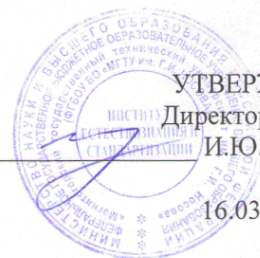




МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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



УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИЕиС  
И.Ю. Мезин

16.03.2020 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  
Программа подготовки - академическая магистратура

Форма обучения  
очная

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


Магнитогорск  
2019 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 03.04.02 ФИЗИКА (уровень магистратуры) (приказ Минобрнауки России от 28.08.2015 г. № 913)


Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Физики  
12.03.2020, протокол № 6

Зав. кафедрой  М.Б. Аркулис

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЕиС  
16.03.2020 г. протокол № 8

Председатель  И.Ю. Мезин

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 2021 - 2022 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от 1 09 2020 г. № 1  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

---

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2022 - 2023 учебном году на заседании кафедры Физики

Протокол от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г. № \_\_\_\_  
Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ М.Б. Аркулис

### **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 28.08.2015 г. (приказ № 913), 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 вариативную 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, Современные методы исследования конденсированных сред

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

Физическая акустика

Методы исследования поверхности твердых тел

Производственная - практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности

Современные проблемы физики

Физика магнитных явлений

Физика углеродных наноматериалов

Основы спинтроники

Приборы и методы в спектроскопии твердого тела

Электрические и магнитные свойства твердых тел

Подготовка к защите и защита выпускной квалификационной работы

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:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
---------------------------------	---------------------------------

ОПК-6 способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>- виды симметрии и кристаллическое строение твердых тел;</li> <li>- основы зонной теории твердого тела;</li> <li>- теорию электропроводности и кинетических явлений в твердом теле;</li> <li>- основные оптические и фотоэлектрические явления в твердом теле</li> </ul>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать симметричные свойства тел к решению научно-исследовательских задач, касающихся строения твердого тела;</li> <li>- использовать зонную теорию твердых тел к описанию свойств электропроводности полупроводников и проводников;</li> <li>- проводить расчет оптических параметров твердых тел из спектров поглощения и отражения;</li> <li>- применять теорию эффекта Холла в практических приложениях;</li> <li>- использовать теорию контактных и термоэлектрических явлений в твердых телах при проведении научно-исследовательской работы</li> </ul>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками описания строения твердых тел в научно-исследовательской работе;</li> <li>- навыками расчета оптических параметров твердых тел из их спектров;</li> <li>- способностью использовать базовые теоретические знания о строении твердых тел для решения профессиональных задач</li> </ul>
ПК-2 способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные принципы и методы научного исследования с помощью современного приборного оборудования;</li> <li>- методы теории твердого тела, применяемые при изучении физических явлений с помощью современной приборной базы;</li> <li>- методы решений уравнений и формул теории твердого тела, отражающие изучение физических законов с помощью сложного физического оборудования</li> </ul>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>- применять основные положения теории твердого тела для анализа проблем современной физики;</li> <li>- методами исследования структуры твердого тела для анализа проблем современной физики с помощью современной приборной базы</li> </ul>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>- способностью использовать полученные знания для изучения профильных дисциплин;</li> <li>- системным представлением о динамике развития избранной области научной и профессиональной деятельности;</li> <li>- современной научной картиной мира</li> </ul>
ПК-3 способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные принципы строения твердых тел и их основные свойства при проведении численного эксперимента;</li> <li>- реализуемые методы изучения свойств твердого тела при планировании эксперимента</li> </ul>

Уметь	<ul style="list-style-type: none"><li>- составлять план эксперимента с учетом знаний свойств твердого тела;</li><li>- самостоятельно определять задачи исследования</li></ul>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"><li>- навыками обращения с научной и учебной литературой;</li><li>- навыками использования ЭВМ при решении научно-исследовательских задач в области физики твердого тела</li></ul>



2.1 Зависимость энергии электронов от волнового вектора	1	2		2	2	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-6, ПК-2, ПК-3
2.2 Уравнение Шредингера для кристалла. Теория и классификация энергетических зон в кристаллах		4		8	2	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-6, ПК-2, ПК-3
2.3 Зоны Бриллюэна		2		2	2	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-6, ПК-2, ПК-3
2.4 Элементарная теория локальных уровней. Структура энергетических зон алмаза, графита, карбона		4		4	4	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-6, ПК-2, ПК-3
Итого по разделу		12		16	10			
3. Электропроводность и кинетические								
3.1 Статистика электронов и дырок в проводниках и полупроводниках. Уровень Ферми	1	2		4	4	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-6, ПК-2, ПК-3
3.2 Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Эффект Холла		4		4	3	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-6, ПК-2, ПК-3
Итого по разделу		6		8	7			

4. Оптические, фотоэлектрические, контактные								
4.1 Оптические свойства твердых тел. Спектры поглощения и отражения. Расчет оптических параметров твердых тел из	1	6		4	3	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-6, ПК-2, ПК-3
4.2 Фотоэлектрические свойства, люминисценция в твердых телах, фотопроводимость полупроводников. Контактные и термоэлектрические явления		4		4	2	Проработка конспекта лекций, самостоятельное изучение дополнительного материала, подготовка к практическому занятию	Проверка домашнего задания, устный опрос	ОПК-6, ПК-2, ПК-3
Итого по разделу		10		8	5			
Итого за семестр		38		38	30		зао	
Итого по дисциплине		38		38	30		зачет с оценкой	ОПК-6, ПК-2, ПК-3

## **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 (модуля)**

### **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/book/72587> (дата обращения: 29.09.2020). — 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/book/71707> (дата обращения: 29.09.2020). — 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/book/67462> (дата обращения: 29.09.2020). — 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/book/71742> (дата обращения: 29.09.2020). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

**в) Методические указания:**

в приложении 1

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

**Программное обеспечение**

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Windows 7 Professional(для классов)	Д-1227-18 от 08.10.2018	11.10.2021
MS Windows 7 Professional (для классов)	Д-757-17 от 27.06.2017	27.07.2018
MS Office 2007 Professional	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Maple 14 Classroom License	К-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

### 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>
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: <a href="https://scholar.google.ru/">https://scholar.google.ru/</a>
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: <a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a>

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

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа. Оснащение: доска, мультимедийный проектор, экран.

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

Помещения 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

### 6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

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

#### *Примерные аудиторные контрольные работы (АКР):*

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

1. Плотность меди, имеющей гранецентрированную кубическую решетку, равна  $8,96 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Вычислить объем элементарной ячейки и атомный радиус для этой кристаллической структуры. Сколько атомов содержится в ее 1 м<sup>3</sup>.
2. Принимая во внимание ГЦК структуру у золота, вычислить постоянную решетки, атомный радиус и число атомов в объеме, равном в 1 м<sup>3</sup>. Плотность золота равна  $1,932 \cdot 10^4$  кг/м<sup>3</sup>.
3. Кристалл цинка имеет ГПУ структуру с постоянными  $a = 2,66 \cdot 10^{-10}$  м и  $c = 4,95 \cdot 10^{-10}$  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) КВг, у которого  $\Delta E = 0,55$  эВ, KI, KF, у которого  $\Delta E = 1,5$  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  $E_F = 2,1$  эВ, а электропроводность при  $T = 0$  К равна  $\sigma = 1,6 \cdot 10^7$  Ом<sup>-1</sup> м<sup>-1</sup>. 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

### 7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

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

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
<b>ОПК-6 – способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе</b>		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>– виды симметрии и кристаллическое строение твердых тел;</li> <li>– основы зонной теории твердого тела;</li> <li>– теорию электропроводности и кинетических явлений в твердом теле;</li> <li>– основные оптические и фотоэлектрические явления в твердом теле;</li> <li>– контактные и термоэлектрические явления.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Перечень теоретических вопросов к зачету (с оценкой):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Симметрия и типы кристаллических решеток. Решетки Браве</li> <li>2. Уравнение Шредингера для кристалла.</li> <li>3. Теория и классификация энергетических зон в кристаллах. Зоны Бриллюэна. Элементарная теория локальных уровней.</li> <li>4. Основные представления о квантово-механических расчетах в теории твердого тела.</li> </ol>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>– использовать симметричные свойства тел к решению научно-исследовательских задач, касающихся строения твердого тела;</li> <li>– использовать зонную теорию твердых тел к описанию свойств электропроводности полупроводников и</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>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>.</li> <li>2. Вычислить объем первой зоны Бриллюэна и плотность квантовых состояний для электронов в простой энергетической зоне кристалла, имеющего а) ОЦК решетку; б)</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	<p>проводников;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– проводить расчет оптических параметров твердых тел из спектров поглощения и отражения;</li> <li>– применять теорию эффекта Холла в практических приложениях;</li> <li>– использовать теорию контактных и термоэлектрических явлений в твердых телах при проведении научно-исследовательской работы</li> </ul>	<p>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>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками описания строения твердых тел в научно-исследовательской работе;</li> <li>– навыками расчета оптических параметров твердых тел из их спектров;</li> <li>– способностью использовать базовые теоретические знания о строении твердых тел для решения профессиональных задач</li> </ul>	<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> $\Psi_{\mathbf{k}n}(\mathbf{r}) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{\mathbf{l}} e^{i\mathbf{l}\mathbf{k}} \psi_n(\mathbf{r} - \mathbf{l})$ <p>удовлетворяет условию Блоха.</p> <p>3. По медной проволоке с площадью сечения <math>S = 0,001 \text{ см}^2</math> проходит ток <math>I = 20 \text{ А}</math>. 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</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		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.
<b>ПК-2 – способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности</b>		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>– основные принципы и методы научного исследования с помощью современного приборного оборудования;</li> <li>– методы теории твердого тела, применяемые при изучении физических явлений с помощью современной приборной базы;</li> <li>– методы решений уравнений и формул теории твердого тела, отражающие изучение физических законов с помощью сложного физического оборудования</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Перечень теоретических вопросов к зачету (с оценкой):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Точечные дефекты и их спектроскопическое проявление</li> <li>2. Примесные дефекты и их регистрация</li> <li>3. Термодинамика фазовых переходов в кристаллах</li> <li>4. Статистика электронов и дырок в проводниках и полупроводниках. Уровень Ферми.</li> <li>5. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры.</li> <li>6. Эффект Холла.</li> <li>7. Элементы теории прохождения ускоренных частиц через вещество</li> <li>8. Оптические свойства твердых тел. Спектры поглощения и отражения.</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>– применять основные положения теории твердого тела для анализа проблем современной физики;</li> <li>– методами исследования структуры твердого тела для анализа проблем современной физики с помощью современной приборной базы</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 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>.</li> <li>2. 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>.</li> <li>3. Вычислить силу тока термоэлектронной эмиссии от серебряной проволоки длиной 5 см и диаметром 2 мм, нагретой до температуры <math>T</math>.</li> <li>4. Определить линейную диэлектрическую проницаемость в модели Лоренца (модели гармонического осциллятора).</li> </ol>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>– способностью использовать полученные знания для изучения профильных дисциплин;</li> <li>– системным представлением о динамике развития избранной области научной и профессиональной деятельности</li> <li>– современной научной картиной мира</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 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.</li> <li>2. 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.</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>3. 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>4. Определить длину волны излучения, при которой становятся прозрачными металлы, например (а) медь, (б) натрий.</p>
<p><b>ПК-3 – способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности</b></p>		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> <li>– основные принципы строения твердых тел и их основные свойства при проведения численного эксперимента;</li> <li>– реализуемые методы изучения свойств твердого тела при планировании эксперимента;</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Перечень теоретических вопросов к зачету (с оценкой)</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. УФ-спектроскопия и атомное строение твердых тел</li> <li>2. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС)</li> <li>3. Рентгеновская, фотоэлектронная дифракция</li> <li>4. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ)</li> <li>5. Фотоэлектрические свойства, люминисценция в твердых телах, фотопроводимость полупроводников</li> <li>6. Контактные явления в проводниках и полупроводниках. Контактная разность</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>потенциалов.</p> <p>7. Термоэлектрические явления. Эффекты Зеебека и Пельтье</p>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> <li>– составлять план эксперимента с учетом знаний свойств твердого тела;</li> <li>– самостоятельно определять задачи исследования;</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 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.</li> <li>2. Найти число квантовых состояний для электронов в невырожденной энергетической зоне кристалла, имеющего простую кубическую решетку с параметром <math>a</math> и объем <math>L^3</math>.</li> <li>3. 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<sup>-1</sup> м<sup>-1</sup>. Рассчитать с помощью этих данных среднюю длину свободного пробега электронов проводимости, полагая <math>m^* = m</math>.</li> <li>4. Найти диэлектрическую проницаемость и коэффициент поглощения ионного кристалла.</li> </ol>
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> <li>– навыками обращения с научной и учебной литературой;</li> <li>– навыками использования ЭВМ при решении научно-исследовательских задач в области физики твердого тела;</li> </ul>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сколько плоскостей типа <math>\{111\}</math> имеется в кубических структурах? Изобразить эти плоскости на чертеже.</li> <li>2. 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>.</li> <li>3. Показать, что давление электронного газа в металле выражается через его</li> </ol>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>кинетическую энергию <math>E</math> соотношением <math>P = \frac{2}{3} \frac{E}{V}</math>, где <math>V</math> – объем металла.</p> <p>4. 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.

**Перечень примерных теоретических вопросов к зачету**

1. УФ-спектроскопия и атомное строение твердых тел
2. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС)
3. Рентгеновская, фотоэлектронная дифракция
4. Сканирующая туннельная микроскопия (СТМ)
5. Фотоэлектрические свойства, люминисценция в твердых телах, фотопроводимость полупроводников
6. Контактные явления в проводниках и полупроводниках. Контактная разность потенциалов.
7. Термоэлектрические явления. Эффекты Зеебека и Пельтье
8. Точечные дефекты и их спектроскопическое проявление
9. Примесные дефекты и их регистрация
10. Термодинамика фазовых переходов в кристаллах
11. Статистика электронов и дырок в проводниках и полупроводниках. Уровень Ферми.
12. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры.
13. Эффект Холла.
14. Элементы теории прохождения ускоренных частиц через вещество
15. Оптические свойства твердых тел. Спектры поглощения и отражения
16. Симметрия и типы кристаллических решеток. Решетки Браве
17. Уравнение Шредингера для кристалла.
18. Теория и классификация энергетических зон в кристаллах. Зоны Бриллюэна. Элементарная теория локальных уровней.
19. Основные представления о квантово-механических расчетах в теории твердого тела.

**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.