы на более широкое взаимодействие студентов не только с преподавателем, но и друг с другом и на доминирование активности студентов в процессе обучения.

Кроме того, на практических занятиях используется технология педагогики сотрудничества преподавателя со студентами, в основе которой следующие целевые ориентации: переход от педагогики требований к педагогике отношений, гуманно-личностный подход к студенту, единство обучения и воспитания.

## **6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Представлено в приложении 1.

## **7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

Представлены в приложении 2.

## **8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) Основная литература:**

1. Прудников, В. В. Квантово-статистическая теория твердых тел : учебное пособие / В. В. Прудников, П. В. Прудников, М. В. Мамонова. — 2-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-2061-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/72587/#1> (дата обращения: 10.04.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Владимиров, Г. Г. Физика поверхности твердых тел : учебное пособие / Г. Г. Владимиров. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 352 с. — ISBN 978-5-8114-1997-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/71707/#1> (дата обращения: 10.04.2025)/ — Режим

доступа: для авториз. пользователей.

#### **б) Дополнительная литература:**

1. Сорокин, В. С. Материалы и элементы электронной техники. Проводники, полупроводники, диэлектрики : учебник / В. С. Сорокин, Б. Л. Антипов, Н. П. Лазарева. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2015. — 448 с. — ISBN 978-5-8114-2003-2. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/67462/#1> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Ансельм, А. И. Введение в теорию полупроводников : учебное пособие / А. И. Ансельм. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 624 с. — ISBN 978-5-8114-0762-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/71742/#1> — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Физика твердого тела для инженеров [Текст] : учеб.пособие для вузов / В. А. Гуртов, Р. Н. Осауленко ; науч. ред. Л. А. Алешина. - М. :Техносфера, 2007. - 518 с. : ил. - (Мир физики и техники ;вып. II-08). - Рек. УМО. - Библиогр.: с. 505-510. - ISBN 978-5-94836-141-3. Кол-во экземпляров: 10.

4. Физика твердого тела [Текст] : учеб.пособие для вузов / П. В. Павлов, А. Ф. Хохлов. - М. :Высш. шк., 1985. - 384 с. : ил. - Доп. Мин. высш. и сред.спец. обр. СССР. - Библиогр.: с. 376Кол-во экземпляров: 10.

5. Физика твердого тела. Ч. 1. Методы получения твердых тел и исследования их структуры [Текст] : лаборатор. практикум : учеб.пособие для вузов / под ред. А. Ф. Хохлова. - 2-е изд., испр. - М. :Высш. шк., 2001. - 363 с. : ил. - Рек. Мин. обр. РФ. - ISBN 5-06-004021-6.Кол-во экземпляров: 10.

6. Физика твердого тела. Ч. 2. Физические свойства твердых тел [Текст] : лаборатор. практикум : учеб. пособие для вузов / под ред. А. Ф. Хохлова. - 2-е изд., испр. - М. :Высш. шк., 2001. - 484 с. : ил. - Рек. Мин. обр. РФ. - ISBN 5-06-004022-4.Кол-во экземпляров: 10.

#### **в) Методические указания:**

При выполнении домашнего задания рекомендуется следовать следующему общему алгоритму:

1. Проработать конспект лекции на предмет выявления непонятных моментов темы.
2. В случае наличия непонятных моментов сформулировать вопросы.
3. Найти и изучить дополнительный материал по теме, используя рекомендованную литературу и электронные ресурсы учебных пособий в сети Интернет.
4. Ответить на возникшие в ходе изучения темы вопросы.
5. Выписать трактовки основных понятий, законов, принципов и т.п. по теме лекции.
6. Из перечня вопросов к зачету выбрать те, которые отражают содержание лекции.
7. Найти ответы на эти вопросы в тексте лекций и дополнительном материале.
8. Оформить материал в письменном виде

#### **г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

### Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Maple 14 Classroom License	K-113-11 от 11.04.2011	бессрочно
Adobe Reader	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Браузер Mozilla Firefox	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Браузер Yandex	свободно распространяемое ПО	бессрочно
MAXIMA	свободно распространяемое ПО	бессрочно

### Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронная база периодических изданий East View Information Services, ООО «ИВИС»	<a href="https://dlib.eastview.com/">https://dlib.eastview.com/</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	<a href="https://host.megaprolib.net/M/P0109/Web">https://host.megaprolib.net/M/P0109/Web</a>
Информационная система - Банк данных угроз безопасности информации ФСТЭК России	<a href="https://bdu.fstec.ru/?ysclid=lujkqy7cnw630508962">https://bdu.fstec.ru/?ysclid=lujkqy7cnw630508962</a>

### 9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории 1-385, 1-387 для проведения занятий лекционного типа.

Оснащение: доска, мультимедийный проектор, экран.

Учебные аудитории 1-385, 1-387 для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: доска, мультимедийный проектор, экран.

Учебные аудитории 1-385, 1-387, компьютерные классы 1-372, 1-394а для самостоятельной работы обучающихся. Оснащение: персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и доступом в электронную образовательную среду университета.

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования. Оснащение: шкафы для хранения учебно-методической документации, учебного оборудования и учебно-наглядных пособий.

## Приложение 1

### Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

*Примерные аудиторные контрольные работы (АКР):*

*АКР №1 «Симметрия и кристаллическое строение твердых тел».*

1. Плотность меди, имеющей гранцентрированную кубическую решетку, равна  $8,96 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ . Вычислить объем элементарной ячейки и атомный радиус для этой кристаллической структуры. Сколько атомов содержится в ее  $1 \text{ м}^3$ .

2. Принимая во внимание ГЦК структуру у золота, вычислить постоянную решетки, атомный радиус и число атомов в объеме, равном в  $1 \text{ м}^3$ . Плотность золота равна  $1,932 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$ .

3. Кристалл цинка имеет ГПУ структуру с постоянными  $a = 2,66 \cdot 10^{-10} \text{ м}$  и  $c = 4,95 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ . Вычислить объем элементарной ячейки такой структуры и плотность цинка.

*АКР №2 «Основы зонной теории твердого тела».*

1. Вычислить объем первой зоны Бриллюэна и плотность квантовых состояний для электронов в простой энергетической зоне кристалла, имеющего а) ОЦК решетку; б) ГЦК решетку. Длина ребра элементарного куба равна  $a$ .

2. Оценить среднюю плотность электронных состояний в последней заполненной зоне шириной  $\Delta E$  для 1 моль ионного кристалла: а) KBr, у которого  $\Delta E = 0,55 \text{ эВ}$ , KI, KF, у которого  $\Delta E = 1,5 \text{ эВ}$ .

3. Найти число квантовых состояний для электронов в невырожденной энергетической зоне кристалла, имеющего простую кубическую решетку с параметром  $a$  и объемом  $L^3$ .

*АКР №3 «Электропроводность и кинетические явления в твердом теле».*

1. Вычислить энергию Ферми электронов проводимости при абсолютном нуле температуры для натрия и лития, полагая, что эффективная масса электрона в обоих случаях равна массе свободного электрона.

2. Вычислить силу тока термоэлектронной эмиссии от серебряной проволоки длиной 5 см и диаметром 2 мм, нагретой до температуры  $T$ .

3. Энергия Ферми калия  $E_F = 2,1 \text{ эВ}$ , а электропроводность при  $T = 0 \text{ К}$  равна  $\sigma = 1,6 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$ . Рассчитать с помощью этих данных среднюю длину свободного пробега электронов проводимости, полагая  $m^* = m$ .

*АКР №4 «Оптические, фотоэлектрические, контактные и термоэлектрические явления».*

1. Найти линейную восприимчивость и диэлектрическую проницаемость газа свободных электронов.

2. Определить линейную диэлектрическую проницаемость в модели Лоренца (модели гармонического осциллятора).

3. Найти диэлектрическую проницаемость и коэффициент поглощения ионного кристалла.

Внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся осуществляется в виде изучения литературы по соответствующему разделу с проработкой материала и выполнения домашних заданий.

**Примерные индивидуальные домашние задания (ИДЗ):**

**ИДЗ №1 «Симметрия и кристаллическое строение твердых тел».**

1. Доказать, что в бесконечной кристаллической решетке возможны оси симметрии лишь второго, третьего, четвертого и шестого порядков.
2. Записать с помощью индексов Миллера плоскости, характеризующиеся наибольшей плотностью упаковки атомов, в структурах: а) ГЦК; б) ОЦК. Отметить также в этих плоскостях направления с максимальной линейной плотностью расположения атомов.
3. Сколько плоскостей типа  $\{111\}$  имеется в кубических структурах? Изобразить эти плоскости на чертеже.

**ИДЗ №2 «Основы зонной теории твердого тела».**

1. Показать, что волновая функция электрона в периодическом поле кристаллической решетки, записанная в приближении сильной связи в виде

$$\Psi_{\mathbf{k}n}(\mathbf{r}) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{\mathbf{l}} e^{i\mathbf{l}\mathbf{k}} \psi_n(\mathbf{r} - \mathbf{l})$$

удовлетворяет условию Блоха.

2. С помощью метода сильной связи в приближении ближайших соседей найти энергию электронов в зоне, образованной из  $s$ -уровня, в кристалле с ГЦК решеткой. Показать, что вблизи центра зоны Бриллюэна изоэнергетические поверхности представляют собой сферы.

3. Используя приближение почти свободных электронов, вычислить энергетическую щель на границе зоны Бриллюэна в одномерном кристалле, если потенциальная энергия электрона в периодическом поле описывается функцией  $V(x) = V_1 \cos \frac{2\pi x}{a}$ .

**ИДЗ №3 «Электропроводность и кинетические явления в твердом теле».**

1. По медной проволоке с площадью сечения  $S = 0,001 \text{ см}^2$  проходит ток  $I = 20 \text{ А}$ . Оценить скорость дрейфа электронов в электрическом поле и сравнить ее со скоростью Ферми при  $T = 0$ . Считать, что  $m^* = m$ .
2. При комнатной температуре  $T = 293 \text{ К}$  холловская подвижность электронов и постоянная Холла натрия равны  $5,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})$  и  $-2,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3 / \text{Кл}$ , соответственно. Согласуются ли эти данные с электропроводностью натрия  $\sigma = 2,17 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$  при комнатной температуре?

3. Показать, что давление электронного газа в металле выражается через его кинетическую энергию  $E$  соотношением  $P = \frac{2}{3} \frac{E}{V}$ , где  $V$  – объем металла.

**ИДЗ №4 «Оптические, фотоэлектрические, контактные и термоэлектрические явления».**

1. Оптические постоянные непрозрачного кубического материала при заданной длине волны  $\lambda$  можно определить, измеряя коэффициенты отражения для угла падения  $\varphi$  линейно поляризованного света при плоскостях поляризации, параллельной и перпендикулярной к плоскости падения. Показать, что этот метод не пригоден для  $\varphi_0$ , близкого к 0, 45 и 90 градусов.

2. Определить длину волны излучения, при которой становятся прозрачными металлы, например (а) медь, (б) натрий.

3. Найти коэффициент отражения для металлов как функцию частоты  $\omega$  падающего на него излучения на основе теории Друде. Рассмотреть следующие предельные случаи: а)  $\tau\omega \ll 1$ ; б)  $1 \ll \tau\omega \ll \tau\omega_p$ ; в)  $\omega \gg \omega_p$ .

## Приложение 2

### «Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации»

#### а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

По данной дисциплине предусмотрены различные виды контроля результатов обучения: текущий контроль (проверка выполнения заданий), промежуточный контроль в виде тестирования по разделу и итоговый контроль в виде зачета.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
<b>ОПК-1: Способен применять фундаментальные знания в области физики для решения научно-исследовательских задач, а также владеть основами педагогики, необходимыми для осуществления преподавательской деятельности</b>		
ОПК-1.1	Использует знания физических законов и принципов, математический аппарат для описания, анализа, теоретического и экспериментального исследования	<b>Перечень теоретических вопросов к зачету (с оценкой):</b> 1. Симметрия и типы кристаллических решеток. Решетки Браве 2. Уравнение Шредингера для кристалла. 3. Теория и классификация энергетических зон в кристаллах. Зоны Бриллюэна. Элементарная теория локальных уровней. 4. Основные представления о квантово-механических расчетах в теории твердого тела. 5. Точечные дефекты и их спектроскопическое проявление

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	и моделирования физических и систем, явлений и процессов, решения научно-исследовательских задач и профессиональных задач	<p>6. Примесные дефекты и их регистрация</p> <p>7. Термодинамика фазовых переходов в кристаллах</p> <p>8. Статистика электронов и дырок в проводниках и полупроводниках. Уровень Ферми.</p> <p>9. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры.</p> <p>10. Эффект Холла.</p> <p>11. Элементы теории прохождения ускоренных частиц через вещество</p> <p>12. Оптические свойства твердых тел. Спектры поглощения и отражения.</p> <p>13. УФ-спектроскопия и атомное строение твердых тел</p> <p>14. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС)</p> <p>14. Рентгеновская, фотоэлектронная дифракция</p> <p>16. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ)</p> <p>17. Фотоэлектрические свойства, люминисценция в твердых телах, фотопроводимость полупроводников</p> <p>18. Контактные явления в проводниках и полупроводниках. Контактная разность потенциалов.</p> <p>19. Термоэлектрические явления. Эффекты Зеебека и Пельтье</p>
ОПК-1.2	Знает и использует законы и принципы, методы педагогики и применяет фундаментальные физические, математические и междисциплинарные знания для осуществления преподавательской деятельности по учебным дисциплинам «Физика», «Астрономия»	<p>1. Плотность меди, имеющей гранцентрированную кубическую решетку, равна <math>8,96 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3</math>. Вычислить объем элементарной ячейки и атомный радиус для этой кристаллической структуры. Сколько атомов содержится в ее <math>1 \text{ м}^3</math>.</p> <p>2. Вычислить объем первой зоны Бриллюэна и плотность квантовых состояний для электронов в простой энергетической зоне кристалла, имеющего а) ОЦК решетку; б) ГЦК решетку. Длина ребра элементарного куба равна <math>a</math>.</p> <p>3. Вычислить энергию Ферми электронов проводимости при абсолютном нуле температуры для натрия и лития, полагая, что эффективная масса электрона в обоих случаях равна массе свободного электрона.</p> <p>4. Найти линейную восприимчивость и диэлектрическую проницаемость газа свободных электронов.</p> <p>5. Принимая во внимание ГЦК структуру у золота, вычислить постоянную решетки, атомный радиус и число атомов в объеме, равном в <math>1 \text{ м}^3</math>. Плотность золота равна <math>1,932 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3</math>.</p> <p>6. Оценить среднюю плотность электронных состояний в последней заполненной зоне шириной <math>\Delta E</math> для 1 моль ионного кристалла: а) KBr, у которого <math>\Delta E = 0,55 \text{ эВ}</math>, KI, KF, у которого <math>\Delta E = 1,5 \text{ эВ}</math>.</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>7. Вычислить силу тока термоэлектронной эмиссии от серебряной проволоки длиной 5 см и диаметром 2 мм, нагретой до температуры <math>T</math>.</p> <p>8. Определить линейную диэлектрическую проницаемость в модели Лоренца (модели гармонического осциллятора).</p> <p>9. Кристалл цинка имеет ГПУ структуру с постоянными <math>a = 2,66 \cdot 10^{-10}</math> м и <math>c = 4,95 \cdot 10^{-10}</math> м. Вычислить объем элементарной ячейки такой структуры и плотность цинка.</p> <p>10. Найти число квантовых состояний для электронов в невырожденной энергетической зоне кристалла, имеющего простую кубическую решетку с параметром <math>a</math> и объемом <math>L^3</math>.</p> <p>11. Энергия Ферми калия <math>E_F = 2,1</math> эВ, а электропроводность при <math>T = 0</math> К равна <math>\sigma = 1,6 \cdot 10^7</math> Ом<math>^{-1}</math> м<math>^{-1}</math>. Рассчитать с помощью этих данных среднюю длину свободного пробега электронов проводимости, полагая <math>m^* = m</math>.</p> <p>12. Найти диэлектрическую проницаемость и коэффициент поглощения ионного кристалла.</p>

**ОПК-4: Способен определять сферу внедрения результатов научных исследований в области своей профессиональной деятельности**

ОПК-4.1	<p>Оценивает достоинства и недостатки, результат своей деятельности, знает этапы внедрения результатов, презентует свое исследование, выбирает или предлагает возможные варианты и сферы внедрения результатов научно-исследовательской деятельности в своей профессиональной области, имеет представление о требованиях к</p>	<p>1. Доказать, что в бесконечной кристаллической решетке возможны оси симметрии лишь второго, третьего, четвертого и шестого порядков.</p> <p>2. Показать, что волновая функция электрона в периодическом поле кристаллической решетки, записанная в приближении сильной связи в виде</p> $\Psi_{kn}(\mathbf{r}) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{\mathbf{l}} e^{i\mathbf{k}\cdot\mathbf{l}} \psi_n(\mathbf{r} - \mathbf{l})$ <p>удовлетворяет условию Блоха.</p> <p>3. По медной проволоке с площадью сечения <math>S = 0,001</math> см<math>^2</math> проходит ток <math>I = 20</math> А. Оценить скорость дрейфа электронов в электрическом поле и сравнить ее со скоростью Ферми при <math>T = 0</math>. Считать, что <math>m^* = m</math>.</p> <p>4. Оптические постоянные непрозрачного кубического материала при заданной длине волны <math>\lambda</math> можно определить, измеряя коэффициенты отражения для угла падения <math>\varphi</math> линейно поляризованного света при плоскостях поляризации, параллельной и перпендикулярной к плоскости падения. Показать, что этот метод не пригоден для <math>\varphi_0</math>, близкого к 0, 45 и 90 градусов.</p> <p>5. Записать с помощью индексов Миллера плоскости, характеризующиеся наибольшей плотностью упаковки</p>
---------	--	---

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	сопровождая документацию	<p>атомов, в структурах: а) ГЦК; б) ОЦК. Отметить также в этих плоскостях направления с максимальной линейной плотностью расположения атомов.</p> <p>6. С помощью метода сильной связи в приближении ближайших соседей найти энергию электронов в зоне, образованной из <math>s</math>-уровня, в кристалле с ГЦК решеткой. Показать, что вблизи центра зоны Бриллюэна изоэнергетические поверхности представляют собой сферы.</p> <p>7. При комнатной температуре <math>T = 293</math> К холловская подвижность электронов и постоянная Холла натрия равны <math>5,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2 / (\text{В} \cdot \text{с})</math> и <math>-2,5 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3 / \text{Кл}</math>, соответственно. Согласуются ли эти данные с электропроводностью натрия <math>\sigma = 2,17 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}</math> при комнатной температуре?</p> <p>8. Определить длину волны излучения, при которой становятся прозрачными металлы, например (а) медь, (б) натрий.</p> <p>9. Сколько плоскостей типа <math>\{111\}</math> имеется в кубических структурах? Изобразить эти плоскости на чертеже.</p> <p>10. Используя приближение почти свободных электронов, вычислить энергетическую щель на границе зоны Бриллюэна в одномерном кристалле, если потенциальная энергия электрона в периодическом поле описывается функцией <math>V(x) = V_1 \cos \frac{2\pi x}{a}</math>.</p> <p>11. Показать, что давление электронного газа в металле выражается через его кинетическую энергию <math>E</math> соотношением <math>P = \frac{2}{3} \frac{E}{V}</math>, где <math>V</math> – объем металла.</p> <p>12. Найти коэффициент отражения для металлов как функцию частоты <math>\omega</math> падающего на него излучения на основе теории Друде. Рассмотреть следующие предельные случаи: а) <math>\tau\omega \ll 1</math>; б) <math>1 \ll \tau\omega \ll \tau\omega_p</math>; в) <math>\omega \gg \omega_p</math>.</p>

**б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:**

Промежуточная аттестация по дисциплине «Теория твердого тела» включает теоретический вопрос, позволяющий оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и одно практическое задание, выявляющее степень сформированности умений и владений.

Зачет по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 1 теоретический вопрос и одно практическое задание.

**Показатели и критерии оценивания теоретического вопроса и практического задания:**

- на оценку **«отлично»** (5 баллов) – обучающийся демонстрирует высокий уровень сформированности компетенций, всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, свободно выполняет практическое задание, свободно оперирует знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
  - на оценку **«хорошо»** (4 балла) – обучающийся демонстрирует средний уровень сформированности компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
  - на оценку **«удовлетворительно»** (3 балла) – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, обучающийся испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.
  - на оценку **«неудовлетворительно»** (2 балла) – обучающийся демонстрирует знания не более 20% теоретического материала, допускает существенные ошибки, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.
- Оценка **«неудовлетворительно»** (1 балл) – не предусмотрена.