

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

Теория твердого тела

по направлению подготовки

03.03.02 Физика

Направленность (профиль) подготовки:
«Фундаментальная и прикладная физика»

Форма обучения
Очная

Квалификация
Бакалавр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
С.Н. Филимонов

Председатель УМК
О.М. Сюсина

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

- ОПК-2 – способность проводить научные исследования физических объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные;
- ПК-1 – способность проводить научные исследования в выбранной области с использованием современных экспериментальных и теоретических методов, а также 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

- Освоить понятийный аппарат и методы теории твердого тела.
- Научиться применять понятийный аппарат и методы теории твердого тела для решения практических задач профессиональной деятельности.

3. Место дисциплины (модуля) 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

Семестр 5, зачет.

5. Входные требования для освоения дисциплины

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

Для успешного освоения дисциплины требуются результаты обучения по следующим дисциплинам: Математический анализ, Линейная алгебра и аналитическая геометрия, Дифференциальные уравнения, Теория вероятностей, Общая физика, Классическая механика, Квантовая механика, Методы математической физики.

6. Язык реализации

Русский

7. Объем дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 часов, из которых:

- лекции: 16 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. Экспериментальные основания и основные положения в физике твердого тела

Дифракции рентгеновских лучей в кристаллах. Эквивалентность формулировок Брэгга и Лауэ. Атомный и структурный фактор рассеяния. Обзор экспериментальных методов. Основные приближения для описания твердого тела.

Тема 2. Описание структуры кристаллов

Элементарные ячейки, примитивная и условная ячейка. Решетка Браве, прямая и обратная решетка, их свойства. Кристаллические структуры и решетки с базисом. Ячейка Вигнера-Зейтца и первая зона Бриллюэна. Важные свойства кристаллических решеток. Атомные плоскости и индексы Миллера. Правила обозначения плоскостей и направлений.

Тема 3. Симметрия в твердом теле

Трансляционная симметрия и точечная симметрия твердых тел. Примеры операций симметрии. Пространственные группы. Классификация решеток Браве. Двумерные и трехмерные кристаллические системы, точечные и пространственные группы.

Тема 4. Классификация твердых тел по типам связи

Основные типы связи в кристаллах. Молекулярные, ковалентные и ионные кристаллы. Металлы. Кристаллы с водородной связью. Когезионная энергия. Параметрические модели сил связи в кристаллах. Силы Ван-дер-Ваальса-Лондона. Энергия Маделунга. Определение равновесных параметров решетки и модуля всестороннего сжатия из параметрических моделей.

Тема 5. Теория механических свойств кристаллов

Упругие свойства кристаллов. Тензор деформации и напряжения. Обобщенный закон Гука. Энергия деформации кристалла. Влияние симметрии на упругие свойства кристаллов.

Тема 6. Упругие волны в кристаллах

Упругие волны в кристаллах. Поперечные и продольные волны и их скорости в зависимости от направления распространения в кристаллах. Соотношения Коши. Теоретическое объяснение упругих констант.

Тема 7. Реальные кристаллы

Сплавы. Твердые растворы замещения и внедрения, сверхструктуры. Вакансии и примеси в кристаллической решетке, их диффузия. Процессы упорядочения в сплавах, дальний и ближний порядок. Дислокации. Вектор Бюргерса. Поля напряжений. Плотность дислокаций. Размножение дислокаций и скольжение. Прочность кристаллов.

Тема 8. Поверхность и поверхностные эффекты

Типы поверхностных структур, влияние поверхности на энергию связи электронов. Работа выхода. Релаксация и реконструкция поверхности, адсорбция и сегрегация на поверхности.

Тема 9. Классическая теория гармонического кристалла

Гармоническое приближение. Удельная теплоемкость классического кристалла. Закон Дюлонга-Пти. Колебания одномерной монокристаллической решетки Браве и с базисом. Акустические и оптические ветви колебаний. Нормальные моды трехмерной монокристаллической решетки и решетки с базисом.

Тема 10. Квантовая теория гармонического кристалла, фононы

Квантово-механическое рассмотрение задачи о малых колебаниях кристалла. Понятие фононов. Теплоемкость при низких и высоких температурах. Приближение Дебая

и Эйнштейна. Плотность фононных уровней. Анггармонические эффекты в кристаллах. Уравнение состояния и тепловое расширение кристалла. Параметр Грюнайзена. Экспериментальные методы определения фононных частот.

9. Текущий контроль по дисциплине

Текущий контроль по дисциплине осуществляется путем контроля посещаемости и устного опроса 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 промежуточной аттестации

Зачет в пятом семестре проводится в письменной форме по билетам. Продолжительность зачета 1 часа.

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=22016>.

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине (<https://www.tsu.ru/sveden/education/eduop/>).

в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

1. Кристаллические структуры и решетки. Зоны Бриллюэна. Атомные плоскости и индексы Миллера.

2. Симметрия в твердом теле. Пространственные группы.

3. Типы связи в кристаллах. Определение равновесных параметров решетки и модуля всестороннего сжатия из параметрических моделей.

4. Обобщенный закон Гука. Энергия деформации кристалла.

5. Поперечные и продольные волны и их скорости в зависимости от направления распространения в кристаллах.

6. Типы поверхностных структур, влияние поверхности на энергию связи электронов. Работа выхода.

7. Гармоническое приближение. Удельная теплоемкость классического кристалла. Закон Дюлонга-Пти. Колебания одномерной монокристаллической решетки Браве и с базисом.

8. Теплоемкость кристалла при низких и высоких температурах. Приближение Дебая и Эйнштейна.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

Самостоятельная работа студента включает:

– углубленное теоретическое изучение разделов курса при подготовке к лекционным и практическим занятиям;

– подготовку к обсуждению материала, в том числе самостоятельный поиск необходимых источников информации, включая научно-образовательные ресурсы сети Интернет;

– подготовку к зачету.

Вопросы, вынесенные на самостоятельное изучение.

1. Экспериментальные методы изучения структуры твердых тел.

2. Свойства обратной решетки и их доказательства.

3. Элементы симметрии и их обозначения.
4. Приложение теории групп к физике твердого тела. Приводимые и неприводимые представления. Характеры представлений.
5. Классификация диэлектриков. Полупроводники. Ковалентная связь в кристаллах.
6. Континуальная модель твердого тела и упругие свойства кристаллов с низкой симметрией.
7. Зависимость между модулями упругости и силами связи в кристаллах.
8. Теория упорядочения в сплавах.
9. Влияния адсорбатов на поверхностные эффекты.
10. Нормальные моды трехмерных решеток.
11. Экспериментальные методы определения фононных частот. Однофононное и двухфононное рассеяние.

12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

а) основная литература:

- Ашкрофт Н. Физика твердого тела / Н. Ашкрофт, Н. Мермин – М.: Мир, 1979. В 2 томах.
- Киттель Ч. Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. – М.: Наука, 1978. – 791 с.
- Займан Дж. Принципы физики твердого тела / Дж. Займан. – М.: Мир, 1974. – 416 с.
- Шульце Г. Металлофизика / Г. Шульце. – М.: Мир, 1971. – 503с.

б) дополнительная литература:

- Блекмор Дж. Физика твердого тела / Дж. Блекмор. – М.: Мир, 1988. – 608 с.
- Харрисон У. Теория твердого тела / У. Харрисон. – М.: Мир, 1972. – 616 с.
- Лейбфрид Р. Микроскопическая теория механических и тепловых свойств кристаллов / Р. Лейбфрид. – Москва-Ленинград: ГИФЛИМ, 1963. – 312 с.
- Конусов В.Ф. Основы теории твердого тела / В.Ф. Конусов. – Томск: Изд-во ТГУ. 1983. – 129 с.
- Давыдов А.С. Теория твердого тела / А.С. Давыдов. – М.: Наука, 1976. – 639 с.
- Маделунг О. Теория твердого тела / О. Маделунг. – М.: Наука, 1980. – 416 с.
- Немошкаленко В.В. Методы вычислительной физики в теории твердого тела / В.В. Немошкаленко, В.И. Антонов. – Киев: Наукова Думка, 1985. – 406 с.
- Достижения электронной теории металлов / Под редакцией П. Цише, Г. Леммана. – М.: Мир, 1984, Т.2. – 657 с.
- Зенгуил Э. Физика поверхности / Э. Зенгуил. – М.: Мир, 1990. – 536 с.
- Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников / Б.Ф. Ормонт. – М.: Высшая школа, 1982. – 528 с.
- Смит Дж. Теория хемосорбции / Дж. Смит. – М.: Мир, 1983. – 333 с.
- Задачи по физике твердого тела / Под ред. Г.Дж. Голдсמיד. – М.: Наука, 1976. – 431 с.

в) ресурсы сети Интернет:

- Том 6 курса системы открытого образования "Физика в техническом университете" Физика твердого тела <http://fn.bmstu.ru/data-physics/library/physbook/tom6/content.htm>
- Справочник по химическим элементам и соединениям <https://www.webelements.com/>
- Справочник по кристаллическим структурам и решеткам <https://www.atomic-scale-physics.de/lattice/index.html>

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/>

в) профессиональные базы данных:

- Справочник по химическим элементам и соединениям <https://www.webelements.com/>
- Справочник по кристаллическим структурам и решеткам <https://www.atomic-scale-physics.de/lattice/index.html>

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.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

15. Информация о разработчиках

Кулькова Светлана Евгеньевна, доктор физико-математических наук, профессор, кафедры теоретической физики физического факультета ТГУ, профессор.