

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физический факультет



С.Н. Филимонов

2021 г.

Рабочая программа дисциплины  
**Теория твердого тела**

по направлению подготовки  
**03.03.02 – Физика**

Магистерская программа  
**«Фундаментальная физика»**

Форма обучения  
**Очная**


Квалификация выпускника  
**Бакалавр**

Год приема  
2021


Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.06.05

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОП

 О.Н. Чайковская

Председатель УМК

 О.М. Сюсина

Томск–2021

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 – способность проводить исследования физических свойств твердых тел, основываясь на фундаментальных физических законах и принципах;

ПК-1 – способность проводить научные исследования с использованием современных теоретических методов и информационных технологий.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК-2.2. Анализирует и интерпретирует экспериментальные и теоретические данные, полученные в ходе научного исследования, обобщает полученные результаты, формулирует научно обоснованные выводы по результатам исследования

ИПК-1.1. Собирает и анализирует научно-техническую информацию по теме исследования, обобщает научные данные в соответствии с задачами исследования.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

Получить представления о современных теоретических методах исследования физических свойств твердых тел, зонном характере электронного спектра, колебательных состояниях решетки, электрон-фононном взаимодействии.

## **3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Семестр 6, экзамен.

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по дисциплинам модулей: «Теоретическая физика», «Математическая физика».

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 часа, из которых:

– лекции: 32 ч.;

– практические занятия: 32 ч.;

в том числе практическая подготовка: 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам**

Тема 1. Зонная теория твердых тел.

Уравнение Шредингера для кристалла. Адиабатическое приближение. Одноэлектронное приближение. Метод Хартри-Фока. Теорема Купмэнса. Обменный потенциал, ферми-дырка, локальное приближение Слэтера. Теорема Блоха, свойства квазиволнового вектора. Граничные условия Борна-Кармана. Зонный характер энергетического спектра. Свойства и симметрия волновых функций и энергий.

Тема 2. Методы расчета зонного спектра.

Приближение пустой решетки. Приближение слабосвязанных электронов. Метод сильной связи. Метод псевдопотенциала. Функции Ванье, их свойства, эквивалентный гамильтониан. К-р метод, тензор обратной эффективной массы. Метод Томаса-Ферми, уравнение Томаса-Ферми-Дирака. Метод функционала электронной плотности, теорема и вариационный принцип Хоэнберга-Кона. Самосогласованные уравнения Кона-Шэма, приближения для обменного потенциала. Плотность электронных состояний. Поверхность Ферми. Плотность валентного заряда. Метод эффективной массы, огибающая волновая функция. Полуклассическое приближение. Дырки валентной зоны.

Тема 3. Движение электрона во внешних полях.

Полуклассическое движение электрона во внешнем постоянном электрическом поле. Полуклассическое движение электрона в постоянном магнитном поле. Диамагнитный резонанс.

Тема 4. Глубокие и мелкие уровни в полупроводниках.

Мелкие примесные уровни, доноры и акцепторы. Глубокие уровни. Поверхностные состояния. Штарковские уровни в сильном электрическом поле.

Тема 5. Экситоны

Теория экситонов Мотта.

Тема 6. Колебания кристаллической решетки.

Потенциальная энергия кристалла в гармоническом приближении. Свойства силовой матрицы. Колебания одномерной монокристаллической решетки. Колебания одномерной решетки с базисом. Нормальные координаты монокристаллической одномерной решетки. Колебания атомов трехмерной сложной решетки. Свойства динамической матрицы и векторов поляризации. Нормальные координаты колебаний трехмерной решетки. Континуальный предел. Оптические колебания решетки в полярных кристаллах. Взаимодействие оптических колебаний с фотонами. Поляритоны. Квантовая теория колебаний решетки. Операторы рождения и уничтожения. Плотность фононных состояний. Особенности Ван-Хова. Теплоемкость кристаллов. Модели Дебая и Эйнштейна. Ангармонические эффекты в кристаллах. Тепловое расширение. Соотношение Грюнайзена. Связь теории колебаний решетки с теорией упругости. Полярон. Метод деформационного потенциала.

## 9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

## 10. Порядок проведения и критерии оценивания аттестации

**Экзамен** проводится в устной форме по билетам, содержащим вопросы по курсу, предполагающие развернутый ответ и проверяющие ИОПК-2.2, а также по контрольным вопросам по материалу курса, требующим краткий ответ и проверяющим ИПК-1.1.

Примеры вопросов в билете:

1. Одноэлектронное приближение. Метод Хартри-Фока
2. Теорема Блоха, свойства квазиволнового вектора

3. Граничные условия Борна-Кармана
4. Метод сильной связи
5. Метод псевдопотенциала
6. Функции Ванье, их свойства, эквивалентный гамильтониан
7. К-р метод, тензор обратной эффективной массы
8. Метод функционала электронной плотности, теорема и вариационный принцип Хознберга-Кона
9. Полуклассическое движение электрона во внешнем постоянном электрическом поле
10. Мелкие примесные уровни
11. Экситоны
12. Поверхностные состояния
13. Свойства силовой матрицы
14. Нормальные координаты колебаний решетки
15. Квантовая теория колебаний решетки
16. Ангармонические эффекты в кристаллах

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Промежуточная аттестация (контрольная точка) предполагает посещаемость более половины лекций, ответы на вопросы тестов и выполнение не менее половины домашних заданий.

Оценка «отлично» ставится, если студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, способен самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность. Оценка «хорошо» ставится, если студент знает большую часть основного содержания дисциплины. Оценка «удовлетворительно» ставится, если студент в целом правильно излагает материал вопросов экзаменационного билета. Оценка «неудовлетворительно» ставится, если студент допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины.

## 11. Учебно-методическое обеспечение

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22922>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.

## 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

1. А.И.Ансельм. Введение в теорию полупроводников. М.: Наука, 1978.
2. А.Анималу. Квантовая теория кристаллических твердых тел. М.: Мир, 1981.
3. У. Харрисон. Теория твердого тела. М.: Мир, 1972.
4. Ч.Киттель. Квантовая теория твердых тел. М.: Наука, 1976.
5. Н.Ашкрофт, Н.Мермин. Физика твердого тела (в 2-х томах). М.: Мир, 1979.
6. О.Маделунг. Теория твердого тела. М.: Наука, 1980.
7. Дж.Займан. Принципы теории твердого тела. М.: Мир, 1974.
8. У.Харрисон. Псевдопотенциалы в теории металлов. М.: Мир, 1968.
9. Дж.Джонс. Теория зон Бриллюэна и электронные состояния в кристаллах. М.: Мир, 1968.
10. Дж.Каллуэй. Теория энергетической зонной структуры. М.: Мир, 1969.

б) дополнительная литература:

1. А.А. Абрикосов. Введение в теорию нормальных металлов. М.: Наука, 1972.

2. И.М.Лифшиц, М.Я.Азбель, М.И.Каганов. Электронная теория металлов. М.: Наука, 1971.
3. А.С.Давыдов Теория твердого тела. М.: Наука, 1979.
4. В.Кон. Электронная структура вещества – волновые функции и функционалы плотности. УФН, т.172, №3, 2002.
5. Н.Б.Брандт, В.А.Кульбачинский. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. М.: Физматлит, 2005

в) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
- публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

г) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

#### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

#### **15. Информация о разработчиках**

Гриняев Сергей Николаевич, доктор физ.-мат. наук, ТГУ, кафедра физики полупроводников, доцент.