

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич
Должность: врио ректора
Дата подписания: 22.07.2025 17:22:36
Уникальный программный ключ:
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
ФГБОУ ВО «ТВЕРСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Утверждаю:

Руководитель



Е.М. Семенова

« 24 »

июня

2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Кристаллография

Закреплена за
кафедрой:

Физики конденсированного состояния

Направление
подготовки:

03.03.02 Физика

Направленность
(профиль):

**Физика, технологии и компьютерное моделирование
функциональных материалов**

Квалификация:

Бакалавр

Форма обучения:

очная

Семестр:

4

Программу составил(и):

д-р физ.-мат. наук, проф., Солнышкин Александр Валентинович; канд. физ.-мат. наук, доц., Большакова Наталья Николаевна

Тверь, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Изучение на основании свойств симметрии кристаллической структуры, кристаллических и кристаллофизических свойств твердых тел схему их классификации.

Задачи:

- Формирование у обучающихся представлений об основных законах кристаллографии, принципах построения кристаллографических проекций, элементах симметрии кристаллических многогранников и структур, принципах классификации кристаллов по кристаллографическим системам, категориям и сингониям, основных системах и символика описания точечных и пространственных групп кристаллов;
- приобретение практического опыта описания особенностей симметрии различных точечных и пространственных кристаллографических классов и групп, объяснения влияния вида симметрии на физические свойства кристаллов, решения задач;
- применение полученных знаний и навыков при освоении профильных дисциплин, а также в практической и профессиональной деятельности.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Математический анализ

Векторный и тензорный анализ

Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:

Физика конденсированного состояния вещества

Физика магнитных явлений

Физика полупроводников

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе:	
аудиторные занятия	48
самостоятельная работа	16

4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

ПК-3.1: Осуществляет анализ структуры материалов

УК-1.1: Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
зачеты	4

6. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ

Язык преподавания: русский.

7. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занят.	Наименование разделов и тем	Вид занятия	Семестр / Курс	Часов	Источники	Примечание
	Раздел 1. 1. Введение					
1.1	Знакомство со специальностью и ее учебным планом кафедрой. Место физики конденсированного состояния вещества в современной физической науке и ее предмет. Общие свойства твердых тел. Кристаллические и аморфные твердые тела. Предмет и задачи кристаллографии.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.2	Анизотропия и симметрия кристаллов. Структура кристаллов и пространственная решетка. Закон постоянства углов кристаллов.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.3	Анизотропия и симметрия кристаллов. Структура кристаллов и пространственная решетка. Закон постоянства углов кристаллов.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.4	Метод кристаллографического индирования. Индексы Миллера. Закон целых чисел Гаюи.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.5	Метод кристаллографического индирования. Индексы Миллера. Закон целых чисел Гаюи.	Пр	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.6	Метод кристаллографического индирования. Индексы Миллера. Закон целых чисел Гаюи.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.7	Кристаллографические проекции.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.8	Кристаллографические проекции.	Пр	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.9	Сферическая, стереографическая, гномостереографическая, гномоническая проекции и соотношения между ними. Сетка Вульфа.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

1.10	Сферическая, стереографическая, гномостереографическая, гномоническая проекции и соотношения между ними. Сетка Вульфа.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.11	Элементы симметрии кристаллических многогранников. Операции и элементы симметрии I-го и II-го рода. Невозможность осей 5-го порядка и порядка более 6. Теоремы о сочетании операций симметрии.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.12	Элементы симметрии кристаллических многогранников. Операции и элементы симметрии I-го и II-го рода. Невозможность осей 5-го порядка и порядка более 6. Теоремы о сочетании операций симметрии.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.13	32 классов симметрии. Понятия точечной группы симметрии. Точечные группы (классы симметрии) и системы обозначений. Формулы симметрии. Международные классы симметрии. Символы Шенфлиса.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.14	32 классов симметрии. Понятия точечной группы симметрии. Точечные группы (классы симметрии) и системы обозначений. Формулы симметрии. Международные классы симметрии. Символы Шенфлиса	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.15	Матричные представления преобразований симметрии. Кристаллографические категории сингонии и системы координат. Правила записи символов точечных групп в различных категориях.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.16	Матричные представления преобразований симметрии. Кристаллографические категории сингонии и системы координат. Правила записи символов точечных групп в различных категориях.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

1.17	Вывод и описание 32 классов симметрии кристаллов. Классификация 32 классов симметрии кристаллов по характеру симметрии. Наличие и отсутствие центра симметрии. Энантиморфизм. Лауэвские классы симметрии. Кратность точечной группы. Понятие подгруппы. Голоэдриа. Мероэдриа. Распределение кристаллов по классам симметрии.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.18	Вывод и описание 32 классов симметрии кристаллов. Классификация 32 классов симметрии кристаллов по характеру симметрии. Наличие и отсутствие центра симметрии. Энантиморфизм. Лауэвские классы симметрии. Кратность точечной группы. Понятие подгруппы. Голоэдриа. Мероэдриа. Распределение кристаллов по классам симметрии.	Пр	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.19	Вывод и описание 32 классов симметрии кристаллов. Классификация 32 классов симметрии кристаллов по характеру симметрии. Наличие и отсутствие центра симметрии. Энантиморфизм. Лауэвские классы симметрии. Кратность точечной группы. Понятие подгруппы. Голоэдриа. Мероэдриа. Распределение кристаллов по классам симметрии.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.20	Предельные группы симметрии. Принцип симметрии в кристаллофизике. принцип Кюри. Принцип Неймана. принцип суперпозиции Кюри. Указательная поверхность.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.21	Предельные группы симметрии. Принцип симметрии в кристаллофизике. принцип Кюри. Принцип Неймана. принцип суперпозиции Кюри. Указательная поверхность.	Пр	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

1.22	Формы кристаллов. Физические различные формы кристаллов. Определение символов граней по методу косинусов. Символы граней кристаллов гексагональной и тригональной сингоций. Символы Миллера-Бравэ. Определение символов направлений (ребер). Связь между символами граней и ребер в кристаллах. Закон зон. Символы симметричных граней простых форм. Перестановка индексов.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.23	Формы кристаллов. Физические различные формы кристаллов. Определение символов граней по методу косинусов. Символы граней кристаллов гексагональной и тригональной сингоций. Символы Миллера-Бравэ. Определение символов направлений (ребер). Связь между символами граней и ребер в кристаллах. Закон зон. Символы симметричных граней простых форм. Перестановка индексов.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.24	Кристаллографические группы антисимметрии.	Пр	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
1.25	Кристаллографические группы антисимметрии.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
	Раздел 2. 2. Симметрия структуры кристаллов					
2.1	Решетки Бравэ. 4 типа решеток Браве. Трансляционная группа. Базис ячейки Бравэ. Ячейка Вигнера-Зейтца.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
2.2	Элементы симметрии структуры кристаллов.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
2.3	Элементы симметрии структуры кристаллов.	Пр	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

2.4	Элементы симметрии структуры кристаллов.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
2.5	Теоремы о сочетании операций симметрии структур. Пространственные (Федоровские) группы симметрии. Правила записи международного символа пространственной группы. правильная система точек и ее кратность. Частная и общая правильные системы точек. Распределение кристаллов по 230 пространственным группам.	Пр	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
2.6	Теоремы о сочетании операций симметрии структур. Пространственные (Федоровские) группы симметрии. Правила записи международного символа пространственной группы. правильная система точек и ее кратность. Частная и общая правильные системы точек. Распределение кристаллов по 230 пространственным группам.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
2.7	Обратная решетка. Основные расчетные формулы кристаллографии.	Лек	4	2	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
	Раздел 3. 3. Дифракция в кристаллах					
3.1	Микроскопическое изображение кристалла. классификация дифракционных методов исследования кристаллов по виду использованного излучения.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
3.2	Микроскопическое изображение кристалла. классификация дифракционных методов исследования кристаллов по виду использованного излучения.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

3.3	Формула Вульфа-Брегга дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Условия (уравнения) Лауэ дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Эквивалентность условия дифракции Вульфа-Брегга и Лауэ. Правила отбора.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
3.4	Формула Вульфа-Брегга дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Условия (уравнения) Лауэ дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Эквивалентность условия дифракции Вульфа-Брегга и Лауэ. Правила отбора.	Пр	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
3.5	Формула Вульфа-Брегга дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Условия (уравнения) Лауэ дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Эквивалентность условия дифракции Вульфа-Брегга и Лауэ. Правила отбора.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
3.6	Построение (сфера) Эвальда. Экспериментальные (дифракционные) методы исследования структуры кристаллов: метод Лауэ, метод вращающегося кристалла, порошковый метод (метод Дебая-Шеррера). Зоны Бриллюэна.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
3.7	Построение (сфера) Эвальда. Экспериментальные (дифракционные) методы исследования структуры кристаллов: метод Лауэ, метод вращающегося кристалла, порошковый метод (метод Дебая-Шеррера). Зоны Бриллюэна.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
	Раздел 4. 4. Основные представления о росте кристаллов					
4.1	Равновесная форма кристаллов. Реальные формы роста кристаллов. Закономерные сростки. Двойники. Эпитаксия. Основные представления о методах выращивания кристаллов.	Пр	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

4.2	Равновесная форма кристаллов. Реальные формы роста кристаллов. Закономерные сростки. Двойники. Эпитаксия. Основные представления о методах выращивания кристаллов.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
	Раздел 5. 5. Влияние вида симметрии на возможность возникновения свойств					
5.1	Симметрия кристалла и симметрия физического процесса. Характеристические группы кристаллографических видов симметрии. Основные признаки характеристических групп кристаллов. Группа А: наличие центра симметрии. 11 центр симметричных видов симметрии. Группа В: отсутствие центра симметрии. Вид симметрии и пьезоэлектричество Группа С: единственная полярная ось. Вид симметрии и пьезоэлектричество. Вид симметрии и сегнетоэлектричество	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
5.2	Симметрия кристалла и симметрия физического процесса. Характеристические группы кристаллографических видов симметрии. Основные признаки характеристических групп кристаллов. Группа А: наличие центра симметрии. 11 центр симметричных видов симметрии. Группа В: отсутствие центра симметрии. Вид симметрии и пьезоэлектричество Группа С: единственная полярная ось. Вид симметрии и пьезоэлектричество. Вид симметрии и сегнетоэлектричество	Пр	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

5.3	Симметрия кристалла и симметрия физического процесса. Характеристические группы кристаллографических видов симметрии. Основные признаки характеристических групп кристаллов. Группа А: наличие центра симметрии. 11 центр симметричных видов симметрии. Группа В: отсутствие центра симметрии. Вид симметрии и пьезоэлектричество Группа С: единственная полярная ось. Вид симметрии и пьезоэлектричество. Вид симметрии и сегнетоэлектричество	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
5.4	Двойное лучепреломление и поляризация света кристаллами. Оптические индикатрисы кубических кристаллов, кристаллов средних и низших сингоний. группа D: отсутствие плоскостей симметрии. Вид симметрии и оптическая активность. Вращение плоскости поляризации.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
5.5	Двойное лучепреломление и поляризация света кристаллами. Оптические индикатрисы кубических кристаллов, кристаллов средних и низших сингоний. группа D: отсутствие плоскостей симметрии. Вид симметрии и оптическая активность. Вращение плоскости поляризации.	Пр	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
5.6	Влияние вида симметрии на зависимость величины векторного свойства от направления. Симметрия тепловых процессов в кристаллах. тепловое расширение кристаллов. Теплопроводность кристаллов. Законы Фриделя.	Лек	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	

5.7	Влияние вида симметрии на зависимость величины векторного свойства от направления. Симметрия тепловых процессов в кристаллах. тепловое расширение кристаллов. Теплопроводность кристаллов. Законы Фриделя.	Ср	4	1	Л1.1 Л1.2Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3	
-----	--	----	---	---	--------------------------------------	--

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

Оценочные материалы для проведения текущей аттестации приведены в приложении 2

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации приведены в приложении 2

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Требования к рейтинг-контролю приведены в приложении 2

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

9.1. Рекомендуемая литература

9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Епифанов Г. И., Физика твердого тела, Санкт-Петербург: Лань, 2022, ISBN: 978-5-8114-1001-9, URL: https://e.lanbook.com/book/210671
Л1.2	Матухин В. Л., Ермаков В. Л., Физика твердого тела, Санкт-Петербург: Лань, 2022, ISBN: 978-5-8114-0923-5, URL: https://e.lanbook.com/book/210305

9.1.2. Дополнительная литература

Шифр	Литература
Л2.1	Юшкова, Надолько, Безруких, Основы кристаллографии, Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2020, ISBN: 978-5-7638-4181-7, URL: https://znanium.com/catalog/document?id=381937
Л2.2	Басалаев Ю. М., Кристаллофизика и кристаллохимия, Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2014, ISBN: 978-5-8353-1712-7, URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=278304

9.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	ЭБС «ИНФРА-М»: http://www.znanium.com
Э2	ЭБС «Университетская библиотека ОН-ЛАЙН»: http://www.biblioclub.ru
Э3	ЭБС «ЛАНЬ»: http://e.lanbook.com

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
2	Adobe Acrobat Reader
3	Google Chrome
4	WinDjView
5	OpenOffice
6	Foxit Reader

9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС BOOK.ru
2	ЭБС ТвГУ
3	ЭБС «Лань»
4	ЭБС IPRbooks
5	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
6	ЭБС «ЮРАИТ»
7	ЭБС «ZNANIUM.COM»

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-35	комплект учебной мебели, экран настенный, переносной ноутбук, проекторы
3-4а	компьютеры, проектор, экран, переносной ноутбук, сумка для ноутбука, коммутатор, видеокамеры

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля) приведены в приложении 1