

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева»
(Астраханский государственный университет им. В. Н. Татищева)

СОГЛАСОВАНО

Руководитель ОПОП

Д. Ю. Матвеев

«04» апреля 2024 г.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
физики

С. А. Тишкова

«04» апреля 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Введение в физику твердого тела

Составитель(-и)	Матвеев Д.Ю., доцент, к.ф.-м.н., доцент кафедры инженерных технологий;
Направление подготовки / специальность	03.04.02 Физика
Направленность (профиль) ОПОП	ФИЗИКА КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА
Квалификация (степень)	магистр
Форма обучения	очная
Год приема	2023
Курс	2
Семестр	3

Астрахань – 2024 г.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1. Целями освоения дисциплины (модуля) «Введение в физику твердого тела» являются: овладение основными представлениями микроскопической теории конденсированного состояния вещества, главным образом, твёрдого тела. изучение основных физических свойств твердого состояния вещества

1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля): дать представление об основных понятиях и идеях современной физики твердого тела и подготовить студента к изучению специальных обзоров и оригинальных работ по отдельным вопросам данной области; представить наиболее значимые в современной науке области физики твердого тела, позволяющие подготовить студента к теоретической и экспериментальной деятельности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОПОП

2.1. Учебная дисциплина «Введение в физику твердого тела» относится к курсу элективных дисциплин и осваивается в 3 семестре.

Дисциплина «Введение в физику твердого тела» входит в блок Б1 элективных дисциплин (Б1.В.Д.01.02).

2.2. Для изучения данной учебной дисциплины (модуля) необходимы следующие знания, умения и навыки, формируемые предшествующими учебными дисциплинами (модулями):

- физика конденсированного состояния;
- специальный физический практикум;
- физика полупроводников и диэлектриков

Знания: основ физики твердого тела

Умения: производить интегральные и дифференциальные расчеты

Навыки: вычисления

2.3. Последующие учебные дисциплины (модули) и (или) практики, для которых необходимы знания, умения, навыки, формируемые данной учебной дисциплиной (модулем):

- физика и техника абсорбционного спектрального анализа;
- физика и техника эмиссионного спектрального анализа;
- многокомпонентные магнитные полупроводники;
- производственная практика;
- учебная практика.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП по данному направлению подготовки (специальности): **профессиональных (ПК-2):** «Способность свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач в области физики конденсированного состояния, и применять результаты научных исследований в исследовательской деятельности»;

Таблица 1. Декомпозиция результатов обучения

Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)		
	Знать (1)	Уметь (2)	Владеть (3)
ПК-2	ИПК-2.1.1 знать методы расчетно-теоретического исследования физических процессов	ИПК-2.2.1 уметь использовать классические численные методы для решения физических задач	ИПК-2.3.1 владеть практическими навыками эксперимента в своей предметной области с требуемой степенью точности

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Объем дисциплины 3 зачетных единицы или 108 часов, из них 92 часа отводится на самостоятельную работу обучающихся и 16 (16 часов практических занятий) отводится на аудиторную работу.

Таблица 2. Структура и содержание дисциплины (модуля)

№ п/п	Наименование раздела (темы)	Семестр	Контактная работа (в часах)			Самостоят. работа		Формы текущего контроля успеваемости, форма промежуточной аттестации
			Л	ПЗ	ЛР	КР	СР	
1.	Тема 1. Симметрия кристалла. Геометрия кристаллических решеток.	3		2			12	САМ РАБОТА № 1
2.	Тема 2. Динамика кристаллической решетки.	3		2			12	
3.	Тема 3. Тепловые свойства твердых тел.	3		2			12	
4.	Тема 4. Электронная теория металлов.	3		2			12	
5.	Тема 5. Статистика Ферми электронного газа.	3		2			12	САМ РАБОТА №2
6.	Тема 6. Диэлектрические и оптические свойства твердых тел	3		2			12	

7.	Тема 7. Магнитные свойства твердых тел.	3		2			12
8.	Тема 8. Теория сверхпроводимости	3		2			8
	ИТОГО	3		16			92
							ЭКЗАМЕН

Л – занятия лекционного типа; ПЗ – практические занятия, ЛР – лабораторные работы; КР – курсовая работа; СР – самостоятельная работа по отдельным темам.

Таблица 3 – Матрица соотнесения разделов, тем учебной дисциплины (модуля) и формируемых компетенций

Раздел, тема	Кол-во	Код компетенции	Общее
Тема 1. Симметрия кристалла. Геометрия кристаллических решеток	2	ПК-2	1
Тема 2. Динамика кристаллической решетки	2	ПК-2	1
Тема 3. Тепловые свойства твердых тел	2	ПК-2	1
Тема 4. Электронная теория металлов	2	ПК-2	1
Тема 5. Статистика Ферми электронного газа	2	ПК-2	1
Тема 6. Диэлектрические и оптические свойства твердых тел	2	ПК-2	1
Тема 7. Магнитные свойства твердых тел	2	ПК-2	1
Тема 8. Теория сверхпроводимости.	2	ПК-2	1
<i>Итого</i>	<i>16 ч</i>	ПК-2	1

Краткое содержание каждой темы дисциплины (модуля)

Тема 1. Симметрия кристалла. Геометрия кристаллических решеток

Тема 2. Динамика кристаллической решетки

Тема 3. Тепловые свойства твердых тел

Тема 4. Электронная теория металлов

Тема 5. Статистика Ферми электронного газа

Тема 6. Диэлектрические и оптические свойства твердых тел

Тема 7. Магнитные свойства твердых тел

Тема 8. Теория сверхпроводимости.

5. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

5.1. Указания по организации и проведению лекционных, практических (семинарских) и лабораторных занятий с перечнем учебно-методического обеспечения

В процессе изучения данной дисциплины студенты готовят рефераты по предложенным темам и защищают их на практических занятиях. С использованием изученных методов решения задач разбирают домашние задачи и представляют их на занятиях. Причем эти задачи имеют профессиональную направленность.

При изучении тем, выносимых на самостоятельную работу необходимо пользоваться следующей литературой:

1. Ансельм А.И., Введение в теорию полупроводников, Физматгиз, М.—Л., 1962.
2. Займан Дж. Принципы теории твердого тела.— М.: Мир, 1974 (2-е изд.)
3. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела.— М.: Высшая школа, 2000.
4. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела.— М.: Наука, 1978.
5. Джалмухамбетов А.У., Фисенко М.А. Конспекты по курсу «Введение в физику конденсированного состояния» (электронный вариант).— 2014.
6. Сирота, Д.И. Физика твердого тела. Сборник задач с подробными решениями / Д. И. Сирота ; науч. ред. В.И. Попков. - 2-е изд. ; испр. - М. : URSS, 2010. - 182, [2] с. - ISBN 978-5-397-01154-9 : 305-00.
7. Павленко Ю.Г. Задачи по теоретической механике: доп. М-вом образования РФ в качестве учеб. Пособ. для вузов/ Ю.Г. Павленко.-2-е изд.; перераб. Дополн.-М.: Физматлит, 2003.-536с.- ISDN 5-9221-0302-4: 170-17.

5.2. Указания для обучающихся по освоению дисциплины (модулю)

Таблица 4. Содержание самостоятельной работы обучающихся

Темы/вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов	Формы работы
Тема 1. Симметрия кристалла. Геометрия кристаллических решеток	12	Реферат
Тема 2. Динамика кристаллической решетки	12	Доклад
Тема 3 Тепловые свойства твердых тел	12	Доклад
Тема 4. Электронная теория металлов	12	Доклад
Тема 5. Статистика Ферми электронного газа	12	Реферат
Тема 6. Диэлектрические и оптические свойства твердых тел	12	Реферат
Тема 7. Магнитные свойства твердых тел	12	Доклад
Тема 8. Теория сверхпроводимости.	8	Доклад

5.3. Виды и формы письменных работ, предусмотренных при освоении дисциплины (модуля), выполняемые обучающимися самостоятельно.

Структура реферата:

- Титульный лист (указывается название образовательного учреждения, тема реферата, название учебного курса, номер группы, форма и курс обучения, Ф.И.О. автора, Ф.И.О. проверяющего, место и год выполнения работы);
- Содержание (содержание включает: введение; наименования всех разделов, подразделов, пунктов и подпунктов основной части задания; выводы; список источников информации);
- Введение (во введении кратко формулируется проблема, указывается цель и задачи реферата);
- Основная часть (состоит из нескольких разделов, в которых излагается суть реферата);

- Выводы или Заключение (в выводах приводят оценку полученных результатов работы, предлагаются рекомендации);
- Список источников информации (содержит перечень источников, на которые ссылаются в основной части реферата).

К оформлению реферата предъявляются следующие требования: оформляется на листах формата А4, текст печатается на одной стороне листа через полтора интервала; параметры шрифта: гарнитура шрифта - Times New Roman, начертание - обычный, кегль шрифта - 14 пунктов; выравнивание текста – по ширине страницы, отступ первой строки -1,25 см, межстрочный интервал - Полуторный; поля страницы: верхнее и нижнее поля – 20 мм, размер левого поля 30 мм, правого – 15 мм.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

6.1. Образовательные технологии

Формы учебных занятий:

- 1) лекция, с использованием компьютерных и технических средств, направленная на приобретение студентами новых теоретических знаний;
- 2) практическое занятие по расчету математических задач на основании теоретических знаний, направленное на приобретение умений по расчету математических моделей;
- 3) контрольная работа, направленная на определение уровня освоения дисциплины.

Образовательные технологии: интерактивные лекции, анализ ситуаций, равный обучает равного, тематические дискуссии.

Таблица 5 – Образовательные технологии, используемые при реализации учебных занятий

Раздел, тема дисциплины (модуля)	Форма учебного занятия		
	Лекция	Практическое занятие, семинар	Лабораторная работа
Тема 1. Симметрия кристалла. Геометрия кристаллических решеток	<i>Обзорная лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 2. Динамика кристаллической решетки	<i>Лекция-диалог</i>	<i>Тематические дискуссии, анализ конкретных ситуаций</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 3 Тепловые свойства твердых тел	<i>Обзорная лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 4. Электронная теория металлов	<i>Лекция-диалог</i>	<i>Тематические дискуссии, анализ конкретных</i>	<i>Не предусмотрено</i>

		<i>ситуаций</i>	
Тема 5. Статистика Ферми электронного газа	<i>Обзорная лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 6. Диэлектрические и оптические свойства твердых тел	<i>Лекция-диалог</i>	<i>Тематические дискуссии, анализ конкретных ситуаций</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 7. Магнитные свойства твердых тел	<i>Обзорная лекция</i>	<i>Фронтальный опрос, выполнение практических заданий, тематические дискуссии</i>	<i>Не предусмотрено</i>
Тема 8. Теория сверхпроводимости.	<i>Лекция-диалог</i>	<i>Тематические дискуссии, анализ конкретных ситуаций</i>	<i>Не предусмотрено</i>

6.2. Информационные технологии

Интернет-ресурсы:

Единое окно доступа к образовательным ресурсам http://window.edu.ru
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации https://minobrnauki.gov.ru
Министерство просвещения Российской Федерации https://edu.gov.ru
Федеральное агентство по делам молодежи (Росмолодёжь) https://fadm.gov.ru
Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки (Рособрнадзор) http://obrnadzor.gov.ru
Сайт государственной программы Российской Федерации «Доступная среда» http://zhit-vmeste.ru
Российское движение школьников https://рдш.рф

Электронно-библиотечные системы:

Электронная библиотечная система IPRbooks

www.iprbookshop.ru

Электронно-библиотечная система BOOK.ru

<https://book.ru>

Электронная библиотечная система издательства ЮРАЙТ,
раздел «Легендарные книги»

www.biblio-online.ru, <https://urait.ru/>

Электронная библиотека «Астраханский государственный университет» собственной генерации на платформе ЭБС «Электронный Читальный зал – БиблиоТех» <https://biblio.asu.edu.ru> Учётная запись образовательного портала АГУ

Электронно-библиотечная система (ЭБС) ООО «Политехресурс» «Консультант студента»

Многопрофильный образовательный ресурс «Консультант студента» является электронной библиотечной системой, предоставляющей доступ через Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретённым на основании прямых договоров с правообладателями. Каталог содержит более 15 000 наименований изданий.

www.studentlibrary.ru

Регистрация с компьютеров АГУ

Электронная библиотечная система «Университетская библиотека онлайн»

www.biblioclub.ru

6.3. Программное обеспечение, современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

6.3.1. Программное обеспечение

Наименование программного обеспечения	Назначение
Adobe Reader	Программа для просмотра электронных документов
Платформа дистанционного обучения LMS Moodle	Виртуальная обучающая среда
Mozilla FireFox	Браузер
Microsoft Office 2013, Microsoft Office Project 2013, Microsoft Office Visio 2013	Пакет офисных программ
7-zip	Архиватор
Microsoft Windows 7 Professional	Операционная система
Kaspersky Endpoint Security	Средство антивирусной защиты
Google Chrome	Браузер
Notepad++	Текстовый редактор
OpenOffice	Пакет офисных программ
Opera	Браузер

Наименование программного обеспечения	Назначение
Paint .NET	Растровый графический редактор
Scilab	Пакет прикладных математических программ
MathCad 14	Система компьютерной алгебры из класса систем автоматизированного проектирования, ориентированная на подготовку интерактивных документов с вычислениями и визуальным сопровождением
IBM SPSS Statistics 21	Программа для статистической обработки данных
ObjectLand	Геоинформационная система
КРЕДО ТОПОГРАФ	Геоинформационная система
Полигон Про	Программа для кадастровых работ

6.3.2. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Универсальная справочно-информационная полнотекстовая база данных периодических изданий ООО «ИВИС» <http://dlib.eastview.com> Имя пользователя: AstrGU Пароль: AstrGU

Электронные версии периодических изданий, размещённые на сайте информационных ресурсов www.polpred.com

Электронный каталог Научной библиотеки АГУ на базе MARK SQL НПО «Информ-систем» <https://library.asu.edu.ru/catalog/>

Электронный каталог «Научные журналы АГУ» <https://journal.asu.edu.ru/>

Корпоративный проект Ассоциации региональных библиотечных консорциумов (АРБИКОН) «Межрегиональная аналитическая роспись статей» (МАРС) – сводная база данных, содержащая полную аналитическую роспись 1800 названий журналов по разным отраслям знаний. Участники проекта предоставляют друг другу электронные копии отсканированных статей из книг, сборников, журналов, содержащихся в фондах их библиотек <http://mars.arbicon.ru>

Справочная правовая система КонсультантПлюс.

Содержится огромный массив справочной правовой информации, российское и региональное законодательство, судебную практику, финансовые и кадровые консультации, консультации для бюджетных организаций, комментарии законодательства, формы документов, проекты нормативных правовых актов, международные правовые акты, правовые акты, технические нормы и правила <http://www.consultant.ru>

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Паспорт фонда оценочных средств.

При проведении текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) «Введение в физику твердого тела» проверяется сформированность у обучающихся компетенций, указанных в разделе 3 настоящей программы. Этапность формирования данных компетенций в процессе освоения образовательной программы определяется последовательным освоением дисциплин (модулей) и прохождением практик, а в процессе

освоения дисциплины (модуля) – последовательным достижением результатов освоения содержательно связанных между собой разделов, тем.

Таблица 6 – Соответствие разделов, тем дисциплины (модуля), результатов обучения по дисциплине (модулю) и оценочных средств

№ п/п	Контролируемый раздел, тема дисциплины (модуля)	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Тема 1. Симметрия кристалла. Геометрия кристаллических решеток	ПК-2	САМ РАБОТА № 1
2	Тема 2. Динамика кристаллической решетки	ПК-2	САМ РАБОТА № 1
3	Тема 3 Тепловые свойства твердых тел	ПК-2	САМ РАБОТА № 1
4	Тема 4. Электронная теория металлов	ПК-2	САМ РАБОТА № 1
5	Тема 5. Статистика Ферми электронного газа	ПК-2	САМ РАБОТА № 2
6	Тема 6. Диэлектрические и оптические свойства твердых тел	ПК-2	САМ РАБОТА № 2
7	Тема 7. Магнитные свойства твердых тел	ПК-2	САМ РАБОТА № 2
8	Тема 8. Теория сверхпроводимости.	ПК-2	ЭКЗАМЕН

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания

Типы контроля для оценивания результатов обучения.

Для оценивания результатов обучения в виде **знаний** используются устные ответы на вопросы, экзамен.

Для оценивания результатов обучения в виде **умений** и **владений** используются контрольные работы, экзамен.

Таблица 7. Показатели оценивания результатов обучения в виде знаний

5 «отлично»	-демонстрируются знания теоретического материала и умение их применять; -студент способен обоснованно излагать свои мысли, делать необходимые выводы.
4 «хорошо»	-демонстрируются знания теоретического материала; -возможны единичные ошибки при ответах на вопросы, исправляемые самим студентом после замечания преподавателя; - студент способен обоснованно излагать свои мысли.
3 «удовлетворительно»	-демонстрируются слабые знания теоретического материала; -возможны множественные ошибки при ответах на вопросы; -студент способен излагать свои мысли, делать необходимые выводы.
2 «неудовлетворительно»	-демонстрируется отсутствие знаний теоретического материала; -возможны грубые ошибки при ответах на вопросы, которые студент не в состоянии исправить после замечания преподавателя; - студент не способен излагать свои мысли, делать необходимые выводы.

Таблица 8. Показатели оценивания результатов обучения в виде умений и владений

5 «отлично»	- демонстрируется умение применять теоретические знания; - последовательное, правильное выполнение всех заданий;
4 «хорошо»	- демонстрируется умение применять теоретические знания; - последовательное, правильное выполнение всех заданий с единичными ошибками;
3 «удовлетворительно»	- выполнение не всех заданий; - в заданиях допущены множественные ошибки;
2 «неудовлетворительно»	- невыполнение всех заданий.

7.3. Контрольные задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения по дисциплине (модулю)

Вопросы к экзамену

1. Атомные ядра. Электроны. Атомы и молекулы, роль электромагнитных сил. Опытные данные и основные представления о строении атомов и молекул. Масштабы физических величин.
2. Тепловое движение частиц и агрегатные состояния вещества. Неконденсированные состояния: плазма, газы. Конденсированные состояния: жидкости, упорядоченные и неупорядоченные твердые вещества. Фазовые переходы между состояниями. Дальний и ближний порядок.
3. Межатомные силы, общая характеристика. Межмолекулярное взаимодействие в конденсированных системах. Типы связей в кристаллах. Ковалентная и ионные кристаллы. Металлы. Молекулярные кристаллы. Водородная связь.
4. Энергия связи атомов в твердом теле и ее оценка для различных типов связей. Постоянная Маделунга. Постоянные упругой связи атомов.
5. Основные представления о движении электронов и ядер в кристаллах. Соотношение масс, импульсов и кинетических энергий электронов и ядер. Понятие об адиабатическом приближении (Борна-Оппенгеймера).
6. Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллической решетки. Точечные и пространственные группы.
7. Кристаллические структуры. Решетки Браве, решетки с базисом. Вектор решетки. Выбор базисных векторов. Объем элементарной (примитивной) ячейки. Ячейка Вигнера-Зейтца.
8. Обратная решетка и пространство волновых векторов. Базисные векторы обратной решетки. Зоны Бриллюэна. Дифракционные условия Лауэ.
9. Дифракция в кристаллах. Экспериментальные методы исследования строения кристаллов: рентгенография, электронография и нейтронография.
10. Кристаллические решетки кубической симметрии. Простая кубическая, объемно-центрированная и гранецентрированная решетки. Плотность упаковки.
11. Кристаллическая структура наночастиц. Фуллерены, углеродные нанотрубы, графен.
12. Дефекты кристаллической решетки и их типы. Влияние дефектов на свойства кристаллов.
13. Динамика простой решетки в гармоническом приближении. Нормальные колебания в простой одномерной цепочке атомов, спектр колебаний. Конечные размеры, условия Борна-Кармана. Связь скорости звука с упругими постоянными решетки.
14. Одномерная решетка с базисом. Акустическая и оптическая ветви закона дисперсии.
15. Обобщение динамики одномерной решетки на случай трехмерных кристаллов с базисом. Экспериментальные методы определения закона дисперсии фононов в кристаллах.

16. Квантование решеточных колебаний. Фононы. Число мод и плотность состояний фононов. Энергетический спектр фононов.
17. Тепловые свойства решетки. Закон Дюлонга и Пти. Теплоемкость кристаллической решетки, модели Эйнштейна и Дебая. Температура Дебая.
18. Закон кубов Дебая для теплоемкости. Сравнение с экспериментальными данными по температурной зависимости теплоемкости твердых тел. Понятие о теплоемкости свободных электронов в металлах.
19. Роль ангармонизма колебаний. Тепловое расширение и теплопроводность решетки.
20. Движение электрона в периодическом поле кристаллической решетки. Квазиимпульс.
21. Плотность состояния электронов в пространстве квазиимпульсов. Зонный энергетический спектр электронов в кристалле.
22. Зонная структура. Типы кристаллических тел: металлы и диэлектрики. Полупроводники и полуметаллы.
23. Динамика электрона в кристалле. Эффективная масса электронов. Дырочные состояния.
24. Электроны в металлах. Модели электронного газа Друде и Зоммерфельда.
25. Статистика Ферми электронного газа. Электронная теплоемкость.
26. Давление электронного газа, термоэлектронная эмиссия.
27. Электропроводность металлов, понятие об электрон-фононном взаимодействии. Время релаксации.
28. Температурная зависимость электропроводности. Правило Матиссена.
29. Теплопроводность металлов. Закон Видемана-Франца. Термоэлектрические явления.
30. Плазменные колебания электронного газа. Понятие о плазмонах.
31. Проникновение света в металл. Скин-слой.
32. Электроны и дырки в полупроводниках. Проводимость полупроводников. Эффект Холла. Температурная зависимость проводимости собственного полупроводника.
33. Примеси и примесные состояния. Донорные и акцепторные уровни. Уровень Ферми в примесном полупроводнике. Контактные явления и применения полупроводников.
34. Диэлектрические свойства вещества. Классификация диэлектриков и их основные электрические свойства. Пирозлектрики, пьезоэлектрики, сегнетоэлектрики и антисегнетоэлектрики.
35. Поляризация и дисперсия диэлектриков. Формула Ланжевена для восприимчивости дипольного газа.
36. Поглощение света примесными центрами в диэлектриках. Влияние электрон-фононного взаимодействия на оптические переходы.
37. Диамагнетизм свободных электронов. Спиновый парамагнетизм Паули.
38. Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейсса. Температурная зависимость намагниченности, точка Кюри. Закон Кюри-Вейсса.
39. Обменное взаимодействие. Модель Гейзенберга. Понятие об антиферромагнетизме и ферримагнетизме.
40. Сверхпроводимость. Электрон-фононное взаимодействие. Куперовские пары. Микроскопическая теория низкотемпературной сверхпроводимости (БКШ). Понятие о высокотемпературной сверхпроводимости.

Задачи для самостоятельной работы

Тема 1. Энергия связи кристаллов

1. Вычислить постоянную Маделунга для линейной бесконечной цепочки ионов, чередующихся по знаку электрического заряда ($\pm e$).
2. Вычислить приближенное значение постоянной Маделунга для двумерного ионного кристалла, проводя суммирование до атомов, лежащих на расстоянии $4a$.

3. Используя выражение для энергии ионного кристалла

$$U(r) = -\frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{\beta}{r^n}, \quad (2.1)$$

где α – постоянная Маделунга, r – расстояние между ближайшими ионами, β , n – постоянные, показать, что молярная энергия связи, соответствующая равновесному кратчайшему расстоянию между ионами $r = r_0$, выражается в виде

$$E_{ca} = N_A \frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 r_0} \left(1 - \frac{1}{n}\right), \text{ где } N_A - \text{число Авогадро.}$$

4. Зная постоянную Маделунга α и молярную энергию связи в равновесном состоянии, оценить значение показателя степени n в формуле (2.1) для энергии ионных кристаллов: а) NaCl; б) KCl.

5. Найти коэффициент сжимаемости $\kappa = -\frac{1}{V} \frac{dV}{dp}$ ионных кристаллов с решетками типа NaCl через постоянные, характеризующие энергию кристалла в равновесном состоянии.

6. Кристалл NaCl, коэффициент сжимаемости которого $K = 3,47 \cdot 10^{-11}$ 1/Па, подвергли всестороннему сжатию под давлением 29 МПа. Найдите относительное уменьшение постоянной решетки кристалла.

7. Кристалл CsCl, коэффициент сжимаемости которого $K = 5,02 \cdot 10^{-11}$ 1/Па, подвергли всестороннему сжатию, в результате чего его объем уменьшился на 1,0 %. Найти давление, под которым находится кристалл, и приращение объемной плотности энергии связи.

8. Энергия одномерного молекулярного кристалла в расчете на один атом представляется выражением (потенциал Ленарда-Джонса)

$$U(x) = A \left[\left(\frac{\sigma}{x} \right)^{12} - 2 \left(\frac{\sigma}{x} \right)^6 \right], \quad (2.2)$$

где x – расстояние между соседними атомами, A и σ – постоянные. Найти выражения для равновесного межатомного расстояния x_0 , энергии связи в расчете на один атом, коэффициента сжимаемости молекулярного кристалла.

9. В простейшей модели одновалентного металла энергия связи в расчете на один атом определяется формулой

$$U(r_s) = -\frac{9e^2}{40\pi\epsilon_0 r_s} + \frac{3h^2}{10m_0 r_s^2} \left(\frac{9\pi}{4} \right)^{2/3}. \quad (2.3)$$

Оценить постоянную решетки кристаллического натрия. Вычислить также модуль всестороннего сжатия ($B = 1/\kappa$) при температуре абсолютного нуля и скорость звука.

10. Оценить в Н/мм² теоретическую прочность ионного кристалла NaCl на разрыв.

Тема 2. Динамика кристаллической решетки

1. Представим себе атомы в кристалле меди шариками, связанными между собой «пружинами». Пусть атом, связанный с такой «пружиной» жесткостью, эквивалентной

- частоте колебаний 10^{13} 1/с, находится в низшем состоянии. Определите амплитуду нулевых колебаний.
2. Оценить максимальные значения энергии и импульса фононов в алюминии. Плотность алюминия равна $2,7 \text{ г/см}^3$.
 3. Найдите число акустических фононов с энергией в интервале $(E, E + dE)$ в дебаевской модели кристалла объемом V при температуре T . Скорость волн продольной и поперечных поляризаций равна c .
 4. Определите частоту, которую имеет наибольшее число акустических фононов в дебаевской модели кристалла при температуре T .
 5. Определите наиболее вероятную энергию фонона при температуре равной половине дебаевской температуры.
 6. Определите наиболее вероятное число фононов в дебаевской модели кристалла при температуре T .
 7. Найдите энергию нулевых акустических колебаний дебаевского кристалла объемом V и числом элементарных ячеек N . Скорость волн продольной и поперечной поляризаций равна c .
 8. Оценить скорость акустических волн в кристаллическом натрии (Na), если известно, что температура Дебая и плотность массы равны соответственно: 160 К и $0,97 \text{ г/см}^3$.

Тема 3. Тепловые свойства твердых тел

1. Рассчитайте тепловую энергию одного моля металла при температуре 300 К , применяя закон Дюлонга и Пти.
2. Удельные теплоемкости свинца и алюминия при постоянном объеме и комнатной температуре (20°C) соответственно равны 126 и 896 Дж/кг град . Вычислить теплоемкости C_V для моля этих металлов и полученные значения сравнить с данными, получаемыми по закону Дюлонга и Пти.
3. Пользуясь законом Дюлонга и Пти, найти удельную теплоемкость меди, железа и алюминия, если их плотности равны $8,6$, $7,9$ и $2,6 \text{ г/см}^3$, соответственно.
4. Показать, что теплоемкость одномерной решетки из одинаковых атомов в модели Дебая пропорциональна температуре в области низких температур.
5. Показать, что теплоемкость двумерной решетки из одинаковых атомов в модели Дебая пропорциональна квадрату температуры в области низких температур.
6. Используя выражение для энергии ионного кристалла (2.1), найти выражение для коэффициента теплового расширения кристалла.
7. Рассчитать коэффициент теплового расширения одномерного молекулярного кристалла, используя выражение для его энергии (2.2).

Тема 4. Электронная теория металлов.

1. Какова длина медного проводника с площадью поперечного сечения 1 мм^2 , если при силе тока в 1 А напряжение на его концах составляет 10 В ? Удельное электрическое сопротивление меди $1,75 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$.
2. Медный и алюминиевый провода равной длины имеют одинаковые сопротивления. Определить отношение диаметров этих проводов. Вычислить, во сколько раз масса алюминиевого провода меньше массы медного провода. (Данные взять из таблиц).
3. Определите дрейфовую скорость свободных электронов в медном проводнике диаметром $0,5 \text{ мм}$ при силе тока в 1 А . Найдите отношение дрейфовой скорости к средней классической скорости движения электронов при температуре 300 К .

4. Оцените время релаксации свободных электронов в меди, полагая, что на один атом меди приходится один свободный электрон. Эффективную массу принять равной массе свободного электрона.

5. Время релаксации свободного электрона в меди равно $1,8 \cdot 10^{-14}$ с. Оцените при температуре 300 К среднюю длину свободного пробега электрона, полагая, что средняя скорость электрона определяется классической теорией. Сравните результат с расстоянием между ближайшими атомами. Как изменится длина свободного пробега, если среднюю скорость свободного электрона рассчитывать по квантовой теории?

6. Определить площадь поперечного сечения плавкого свинцового предохранителя, рассчитанного на предельный ток в цепи $I = 6$ А, если удельное сопротивление свинца $\rho = 0.19$ мкОм·м, плотность его $d = 11.34$ Мг/м³, а температура плавления $T_{пл} = 327^\circ\text{C}$. Теплоотводом во внешнюю среду ввиду кратковременности аварийного режима пренебречь. Начальную температуру предохранителя принять равной 20°C . Удельная теплоемкость свинца 130 Дж/(кг·К).

Тема 5. Статистика Ферми электронного газа.

1. Вычислите энергию Ферми и максимальную скорость свободных электронов в меди при 0 К, если известно, что их концентрация $8,5 \cdot 10^{22}$ см⁻³.

2. Для лития работа выхода равна 2,36 эВ, а плотность 0,534 г/см³. Вычислить потенциальную энергию (глубину потенциальной ямы) электрона в литии.

3. Найти интервал в электрон-вольтах между соседними уровнями свободных электронов в металле при 0 К вблизи уровня Ферми, если объем металла 1 см³ и концентрация электронов $2 \cdot 10^{22}$ см⁻³.

4. Вычислить среднюю скорость свободных электронов в меди при 0 К, если известно, что их концентрация $8,5 \cdot 10^{22}$ см⁻³.

5. Показать на примере простой кубической решетки, содержащей по одному свободному электрону на атом, что минимальная дебройлевская длина волны свободных электронов приблизительно равна удвоенному расстоянию между соседними атомами.

6. Давление электронного газа является одним из основных факторов, определяющих сжимаемость металлов. Найти коэффициент всестороннего сжатия электронного газа для меди при температуре 0 К, если концентрация электронов $8,5 \cdot 10^{22}$ см⁻³. $m^* = m_0$.

7. Показать, что доля электронов вблизи уровня Ферми в интервале kT равна приблизительно $3kT/(2E_F)$.

8. Пусть газ свободных электронов сместился относительно ионной решетки металла. При этом возникает возвращающая сила, приводящая к возбуждению так называемых плазменных колебаний. Определить плазменную частоту меди, концентрация свободных электронов у которой равна $8,5 \cdot 10^{22}$ см⁻³.

Тема 6. Диэлектрические и оптические свойства тел

1. Используя модель атома Томсона, найти поляризуемость атома водорода. Согласно модели Томсона атом представляет собой положительно заряженный шар, в центре которого находится точечный электрон. Положительный заряд e атома равномерно распределен по объему шара радиусом a .

2. Используя квантовомеханическую модель атома, показать, что поляризуемость атома водорода в основном состоянии в слабом электрическом поле определяется формулой $\alpha = 3\pi a^3$, где a – боровский радиус.

3. У газообразного аргона диэлектрическая проницаемость при нормальных условиях составляет 1,000517. Жидкий аргон при температуре 83 К и давлении 1 атм имеет $\epsilon = 1,53$. Считая справедливой формулу Клаузиуса-Моссотти, найти плотность жидкого аргона.
4. Найти показатель преломления алюминия и графита для рентгеновских лучей с длиной волны $1,56 \cdot 10^{-10}$ м, предполагая, что собственная частота электронов много меньше частоты рентгеновского излучения.
5. На пластину из арсенида галлия (GaAs) площадью $S = 100 \text{ мм}^2$ и толщиной $b = 0,5 \text{ мм}$ падает монохроматическое излучение длиной волны $\lambda = 556 \text{ нм}$. Определить, какое число электронно-дырочных пар каждую секунду генерируется в объеме полупроводника при энергетической освещенности $E = 100 \text{ Вт/м}^2$. Квантовый выход внутреннего фотоэффекта принять равным единице. Процессы отражения пренебречь. На заданной длине волны показатель поглощения материала $\alpha = 10^6 \text{ м}^{-1}$.

Тема 7. Магнитные свойства твердых тел

1. Учитывая, что основной вклад в диамагнетизм вносят внешние электроны атома, оценить радиусы внешних оболочек ионов Na^+ и Cl^- , если их молярные диамагнитные восприимчивости равны соответственно $-7,6 \cdot 10^{-11}$ и $-3,04 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3/\text{моль}$.
2. Молекула кислорода обладает магнитным моментом, равным 2,8 магнетона Бора. Вычислить парамагнитную восприимчивость единицы объема при нормальных условиях.
3. Магнитная индукция насыщенного металлического никеля, имеющего плотность 8960 кг/м^3 , равна 0,65 Тл. Определить магнитный момент, приходящийся на один атом никеля (в магнетонах Бора)
4. Зная постоянную Кюри для железа $C = 1,2676 \text{ К}$, оценить в магнетонах Бора среднее значение магнитного момента атома железа. Концентрацию атомов в кристалле считать равной 10^{29} м^{-3} .
5. На ферритовый сердечник, изготовленный в виде тора со средним диаметром 70 мм и радиусом поперечного сечения 8 мм, намотана обмотка, содержащая 300 витков. При пропускании по обмотке тока $I = 0,5 \text{ А}$ в сердечнике создается магнитный поток $6,17 \cdot 10^{-2} \text{ Вб}$. Найти магнитную проницаемость феррита.

Тема 8. Теория сверхпроводимости

1. Определить критическую температуру перехода проводника в состояние сверхпроводимости, если размер энергетической щели $2\Delta(0) = 2,2 \text{ мэВ}$. Как изменится температура при воздействии внешнего магнитного поля?
2. Найти критическое термодинамическое магнитное поле олова (Sn) при температуре $T = 3 \text{ К}$.
3. В массивном сверхпроводнике имеется отверстие диаметром 0,1 мм, в котором захвачено 10 квантов магнитного потока. Определить индукцию и напряженность магнитного поля в отверстии.

Таблица 9 – Примеры оценочных средств с ключами правильных ответов

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)
- ПК-2. Способность свободно владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач в области физики конденсированного состояния, и применять результаты научных исследований в исследовательской деятельности;				
1.	<i>Задание закрытого типа</i>	Крупные одиночные кристаллы называются: 1) монокристаллы 2) поликристаллы 3) жидкие кристаллы 4) аморфные кристаллы	1	1
2.		Твердые тела делятся на две группы: 1) Анизотропные и аморфные 2) Кристаллические и аморфные 3) Изотропные и аморфные 4) Изотропные и кристаллические	2	1
3.		К аморфным телам относятся: 1) металлы 2) пластмасса 3) резина 4) жидкости	2	1
4.		К кристаллам относятся: 1) крупинки сахара 2) стекло 3) пластмасса 4) бензин	1	1
5.		Деформации, которые полностью исчезают после снятия деформирующих факторов называются: 1) пластическими 2) упругими 3) жесткими 4) всеми выше перечисленными	2	1
6.	<i>Задание открытого типа</i>	Переход тела из твердого состояния в газообразное, минуя жидкое:	сублимацией	1
7.		Свойство разрушения при небольших деформациях называется:	хрупкостью	1
8.		У каких материалов отсутствует область упругих деформаций?	воск, глина, пластилин	1
9.		Способность выдерживать нагрузки без разрушения называется:	прочность	1
10.		Деформация тел связана с изменением их	внутренней энергии	1

№ п/п	Тип задания	Формулировка задания	Правильный ответ	Время выполнения (в минутах)

Полный комплект оценочных материалов по дисциплине (модулю) (фонд оценочных средств) хранится в электронном виде на кафедре, утверждающей рабочую программу дисциплины (модуля), и в Центре мониторинга и аудита качества обучения.

7.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

Таблица 10 – Технологическая карта рейтинговых баллов по дисциплине (модулю)

№ п/п	Контролируемые мероприятия	Количество мероприятий / баллы	Максимальное количество баллов	Срок представле ния
Основной блок				
1.	Самостоятельные работы (опрос)	8/8	64	В течении семестра
Всего			64	-
Блок бонусов				
2.	Отсутствие пропусков (лекций, практических занятий)	8/1	8	В течении семестра
3.	Своевременное выполнение заданий	-	5	
Всего			77	-
Дополнительный блок**				
4.	ЭКЗАМЕН		23	
Всего			23	-
ИТОГО			100	-

Таблица 11 – Система штрафов (для одного занятия)

Показатель	Балл
Опоздание (два и более)	-2
Не готов к практическому занятию	-3
Нарушение дисциплины	-2
Пропуски лекций без уважительных причин (за одну лекцию)	-1

Показатель	Балл
Пропуски практических занятий без уважительных причин (за одно занятие)	-1
Не своевременное выполнение задания	-2
Нарушение техники безопасности	-1

Таблица 12 – Шкала перевода рейтинговых баллов в итоговую оценку за семестр по дисциплине (модулю)

Сумма баллов	Оценка по 5-балльной шкале	
90–100	5 (отлично)	Зачтено
85–89	4 (хорошо)	
75–84		
70–74		
65–69	3 (удовлетворительно)	
60–64		
Ниже 60	2 (неудовлетворительно)	Не зачтено

При реализации дисциплины (модуля) в зависимости от уровня подготовленности обучающихся могут быть использованы иные формы, методы контроля и оценочные средства, исходя из конкретной ситуации.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

8.1. Основная литература

1. Иродов, И.Е. Атомная и ядерная физика : Сборник задач: Рек. М-вом образования РФ в качестве учеб. пособ. для студентов физических специальностей вузов. - 8-е изд ; испр. - СПб.: Лань, 2002. - 288 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 5-9511-0001-1: 77-99 : 77-99. Кол-во экз.: 3;
2. Сивухин, Д.В. Общий курс физики. Т. 5. Атомная и ядерная физика : рек. М-вом образования РФ в качестве учеб. пособ. для вузов. - 2 - е изд. - М. : Физматлит МФТИ, 2002. - 784 с. - ISBN 5-9221-0230-3: 218-79 : 218-79. Кол-во экз.: 8;
3. Kittel C. Introduction to Solid State Physics / Charles Kittel. – 8th ed –New York : Wiley, 2005. – 682 p. – ISBN 0-471-41526-X.
4. Гегузин Я. Е. Живой кристалл / Я. Е. Гегузин. – 3-е изд. – Долгопрудный : Интеллект, 2014. – 216 с.

8.2. Дополнительная литература

1. Обвинцева Н.Ю., Физика : молекулярная физика и термодинамика [Электронный ресурс] / Обвинцева Н.Ю. - М. : МИСиС, 2016. - 65 с. - ISBN 978-5-87623-988-4 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876239884.html>
2. Леденев А.Н., Физика. Кн. 2. Молекулярная физика и термодинамика [Электронный ресурс] / Леденев А. Н. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 208 с. - ISBN 5-9221-0462-4 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922104624.html>
3. Кочеев А.А., Физика 2. Модули: Молекулярная физика, термодинамика, электричество и магнетизм [Электронный ресурс]: Учеб. пособие / Кочеев А.А. - Новосибирск : РИЦ НГУ, 2018. - 136 с. - ISBN 978-5-4437-0799-0 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785443707990.html>
4. Капуткин Д.Е., Физика : Механика. Молекулярная физика : учеб. пособие для практических занятий. Ч. 1 [Электронный ресурс] / Капуткин, Д.Е. - М. : МИСиС, 2014. - 135 с. - ISBN 978-5-87623-740-8 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785876237408.html>
5. Сарина М.П., Механика, молекулярная физика и термодинамика. Молекулярная физика и термодинамика [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Сарина М.П. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2016. - 96 с. - ISBN 978-5-7782-2939-6 - Режим доступа: <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778229396.html>

8.3. Интернет-ресурсы, необходимые для освоения дисциплины (модуля)

Электронная библиотечная система IPRbooks

www.iprbookshop.ru

Электронно-библиотечная система BOOK.ru

<https://book.ru>

Электронная библиотечная система издательства ЮРАЙТ,
раздел «Легендарные книги».

www.biblio-online.ru, <https://urait.ru/>

Электронная библиотека «Астраханский государственный университет» собственной генерации на платформе ЭБС «Электронный Читальный зал – БиблиоТех»

<https://biblio.asu.edu.ru>

Учётная запись образовательного портала АГУ

Электронно-библиотечная система (ЭБС) ООО «Политехресурс» «Консультант студента»

Многопрофильный образовательный ресурс «Консультант студента» является электронной библиотечной системой, предоставляющей доступ через Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретённым на основании прямых договоров с правообладателями. Каталог содержит более 15 000 наименований изданий.

www.studentlibrary.ru

Регистрация с компьютеров АГУ

Электронно-библиотечная система (ЭБС) ООО «Политехресурс» «Консультант студента»

Для кафедры восточных языков факультета иностранных языков. Многопрофильный образовательный ресурс «Консультант студента» является электронной библиотечной системой, предоставляющей доступ через Интернет к учебной литературе и дополнительным материалам, приобретённым на основании прямых договоров с правообладателями по направлению «Восточные языки»

www.studentlibrary.ru

Регистрация с компьютеров АГУ

Электронно-образовательный ресурс для иностранных студентов «РУССКИЙ ЯЗЫК КАК ИНОСТРАННЫЙ»

www.ros-edu.ru

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Рабочая программа дисциплины (модуля) при необходимости может быть адаптирована для обучения (в том числе с применением дистанционных образовательных технологий) лиц с ограниченными возможностями здоровья, инвалидов. Для этого требуется заявление обучающихся, являющихся лицами с ограниченными возможностями здоровья, инвалидами, или их законных представителей и рекомендации психолого-медико-педагогической комиссии. Для инвалидов содержание рабочей программы дисциплины (модуля) может определяться также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида (при наличии).