

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

Физический факультет

УТВЕРЖДЕНО:

Декан физического факультета  
С.Н. Филимонов

Рабочая программа дисциплины

**Электронные свойства твердых тел**

по направлению подготовки

03.04.02 – Физика

Направленность (профиль) подготовки  
**Фундаментальная и прикладная физика**

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2025**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

Томск–2025

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

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-1 –Способен самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего российского и зарубежного опыта.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-1.1. Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости;

ИПК-1.2. Умеет выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

Получить представления о современных методах исследования физических свойств и принципах работы приборов на основе металлов, их сплавов и соединений.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)».

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

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

Первый семестр, экзамен.

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

Для успешного освоения дисциплины необходимо знание основ квантовой механики, термодинамики, статистической физики, физики твердого тела.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 з.е., 144 часов, из которых:

– лекции: 32 ч.;

– практические занятия: 16 ч.;

В том числе практическая подготовка 16 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

Тема 1. Теоретические методы исследования электронной структуры твердых тел.

Метод функционала электронной плотности. Теорема и вариационный принцип Хоэнберга-Кона. Самосогласованные уравнения Кона-Шэма. Приближения для обменно-корреляционного потенциала. К-р метод, тензор обратной эффективной массы. Дырки валентной зоны. Динамика электрона во внешнем, медленно меняющемся поле. Метод эффективной массы. Огибающая волновая функция. Эквивалентный гамильтониан. Полуклассическое приближение. Динамика электронов в электрическом поле (квазиклассическое описание). Осцилляции Блоха. Туннельный эффект Зинера. Динамика электронов в магнитном поле (квазиклассическое описание). Траектории движения в

фазовом и реальном пространствах. Циклотронный резонанс. Условия наблюдения. Электронные состояния в квантующем магнитном поле. Диамагнетизм Ландау. Парамагнетизм Паули. Плазменные колебания. Распределение электронов в  $k$ -пространстве в присутствии квантующего магнитного поля.

Тема 2. Теоретические и экспериментальные методы изучения топологии поверхности Ферми.

Поверхности Ферми: открытые и закрытые, электронные и дырочные. Метод Харрисона построения поверхности Ферми в схеме расширенных и повторяющих зон Бриллюэна. Эффект де Гааза-ван-Альфена. Природа осцилляций.

Тема 3. Полуклассическая теория проводимости и термоэлектрических явлений металлов.

Кинетическое уравнение Больцмана. Интеграл столкновений. Приближение времени релаксации. Обобщенные уравнения потоков. Кинетические коэффициенты. Статическая электропроводность. Термоэлектрические явления (эффекты Зеебека, Пельтье, Томсона). Теплопроводность, закон Видемана-Франца. Явление переноса в слабом магнитном поле. Эффект Холла. Магнетосопротивление. Поглощение ультразвука без магнитного поля. Поглощение ультразвука в магнитном поле. Нормальный скин-эффект. Аномальный скин-эффект. Концепция неэффективности. Высоочастотная электропроводность металла.

Тема 4. Электронная структура и свойства простых металлов и сплавов.

Одновалентные щелочные и благородные металлы. Двухвалентные металлы. Трехвалентные металлы. Четырехвалентные металлы. Полуметаллы. Переходные металлы. Сплавы переходных металлов. Правило Юм-Розери. Ограниченная растворимость. Влияние электронной плотности на фазовые переходы.

## **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. Оценочные материалы текущего контроля размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания аттестации**

Экзамен проводится в устной форме по билетам, содержащим вопросы по курсу, предполагающие развернутый ответ и проверяющие ПК-1, а также по контрольным вопросам по материалу курса, требующим краткий ответ и проверяющим ИПК-1.1, ИПК-1.2.

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации размещены на сайте ТГУ в разделе «Информация об образовательной программе» – <https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>

## **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. Павлов П.В., Хохлов А.Ф. Физика твердого тела. – М: Ленанд, 2015. – 494 с.
2. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. – М.: Мир, 1979. Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела. – М.: Мир, 1979. – Том 2. – 419 с.
3. Брандт Н.Б., Чудинов С.М. Электроны и фононы в металлах. – М.: Изд. МГУ, 1990. – 335 с.

4. Абрикосов А.А. Основы теории металлов. – М.: Физматлит, 2010. – 599 с.
  5. Давыдов А.С. Теория твердого тела. – М.: Наука, 1976. – 639 с.
  6. Анималу А. Квантовая теория кристаллических твердых тел. – М.: Мир, 1981. – 576 с.
- б) дополнительная литература:
1. Брандт Н.Б., Чудинов С.М. Электронная структура металлов. – М.: Изд. МГУ, 1973. – 332 с.
  2. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. – М.: Наука, 1978. – 792 с.
  3. Вонсовский С.В., Канцельсон М.И. Квантовая физика твердого тела. – М.: Наука, 1983. – 336 с.
  4. Займан Дж. Электроны и фононы. – М.: ИИЛ, 1962. – 488 с.
  5. Займан Дж. Принципы теории твердого тела. – М.: Мир, 1966. – 416 с.
  6. Абрикосов А.А. Введение в теорию нормальных металлов. – М.: Наука, 1972. – 288 с.
  7. Маделунг О. Теория твердого тела. – М.: Наука, 1980. – 416 с.
  8. Харрисон У.А. Электронная структура и свойства твердых тел. – М.: Мир, 1983. – Том 1. – 381 с.

### 13. Перечень информационных технологий

- а) 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.).
- б) 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.