

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

УТВЕРЖДАЮ  
Директор по образовательной  
деятельности

С.Т. Князев  
«\_\_» \_\_\_\_\_

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА МОДУЛЯ

Код модуля	Модуль
1153417	Физика твердого тела

Екатеринбург

<b>Перечень сведений о рабочей программе модуля</b>	<b>Учетные данные</b>
<b>Образовательная программа</b> 1. Прикладные математика и физика	<b>Код ОП</b> 1. 03.03.01/33.01
<b>Направление подготовки</b> 1. Прикладные математика и физика	<b>Код направления и уровня подготовки</b> 1. 03.03.01

Программа модуля составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Мазуренко Владимир Гаврилович	доктор физико- математических наук, профессор	Профессор	теоретической физики и прикладной математики

**Согласовано:**

Управление образовательных программ

Р.Х. Токарева

# **1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОДУЛЯ Физика твердого тела**

## **1.1. Аннотация содержания модуля**

Модуль образован одноименной дисциплиной и обеспечивает базовые знания по одному из фундаментальных разделов современной физики. Он включает традиционные главы физики конденсированного состояния: теорию динамики кристаллической решётки, физику электронных состояний в идеальном кристалле, кинетические явления в твёрдых телах и основы теории магнетизма.

## **1.2. Структура и объем модуля**

Таблица 1

№ п/п	Перечень дисциплин модуля в последовательности их освоения	Объем дисциплин модуля и всего модуля в зачетных единицах
1	Физика твердого тела	4
	ИТОГО по модулю:	4

## **1.3.Последовательность освоения модуля в образовательной программе**

Пререквизиты модуля	Не предусмотрены
Постреквизиты и кореквизиты модуля	Не предусмотрены

## **1.4. Распределение компетенций по дисциплинам модуля, планируемые результаты обучения (индикаторы) по модулю**

Таблица 2

Перечень дисциплин модуля	Код и наименование компетенции	Планируемые результаты обучения (индикаторы)
1	2	3
Физика твердого тела	ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности	З-2 - Интерпретировать основные теоретические положения фундаментальных разделов естественных наук, необходимые для освоения компетенций по профилю деятельности  У-1 - Определять пути решения задач профессиональной деятельности, опираясь на знания основных закономерностей, законов, теории математики

	<p>П-2 - Демонстрировать навыки использования основных естественнонаучных законов, теорий и принципов в важнейших практических приложениях</p> <p>Д-1 - Демонстрировать навыки самообразования</p>
ОПК-7 - Способен использовать основы экономических и правовых знаний в различных сферах профессиональной деятельности	<p>З-1 - Интерпретировать содержание основных источников правовой информации</p> <p>У-2 - Определять способы и пути принятия решений в профессиональной деятельности с учетом требований экономической эффективности</p> <p>П-2 - Иметь опыт оценки собственной профессиональной деятельности с точки зрения действующего законодательства в сфере экономики и показателей экономической эффективности</p> <p>Д-1 - Проявлять социальную ответственность</p>

### **1.5. Форма обучения**

Обучение по дисциплинам модуля может осуществляться в очной формах.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Физика твердого тела**

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

<b>№ п/п</b>	<b>Фамилия Имя Отчество</b>	<b>Ученая степень, ученое звание</b>	<b>Должность</b>	<b>Подразделение</b>
1	Мазуренко Владимир Гаврилович	доктор физико- математических наук, профессор	профессор	профессор

**Рекомендовано учебно-методическим советом института Физико-технологический**

Протокол № 10 от 11.06.2021 г.

# 1. СОДЕРЖАНИЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ

Авторы:

- Мазуренко Владимир Гаврилович, профессор, профессор

## 1.1. Технологии реализации, используемые при изучении дисциплины модуля

- Традиционная (репродуктивная) технология
- Разноуровневое (дифференцированное) обучение
  - Базовый уровень

\**Базовый I уровень – сохраняет логику самой науки и позволяет получать упрощенное, но верное и полное представление о предмете дисциплины, требует знание системы понятий, умение решать проблемные ситуации. Освоение данного уровня результатов обучения должно обеспечить формирование запланированных компетенций и позволит обучающемуся на минимальном уровне самостоятельности и ответственности выполнять задания;*  
*Продвинутый II уровень – углубляет и обогащает базовый уровень как по содержанию, так и по глубине проработки материала дисциплины. Это происходит за счет включения дополнительной информации. Данный уровень требует умения решать проблемы в рамках курса и смежных курсов посредством самостоятельной постановки цели и выбора программы действий. Освоение данного уровня результатов обучения позволит обучающемуся повысить уровень самостоятельности и ответственности до творческого применения знаний и умений.*

## 1.2. Содержание дисциплины

Таблица 1.1

Код раздела, темы	Раздел, тема дисциплины*	Содержание
P1	Геометрия кристаллической решётки. Основы кристаллографии.	Элементы симметрии кристаллов. Понятие кристалла, симметрии кристалла. Линейные ортогональные преобразования I и II рода, их геометрическая интерпретация. Определение возможных углов поворота. Номенклатура преобразований симметрии: обозначения Шёнфлиса и международные, их изображение. Зеркально-поворотные преобразования, порядок элемента.  Точечные группы кристаллов. Общее определение группы, порядок группы, генераторы группы, понятие подгруппы. Определение точечной группы кристалла. Определение сингонии. Краткое описание сингоний, обозначения группы симметрии.  Решетки кристаллов. Трансляционные группы. Трансляционные группы кристалла, понятие сингонии. Решетка Бравэ, типы и описание решеток Бравэ. Элементарная ячейка, примитивная ячейка, ячейка Бравэ.  Пространственные группы кристаллов. Открытые элементы симметрии, их обозначения. Принципы написания символов пространственных групп.  Структурные типы. Описать структурные типы меди, поваренной соли, алмаза, перовскита, $\square$ -железа, магния, рутила.

		<p>Теория плотнейших упаковок. Постановка задачи и основные приближения. Типы плотнейших упаковок, каким структурам они соответствуют. Плотность упаковки для ГЦК структуры. Пустоты в упаковках. Реализация плотнейших упаковок в структурах кристаллов.</p> <p>Перовскито-подобные соединения. Ряд Рудлесдена-Поппера. Структурные переходы (СП) в первоскитах: СП типа смещения, СП типа наклона (примеры соединений и связанных с этими СП физических явлений).</p> <p>Обратная решетка и зоны Бриллюэна. Определение обратной решетки, построение обратных решеток для ГЦК, ОЦК. Определение зоны Бриллюэна. Граничные условия Борна-Кармана.</p> <p>Характеристика излучений и основные экспериментальные дифракционные методы. Закон Вульфа-Брэгга. Основные типы излучений и их характеристики. Экспериментальные методы рентгенографии и нейтронографии. Условие дифракции Лауэ. Свойства периодических функций. Зона Бриллюэна и условие дифракции.</p>
P2	Динамика решётки. Фононы.	<p>Постановка задачи, гармоническое приближение. Определение и физический смысл силовой матрицы, ее свойства. Уравнения движения решётки в гармоническом приближении. Динамическая матрица кристалла и ее свойства. Дисперсионное уравнение. Вектора поляризации, продольные и поперечные колебания. Правило сумм. Акустические и оптические ветви колебаний – основные характеристики (смещение атомов, групповая и фазовая скорость при <math>k&gt;0</math>). Колебания линейной цепочки одинаковых атомов. Колебания линейной цепочки с двумя сортами атомов. Нормальные колебания решётки. Спектральная плотность нормальных колебаний, особенности Ван-Хова, спектральная плотность цепочки одинаковых атомов. Общее выражение спектральной плотности через групповую скорость. Квантование нормальных колебаний, фононы. Закон Дюлонга и Пти, теория теплоемкости Эйнштейна (основные приближения; случай высоких и низких температур). Теория теплоемкости Де-бая (основные приближения; случай высоких и низких температур), теплоемкость оптических мод колебаний. Ангармонизм колебаний и взаимодействие фононов. Нормальные процессы и процессы переброса</p>
P3	Электроны в кристаллах	<p>Адиабатическое приближение. Теорема Блоха.</p> <p>Газ свободных электронов, сфера Ферми, энергия Ферми, выражение для плотности состояний. Функция распределения Ферми-Дирака. Теплоемкость электронного газа. Эффективная масса.</p> <p>Модель почти свободных электронов. Приближенное решение вблизи границы зоны Бриллюэна, возникновение энергетической щели. Схема расширенных и приведенных зон, периодическая зонная схема.</p>

		<p>Уровень Ферми, понятие металла, диэлектрика и полупроводника.</p> <p>Приближение сильной связи, интегралы перескока, ширина зоны, закон дисперсии для ГЦК. Метод линейной комбинации атомных орбиталей. Функции Ваннье.</p> <p>Общие свойства волновых функций валентных зон. Метод ячеек, метод присоединенных плоских волн, метод функций Грина (ККР). Метод ортогонализованных плоских волн. Метод псевдопотенциала. Линеаризованные плоские волны.</p> <p>За пределами приближения свободных электронов, метод Хартри-Фока, детерминант Слэттера, самосогласованные уравнения Хартри-Фока, обменный член. Теорема Купмана. Схема расчета в приближении Хартри-Фока, точность этого метода.</p> <p>Теория функционала плотности (DFT), теоремы Хоэнберга и Кона, обменно-корреляционный функционал, самосогласованные уравнения Кона-Шэма. Приближение локальной плотности, метод обобщенного градиента, приближение GW. Обобщенная схема расчета в рамках DFT. Применение DFT и других методов расчета электронной структуры.</p> <p>Экранировка. Теория Хартри-Фока для свободных электронов. Экранировка – общая теория. Теория экранировки Томаса-Ферми. Теория экранировки Линдхарда; линдхардовское экранирование, зависящее от частоты. Приближение Хартри-Фока с учетом экранировки.</p>
P4	Кинетические явления в твердых телах	<p>Феноменологическое описание явлений перено-са, соотношения Онсагера, эффект Зеебека, коэффи-циент Пельтье, другие термоэлектрические явления.</p> <p>Неравновесная функция распределения, по-луклассические уравнения движения. Приближение времени релаксации, основные предположения. Вычисление неравновесной функции распределения. Статическая электропроводность. Теплопроводность, закон Видемана-Франца.</p>
P5	Магнетизм твердых тел	<p>Диамагнетизм и парамагнетизм. Определение намагниченности и восприимчивости. Расчет атомных восприимчивостей, общая формулировка. Восприимчивость диэлектриков с полностью заполненными оболочками, ларморовский диамагнетизм. Правила Хунда.</p> <p>Восприимчивость диэлектриков, содержащих ионы с частично заполненной оболочкой, парамагнетизм. Закон Кюри, закон Кюри для твердых тел, эффективный момент, замораживание орбитального момента. Восприимчивость металлов, парамагнетизм Паули. Диамагнетизм электронов проводимости (диамагнетизм Ландау).</p> <p>Взаимодействие электронов и магнитная структура. Типы магнитных структур. Оценка магнитного ди-польного взаимодействия. Двухэлектронная система, синглетные и триплетные состояния, прямой обмен. Обменный гамильтониан (модель Гайзенберга). Теорема Вигнера для</p>

		двуэлектронной системы. Моле-кула водорода: прямой обмен для неортогональных орбиталей, схема Гайтлера-Лондона. Кинетический обмен, одноузельное кулоновское взаимодействие, понижении энергии за счет кинетического обмена
--	--	---

### 1.3. Направление, виды воспитательной деятельности и используемые технологии

Таблица 1.2

Направление воспитательной деятельности	Вид воспитательной деятельности	Технология воспитательной деятельности	Компетенция	Результаты обучения
Воспитание навыков жизнедеятельности в условиях глобальных вызовов и неопределенностей	учебно-исследовательская, научно-исследовательская	Технология самостоятельной работы	ОПК-1 - Способен использовать фундаментальные знания, полученные в области математических и естественных наук, в профессиональной деятельности	П-2 - Демонстрировать навыки использования основных естественнонаучных законов, теорий и принципов в важнейших практических приложениях

1.4. Программа дисциплины реализуется на государственном языке Российской Федерации .

## 2. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Физика твердого тела

#### Электронные ресурсы (издания)

1. Разумовская, И. В.; Физика твердого тела : учебное пособие. 2. Динамика кристаллической решетки. Тепловые свойства решетки; Прометей, Москва; 2011; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=108460> (Электронное издание)
2. Жданов, Г. С.; Физика твердого тела; Издательство МГУ, Москва; 1962; <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=475621> (Электронное издание)

#### Печатные издания

1. Вонсовский, С. В., Кацнельсон, М. И.; Квантовая физика твердого тела; Наука, Москва; 1983 (11 экз.)
2. Павлов, П. В., Хохлов, А. Ф.; Физика твердого тела : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению "Физика" и специальностям "Физика и технология материалов и компонентов электронной техники", "Микроэлектронника и полупроводниковые приборы"; Высшая школа, Москва; 2000 (47 экз.)
3. Каганов, М. И., Лифшиц, И. М.; Квазичастицы. Идеи и принципы квантовой физики твердого тела; Наука, Москва; 1989 (5 экз.)
4. Ашкрофт, Н., Мермин, Н.; Физика твердого тела : [в 2 т.]. Т. 2 / пер. с англ. К. И. Кугеля, А. С.

Михайлова под ред М. И. Каганова. ; Мир, Москва; 1979 (5 экз.)

5. Блейкмор, Д., Андрианов, Д. Г., Фистуль, В. И.; Физика твердого тела; Мир, Москва; 1988 (16 экз.)

### **Профессиональные базы данных, информационно-справочные системы**

Bilbao Crystallographic server <http://www.cryst.ehu.es/>

<http://www.mielt.ru/dir/cat15/subj172.html>

В.В. Киселев. Квантовая макрофизика (научно-образовательная серия "Физика конденсированных сред", т.4), Екатеринбург, 2010

### **Материалы для лиц с ОВЗ**

Весь контент ЭБС представлен в виде файлов специального формата для воспроизведения синтезатором речи, а также в тестовом виде, пригодном для прочтения с использованием экранной лупы и настройкой контрастности.

### **Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

1. Государственная публичная научно-техническая библиотека

Режим доступа: <http://www.gpntb.ru>

2. Российская национальная библиотека

Режим доступа: <http://www.rsl.ru>

3. Публичная электронная библиотека

Режим доступа: <http://www.gpntb.ru>

4. Библиотека УрФУ

Режим доступа: <http://lib.urfu.ru>

## **3. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Физика твердого тела**

#### **Сведения об оснащенности дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием и программным обеспечением**

Таблица 3.1

№ п/п	Виды занятий	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Перечень лицензионного программного обеспечения
1	Лекции	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов	Не требуется

		Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	
2	Практические занятия	Мебель аудиторная с количеством рабочих мест в соответствии с количеством студентов  Рабочее место преподавателя Доска аудиторная	<b>Не требуется</b>