

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

**Кристаллофизика**

по направлению подготовки

**03.04.02 – Физика**

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

Форма обучения  
**Очная**

Квалификация  
**Магистр**

Год приема  
**2023**

СОГЛАСОВАНО:  
Руководитель ОП  
О.Н. Чайковская

Председатель УМК  
О.М. Сюсина

Томск–2023

## **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 методах теоретико-группового исследования структуры и макроскопических свойств твердых тел, фундаментальных принципах, на которых основаны эти методы, взаимосвязи различных физических процессов и особенностях их протекания детерминированных симметрией кристаллов.

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

Дисциплина относится к Блоку 1 «Физика полупроводников. Микроэлектроника». 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**

Второй семестр, зачет.

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

Для успешного освоения дисциплины необходимо знание основ тензорного анализа, кристаллографии, физики твердого тела, теории групп, термодинамики и статистической физики.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины (модуля)**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 24 часа, из которых:

– лекции: 24 ч.;

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

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

Тема 1. Симметрия тензоров.

Анизотропные сплошные среды. Симметрия макроскопического свойства. Преобразования симметрии. Точечные группы. Сингонии. Кристаллические классы. Категории. Предельные группы Кюри. Симметрия тензоров. Внутренняя и внешняя симметрия. Кристаллографическая и кристаллофизическая системы координат. Матрицы ортогональных преобразований элементов симметрии точечных и предельных групп. Полевые и материальные тензоры. Кристаллофизическая система координат. Симметрия вектора и тензора второго ранга. Характеристическая поверхность.

Тема 2. Электрические и оптические свойства анизотропных кристаллов.

Основные уравнения электростатики анизотропных кристаллов. Диэлектрическая поляризация. Симметрия тензора диэлектрической проницаемости. Пример: конденсатор с анизотропным диэлектриком. Кристаллооптика. Оптические оси. Лучевая поверхность. Уравнение Френеля. Оптическая индикатриса. Двулучепреломление. Электрооптический эффект. Эффект Покейса. Пирозлектричество. Симметрия пирозффекта. Виды пирозффекта. Пример: пирозффект в сегнетовой соли. Сегнетоэлектричество. Постоянный электрический ток в кристаллах. Электропроводность. Обобщенный закон Ома. Симметрия тензора электропроводности. Примеры: электропроводность кристаллической пластинки, сопротивление кристаллического стержня.

Тема 3. Упругие свойства анизотропных кристаллов.

Тензор деформации. Уравнение совместности Сен-Венана. Тензор напряжений. Уравнения эластостатики и эластодинамики. Тензор термоупругости. Обобщенный закон Гука. Тепловое расширение. Плотность энергии упругой деформации. Уравнения Бельтрами-Митчелла. Симметрия упругих свойств. Вид упругих тензоров в сингониях и кристаллических классах. Циклические координаты. Теорема Германа. Связь между тензорами упругой податливости и жесткости. Простые напряженные состояния. Модуль Юнга, коэффициенты Пуассона и сдвига.

Тема 4. Пьезоэлектричество.

Прямой и обратный пьезоэлектрический эффекты. Симметрия пьезоэффекта, вид тензора в кристаллических классах. Разновидности пьезоэффекта. Совместное решение уравнений эласто- и электростатики. Коэффициент электромеханической связи. Пьезооптический эффект. Упругие волны в пьезоэлектрических кристаллах. Экстремальные задачи кристаллофизики. Оптимизация параметров физического свойства. Пример: опыт Кюри, экстремальные решения пьезоэффекта для кварца.

Тема 5. Термодинамические свойства анизотропных кристаллов.

Внутренняя энергия и термодинамический потенциал анизотропного кристалла. Инвариантные и неинвариантные термодинамические потенциалы и их матрицы. Уравнения состояния анизотропного твердого тела. Влияние термодинамических соотношений на симметрию тензоров. Схема взаимодействия тепловых, электрических и механических свойств кристаллов. Электрокалорический, пьезокалорический эффекты. Зависимость термодинамических коэффициентов от условий измерения. Термодинамические неравенства.

Тема 6. Магнитные свойства анизотропных кристаллов.

Магнитные кристаллические классы. Пространственные магнитные группы. Диамагнетики, парамагнетики, ферромагнетики, антиферромагнетики, ферримагнетики. Преобразование тензоров на расширенной ортогональной группе. Уравнения состояния кристалла в магнитном поле. Вид тензоров в магнитных кристаллических классах.

## 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**

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

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. Най Дж. Физические свойства кристаллов. – М.: Мир, 1967. – 386 с.
2. Сиротин Ю.И., Шаскольская М.П. Основы кристаллофизики. – М.: Наука, 1979. – 640 с.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Статистическая физика. Ч.1 – М.: Наука, 1995. – 606 с.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория упругости. – М.: Наука, 1987. – 248 с.
5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. – М.: Наука, 1982. – 621 с.
6. Переломова Н.В., Тагиева М.М. Задачник по кристаллофизике. – М.: Наука, 1972. – 192 с.
7. Вустер У. Применение тензоров и теории групп для описания физических свойств кристаллов. – М.: Мир, 1977. – 383 с.
8. Сонин А.С. Курс макроскопической кристаллофизики. – М.: Физматлит, 2006. – 256 с.

б) дополнительная литература:

1. Желудев И.С. Физика кристаллов и симметрия. – М.: Наука, 1987. – 192 с.
2. Любарский Г.Я. Теория групп и ее применения в физике. – М.: Физматгиз, 1958. – 355 с.
3. Вайнштейн Б.К. Современная кристаллография (Том 4. Физические свойства кристаллов). – М.: Наука, 1981. – 496 с.
4. Давыдов В.Н. Материалы электронной техники: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2017. – 123 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.