



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИИС
И.Ю. Мезин

17.02.2020 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
2020 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
06.02.2020, протокол № 5

Зав. кафедрой  М.Б. Аркулис

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЕиС
17.02.2020 г. протокол № 6

Председатель  И.Ю. Мезин

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

 А.И. 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 _____ 20__ г. № ____
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"> - виды симметрии и кристаллическое строение твердых тел; - основы зонной теории твердого тела; - теорию электропроводности и кинетических явлений в твердом теле; - основные оптические и фотоэлектрические явления в твердом теле
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> - использовать симметричные свойства тел к решению научно-исследовательских задач, касающихся строения твердого тела; - использовать зонную теорию твердых тел к описанию свойств электропроводности полупроводников и проводников; - проводить расчет оптических параметров твердых тел из спектров поглощения и отражения; - применять теорию эффекта Холла в практических приложениях; - использовать теорию контактных и термоэлектрических явлений в твердых телах при проведении научно-исследовательской работы
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> - навыками описания строения твердых тел в научно-исследовательской работе; - навыками расчета оптических параметров твердых тел из их спектров; - способностью использовать базовые теоретические знания о строении твердых тел для решения профессиональных задач
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"> - основные принципы и методы научного исследования с помощью современного приборного оборудования; - методы теории твердого тела, применяемые при изучении физических явлений с помощью современной приборной базы; - методы решений уравнений и формул теории твердого тела, отражающие изучение физических законов с помощью сложного физического оборудования
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> - применять основные положения теории твердого тела для анализа проблем современной физики; - методами исследования структуры твердого тела для анализа проблем современной физики с помощью современной приборной базы
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> - способностью использовать полученные знания для изучения профильных дисциплин; - системным представлением о динамике развития избранной области научной и профессиональной деятельности; - современной научной картиной мира
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"> - основные принципы строения твердых тел и их основные свойства при проведения численного эксперимента; - реализуемые методы изучения свойств твердого тела при планировании эксперимента

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

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, люминесценция 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»	https://dlib.eastview.com/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)	URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp
Поисковая система Академия Google (Google Scholar)	URL: https://scholar.google.ru/
Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам	URL: http://window.edu.ru/

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/м³. Вычислить объем элементарной ячейки и атомный радиус для этой кристаллической структуры. Сколько атомов содержится в ее 1 м³.
2. Принимая во внимание ГЦК структуру у золота, вычислить постоянную решетки, атомный радиус и число атомов в объеме, равном в 1 м³. Плотность золота равна $1,932 \cdot 10^4$ кг/м³.
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 ΔE 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 $\sigma = 1,6 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$. 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 λ можно определить, измеряя коэффициенты отражения для угла падения φ линейно поляризованного света при плоскостях поляризации, параллельной и перпендикулярной к плоскости падения. Показать, что этот метод не пригоден для φ_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 ω 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
ОПК-6 – способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> – виды симметрии и кристаллическое строение твердых тел; – основы зонной теории твердого тела; – теорию электропроводности и кинетических явлений в твердом теле; – основные оптические и фотоэлектрические явления в твердом теле; – контактные и термоэлектрические явления. 	<p style="text-align: center;">Перечень теоретических вопросов к зачету (с оценкой):</p> <ol style="list-style-type: none"> 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.
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> – использовать симметричные свойства тел к решению научно-исследовательских задач, касающихся строения твердого тела; – использовать зонную теорию твердых тел к описанию свойств электропроводности полупроводников и 	<ol style="list-style-type: none"> 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 м^3. 2. Вычислить объем первой зоны Бриллюэна и плотность квантовых состояний для электронов в простой энергетической зоне кристалла, имеющего а) ОЦК решетку; б)

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
	<p>проводников;</p> <ul style="list-style-type: none"> – проводить расчет оптических параметров твердых тел из спектров поглощения и отражения; – применять теорию эффекта Холла в практических приложениях; – использовать теорию контактных и термоэлектрических явлений в твердых телах при проведении научно-исследовательской работы 	<p>ГЦК решетку. Длина ребра элементарного куба равна a.</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"> – навыками описания строения твердых тел в научно-исследовательской работе; – навыками расчета оптических параметров твердых тел из их спектров; – способностью использовать базовые теоретические знания о строении твердых тел для решения профессиональных задач 	<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 $S = 0,001 \text{ см}^2$ проходит ток $I = 20 \text{ А}$. Оценить скорость дрейфа электронов в электрическом поле и сравнить ее со скоростью Ферми при $T = 0$. Считать, что $m^* = m$.</p> <p>4. Оптические постоянные непрозрачного кубического материала при заданной длине</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		волны λ можно определить, измеряя коэффициенты отражения для угла падения φ линейно поляризованного света при плоскостях поляризации, параллельной и перпендикулярной к плоскости падения. Показать, что этот метод не пригоден для φ_0 , близкого к 0, 45 и 90 градусов.
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"> – основные принципы и методы научного исследования с помощью современного приборного оборудования; – методы теории твердого тела, применяемые при изучении физических явлений с помощью современной приборной базы; – методы решений уравнений и формул теории твердого тела, отражающие изучение физических законов с помощью сложного физического оборудования 	<p style="text-align: center;">Перечень теоретических вопросов к зачету (с оценкой):</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Точечные дефекты и их спектроскопическое проявление 2. Примесные дефекты и их регистрация 3. Термодинамика фазовых переходов в кристаллах 4. Статистика электронов и дырок в проводниках и полупроводниках. Уровень Ферми. 5. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. 6. Эффект Холла. 7. Элементы теории прохождения ускоренных частиц через вещество 8. Оптические свойства твердых тел. Спектры поглощения и отражения.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> – применять основные положения теории твердого тела для анализа проблем современной физики; – методами исследования структуры твердого тела для анализа проблем современной физики с помощью современной приборной базы 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Принимая во внимание ГЦК структуру у золота, вычислить постоянную решетки, атомный радиус и число атомов в объеме, равном в 1 м^3. Плотность золота равна $1,932 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3$. 2. Оценить среднюю плотность электронных состояний в последней заполненной зоне шириной ΔE 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. Вычислить силу тока термоэлектронной эмиссии от серебряной проволоки длиной 5 см и диаметром 2 мм, нагретой до температуры T. 4. Определить линейную диэлектрическую проницаемость в модели Лоренца (модели гармонического осциллятора).
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – способностью использовать полученные знания для изучения профильных дисциплин; – системным представлением о динамике развития избранной области научной и профессиональной деятельности – современной научной картиной мира 	<ol style="list-style-type: none"> 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. 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.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>3. При комнатной температуре $T = 293$ 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?</p> <p>4. Определить длину волны излучения, при которой становятся прозрачными металлы, например (а) медь, (б) натрий.</p>
<p>ПК-3 – способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности</p>		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> – основные принципы строения твердых тел и их основные свойства при проведения численного эксперимента; – реализуемые методы изучения свойств твердого тела при планировании эксперимента; 	<p style="text-align: center;">Перечень теоретических вопросов к зачету (с оценкой)</p> <ol style="list-style-type: none"> 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

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"> – составлять план эксперимента с учетом знаний свойств твердого тела; – самостоятельно определять задачи исследования; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 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. 2. Найти число квантовых состояний для электронов в невырожденной энергетической зоне кристалла, имеющего простую кубическую решетку с параметром a и объемом L^3. 3. Энергия Ферми калия $E_F = 2,1$ эВ, а электропроводность при $T = 0$ К равна $\sigma = 1,6 \cdot 10^7$ Ом⁻¹ м⁻¹. Рассчитать с помощью этих данных среднюю длину свободного пробега электронов проводимости, полагая $m^* = m$. 4. Найти диэлектрическую проницаемость и коэффициент поглощения ионного кристалла.
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – навыками обращения с научной и учебной литературой; – навыками использования ЭВМ при решении научно-исследовательских задач в области физики твердого тела; 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Сколько плоскостей типа $\{111\}$ имеется в кубических структурах? Изобразить эти плоскости на чертеже. 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 $V(x) = V_1 \cos \frac{2\pi x}{a}$. 3. Показать, что давление электронного газа в металле выражается через его

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p>кинетическую энергию E соотношением $P = \frac{2}{3} \frac{E}{V}$, где V – объем металла.</p> <p>4. Найти коэффициент отражения для металлов как функцию частоты ω 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) $\omega \gg \omega_p$.</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.