

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной работе

Дата подписания: 27.10.2023 12:14:45

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Тензорные методы в кристаллофизике

Закреплена за подразделением

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Направление подготовки

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ

Профиль

Квалификация

Инженер-исследователь

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

6 ЗЕТ

Часов по учебному плану

216

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 9

аудиторные занятия

85

самостоятельная работа

86

часов на контроль

45

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	9 (5.1)		Итого	
	18			
Неделя	УП	РП	УП	РП
Лекции	34	34	34	34
Практические	51	51	51	51
Итого ауд.	85	85	85	85
Контактная работа	85	85	85	85
Сам. работа	86	86	86	86
Часы на контроль	45	45	45	45
Итого	216	216	216	216

Программу составил(и):

к.ф.-.м.н., доц., Забелин Алексей Николаевич

Рабочая программа

Тензорные методы в кристаллофизике

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ (приказ от 28.06.2023 г. № 292 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, 22.03.01-БМТМ-23_6-ПП.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

22.03.01 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ТЕХНОЛОГИИ МАТЕРИАЛОВ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра материаловедения полупроводников и диэлектриков

Протокол от 21.06.2023 г., №12-22/23

Руководитель подразделения Оганов А.Р.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Цель освоения дисциплины – формирование компетенций в соответствии с учебным планом, а также дать студентам систематическое описание закономерностей макроскопических свойств кристаллов, связанных с их симметрией.
1.2	Задачи дисциплины – сформировать:
1.3	- целостное представление о взаимосвязи физических свойств кристаллов;
1.4	- навыки применения методов и подходов кристаллофизики для определения тензорных коэффициентов физических свойств кристаллов;
1.5	- навыки использования симметричного подхода к исследованию и описанию физических свойств кристаллов.

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.25
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Физика магнитных явлений	
2.1.2	Материаловедение полупроводников и диэлектриков	
2.1.3	Физика диэлектриков	
2.1.4	Современные проблемы материаловедения	
2.1.5	Теория симметрии	
2.1.6	Кристаллография	
2.1.7	Методы математической физики	
2.1.8	Физика	
2.1.9	Математика	
2.1.10	Физические свойства материалов	
2.1.11	Атомная и электронная структура поверхности и межфазных границ	
2.1.12	Композиционные материалы	
2.1.13	Конструирование композиционных материалов	
2.1.14	Методы исследования структур и материалов. Часть 2	
2.1.15	Поверхностное модифицирование материалов и защитные покрытия	
2.1.16	Специальные сплавы	
2.1.17	Инженерия поверхности	
2.1.18	Металловедение и термическая обработка металлов	
2.1.19	Методы исследования структур и материалов. Часть 1	
2.1.20	Методы исследования физических свойств полупроводниковых структур	
2.1.21	Наноматериалы	
2.1.22	Сверхтвердые материалы	
2.1.23	Фазовые и структурные изменения при формировании материалов и эпитаксиальных структур	
2.1.24	Физика полупроводниковых приборов	
2.1.25	Физика прочности	
2.1.26	Физика прочности и механические свойства материалов	
2.1.27	Физико-химия металлов и неметаллических материалов	
2.1.28	Физические основы деформации и разрушения	
2.1.29	Защита интеллектуальной собственности и патентование	
2.1.30	Коррозия и защита металлов	
2.1.31	Материаловедение	
2.1.32	Металловедение инновационных материалов	
2.1.33	Методы исследования материалов	
2.1.34	Метрология и стандартизация цифровых технологий в материаловедении и металлургии	
2.1.35	Метрология, стандартизация и технические измерения	
2.1.36	Метрология, стандартизация и технические измерения в электронике	
2.1.37	Основы материаловедения и методов исследования материалов	
2.1.38	Разработка новых материалов	
2.1.39	Фазовые равновесия и дефекты структуры	
2.1.40	Физика полупроводников	

2.1.41	Введение в квантовую теорию твердого тела
2.1.42	Дефекты кристаллической решетки
2.1.43	Компьютеризация эксперимента
2.1.44	Материалы наукоемких технологий
2.1.45	Основы дизайна металлических материалов
2.1.46	Планирование и организация научно-исследовательской работы
2.1.47	Теория поверхностных явлений
2.1.48	Электроника
2.1.49	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений
2.1.50	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений
2.1.51	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений
2.1.52	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений
2.1.53	Аналитическая геометрия
2.1.54	Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 1. Магнитно-мягкие сплавы
2.1.55	Физическое материаловедение сплавов с особыми магнитными свойствами, часть 2. Магнитно-твердые сплавы
2.1.56	Атомное строение фаз
2.1.57	Биохимия наноматериалов
2.1.58	Технологии материалов с особыми физическими свойствами
2.1.59	Диффузия и диффузионно-контролируемые процессы
2.1.60	Метрология и технические измерения функциональных материалов
2.1.61	Физика металлов
2.1.62	Материалы альтернативной энергетики
2.1.63	Планирование научного эксперимента
2.1.64	Введение в квантовую механику
2.1.65	Математическая статистика и анализ данных
2.1.66	Физическая химия
2.1.67	Электротехника
2.1.68	Органическая химия
2.1.69	Химия
2.1.70	Инженерная и компьютерная графика
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Биоорганическая химия
2.2.2	Высокотемпературные керамические материалы
2.2.3	Жаропрочные и радиационно-стойкие материалы
2.2.4	Квантовая теория твердого тела
2.2.5	Математическое и компьютерное моделирование материалов и процессов электроники
2.2.6	Методы непараметрической статистики
2.2.7	Некоторые главы кристаллохимии
2.2.8	Объемные наноматериалы
2.2.9	Процессы получения и обработки сверхтвердых материалов
2.2.10	Структура и технологичность сплавов
2.2.11	Физико-химия эволюции твердого вещества
2.2.12	Ядерно-спектроскопические и синхротронные методы исследований
2.2.13	Аттестация и испытания высокотемпературных и сверхтвердых материалов
2.2.14	Компьютерные и информационные технологии в науке и производстве функциональных материалов
2.2.15	Материаловедение и технологии перспективных материалов
2.2.16	Материалы и элементы спинтроники и спинволновой оптики
2.2.17	Металлические материалы для крупных транспортных систем
2.2.18	Металловедение высокопрочных сплавов
2.2.19	Методология и практика определения размерных характеристик материалов
2.2.20	Методология научных исследований
2.2.21	Оптические явления в кристаллах. Часть 2

2.2.22	Основы клеточной биологии
2.2.23	Практическое применение теории функционала электронной плотности
2.2.24	Симметрия наносистем
2.2.25	Современные компьютерные технологии в структурном анализе
2.2.26	Спектроскопические и зондовые методы
2.2.27	Термомеханическая обработка металлов и сплавов
2.2.28	Управление проектами
2.2.29	Химические основы биологических процессов
2.2.30	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.31	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.32	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.33	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы
2.2.34	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.35	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.36	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.37	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы
2.2.38	Оптические элементы лазерных систем
2.2.39	Нелинейные кристаллы
2.2.40	Методы исследования макро- и микроструктуры материалов
2.2.41	Аттестация и сертификация изделий электронной техники
2.2.42	Менеджмент качества
2.2.43	Оформление результатов научной деятельности
2.2.44	Управление коллективами
2.2.45	Цифровое материаловедение
2.2.46	Нормы и правила оформления ВКР

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-1: Способен к поиску новых направлений научных исследований и синтезу знаний в области материаловедения и технологии материалов, способен оформлять технические задания и отчетные материалы по планируемым и проведенным исследованиям

Знать:

ПК-1-31 давать характеристику физических свойств кристаллов с учетом их симметрии.

ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя знания фундаментальных наук, методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания

Знать:

ОПК-1-31 формулировать и объяснять основные законы и тензорный аппарат кристаллофизики.

ПК-1: Способен к поиску новых направлений научных исследований и синтезу знаний в области материаловедения и технологии материалов, способен оформлять технические задания и отчетные материалы по планируемым и проведенным исследованиям

Уметь:

ПК-1-У1 прогнозировать возможные физические свойства кристаллов по их симметрии.

ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя знания фундаментальных наук, методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания

Уметь:

ОПК-1-У2 оценивать срезы кристаллов различной ориентации и осуществлять их обоснованный выбор для кристаллических элементов, предназначенных для конкретного использования в технике.

ОПК-1-У1 применять методы и подходы кристаллофизики для определения тензорных коэффициентов физических свойств кристаллов.

ПК-1: Способен к поиску новых направлений научных исследований и синтезу знаний в области материаловедения и технологии материалов, способен оформлять технические задания и отчетные материалы по планируемым и проведенным исследованиям

Владеть:

ПК-1-В1 иметь навыки прогнозирования физических свойств кристаллов по их симметрии.

ОПК-1: Способен решать задачи профессиональной деятельности, применяя знания фундаментальных наук, методы моделирования, математического анализа, естественнонаучные и общинженерные знания

Владеть:

ОПК-1-В1 иметь навыки использования симметричного подхода к исследованию и описанию физических свойств кристаллов.

ОПК-1-В2 иметь навыки использования тензорных методов расчета физических свойств и эффектов в кристаллах.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	Раздел 1. Основы тензорного и симметричного описания физических свойств кристаллов							
1.1	Основы теории групп. Групповые аксиомы. Генераторы. Подгруппы. Кристаллографические группы симметрии. Предельные группы симметрии (группы Кюри). /Лек/	9	2	ОПК-1-31	Л1.1Л2.2 Э1	Ссылку на электронный курс в LMS Canvas студенты получают на первом занятии.		
1.2	Тензоры и псевдотензоры. Внутренняя симметрия тензоров. Символика Яна. Соотношения дуальности. Внешняя симметрия и изображение тензоров. Тензоры четного и нечетного типа. Методы определения вида тензора, инвариантного относительно заданной группы симметрии. Теорема Германа. /Лек/	9	2	ОПК-1-31	Л1.1Л2.2 Э1			
1.3	Кристалл как анизотропная сплошная среда. Симметрия физических полей. Материальные и полевые тензоры. Принцип симметрии в кристаллофизике. /Лек/	9	2	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.2 Э1			
1.4	Матричное представление кристаллографических групп симметрии. Построение таблицы группового умножения. /Пр/	9	3	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
1.5	Собственные векторы и собственные значения симметричного тензора второго ранга. Внешняя симметрия тензора второго ранга. Характеристические и указательные поверхности тензора второго ранга. /Пр/	9	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
1.6	Принцип симметрии в кристаллофизике. Принципы Кюри и Неймана. /Пр/	9	4	ПК-1-31 ПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			

1.7	Освоение теоретического материала раздела 1. /Ср/	9	14	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1			
	Раздел 2. Электромеханические свойства кристаллов							
2.1	Термодинамические потенциалы. Матрицы термодинамических коэффициентов. Зависимость термодинамических коэффициентов от условий измерения. /Лек/	9	2	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1			
2.2	Пирозлектрический эффект. Электрокалорический эффект. Симметрия диэлектрических свойств кристаллов. /Лек/	9	2	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1			
2.3	Малые деформации сплошной среды. Тензор напряжений. Тепловое расширение. Различие между полевыми и материальными тензорами. Обобщенный закон Гука. Симметрия упругих свойств кристаллов. Простые напряженные состояния. /Лек/	9	2	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1			
2.4	Пьезоэлектрический эффект и его симметрия. Электрострикция. /Лек/	9	2	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1			
2.5	Свойства кристаллов, описываемые тензором второго ранга. Экстремальные значения свойств кристаллов, описываемых тензором второго ранга. /Пр/	9	4	ПК-1-31 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
2.6	Упругие деформации в кристаллах. Матрицы коэффициентов упругой податливости для кристаллов различной симметрии. Простые напряженные состояния. /Пр/	9	4	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
2.7	Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Матрицы пьезоэлектрических модулей для кристаллов различной симметрии. /Пр/	9	4	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
2.8	Контрольная работа по разделам 1, 2. /Пр/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1		КМ1	

2.9	Освоение теоретического материала раздела 2. Подготовка к контрольной работе по разделам 1, 2. /Ср/	9	20	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1			
	Раздел 3. Магнитная симметрия в кристаллофизике							
3.1	Обращение отсчета времени и антисимметрия. Магнитная симметрия кристаллов. Точечные и пространственные группы магнитной симметрии. Тензоры, определенные на расширенной ортогональной группе. /Лек/	9	4	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1			
3.2	Термодинамика физических свойств кристаллов при учете магнитных эффектов. Симметрия пьезомагнитного и магнитоэлектрического эффектов. /Лек/	9	4	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1			
3.3	Матричное представление кристаллографической точечной группы магнитной симметрии. Построение таблицы группового умножения. /Пр/	9	5	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1			
3.4	Пьезомагнитный и магнитоэлектрический эффекты в магнитных кристаллах различной симметрии. /Пр/	9	4	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2	Л1.1Л2.1Л3.1 Э1			Р8
3.5	Освоение теоретического материала раздела 3. /Ср/	9	20	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1			
	Раздел 4. Оптические свойства кристаллов							
4.1	Электромагнитные волны в прозрачных кристаллах. Двулучепреломление. Оптическая индикатриса. Волны и лучи. Принцип двойственности. Влияние симметрии кристаллов на их оптические свойства. Оптически одноосные и двуосные кристаллы. /Лек/	9	2	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1			
4.2	Электрооптический и пьезооптический эффект. Искусственная оптическая анизотропия кристаллов. /Лек/	9	2	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1			
4.3	Нелинейная поляризация при распространении электромагнитных волн большой интенсивности. Генерация световых гармоник. Направления синхронизма. /Лек/	9	4	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1			

4.4	Оптическая активность кристаллов. Симметрия оптической активности кристаллов. /Лек/	9	4	ПК-1-31 ОПК-1-31	Л1.1Л2.1 Э1			
4.5	Поляризация световых лучей. Двулучепреломление в кристаллах. Расчет угла между лучом и направлением волновой нормали световой волны. /Пр/	9	3	ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
4.6	Линейный и квадратичный электрооптический эффект. Матрицы коэффициентов линейного и квадратичного электрооптического эффекта для кристаллов различной симметрии. Продольный и поперечный пьезооптический эффект. Матрицы пьезооптических и упругооптических постоянных для кристаллов различной симметрии. /Пр/	9	4	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			Р10
4.7	Генерация световых гармоник. Направления синхронизма. /Пр/	9	4	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			Р11
4.8	Вращение плоскости поляризации. Тензор гирации для кристаллов различной симметрии. /Пр/	9	4	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ОПК-1-В1	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			
4.9	Контрольная работа по разделам 3, 4. /Пр/	9	2	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1		КМ2	
4.10	Освоение теоретического материала раздела 4. Подготовка к контрольной работе по разделам 3, 4. Подготовка к экзамену. /Ср/	9	32	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ОПК-1-31 ОПК-1-У1 ОПК-1-У2 ОПК-1-В1 ОПК-1-В2	Л1.1Л2.1Л3. 1 Э1			

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Контрольная работа 1 по разделам 1, 2		Вопросы для подготовки к контрольной работе 1 по разделам 1, 2. Пример варианта контрольной работы размещен в приложении к РПД. Вопросы по разделу 1: 1. Какими матрицами описываются инверсионные повороты вокруг оси X3 а) на 90° б) на 120°? 2. Определить систему генераторов для точечной группы симметрии mmm и записать их матричное представление. 3. Найти матричное представление группы симметрии 2/m.

		<p>4. Кристалл с симметрией $mm2$ поместили в электрическое поле таким образом, что направление поля совпало с направлением $[001]$, затем с направлением $[010]$. Найти симметрию кристалла в поле в обоих случаях.</p> <p>5. Найти кристаллографические направления, по которым следует приложить электрическое поле к кристаллу с симметрией 432, чтобы его симметрия понизилась а) до тетрагональной, б) до тригональной, в) до ромбической.</p> <p>6. Определить симметрию кристалла в поле одноосного механического напряжения, приложенного вдоль кристаллографических направлений: а) $[100]$, б) $[110]$, в) $[111]$, г) $[hk0]$, если его симметрия в ненапряженном состоянии 432.</p> <p>Вопросы по разделу 2:</p> <p>1. Какой должна быть ориентация кристаллических пластин ниобата лития (класс симметрии $3m$) для измерения их пьезоэлектрических коэффициентов?</p> <p>2. Найти плотность поверхностных зарядов, возникающих на противоположных гранях пластины из турмалина (класс симметрии $3m$) при однородном нагревании её на 30 K, если пластинка вырезана так, что угол между нормалью к пластинке и осью 3 составляет 60°.</p> <p>3. Монокристалл обточен в форме шара. Как изменится его форма при нагревании, если он относится к а) кубической, б) гексагональной, в) моноклинной сингонии?</p> <p>4. Как следует вырезать пластину из моноклинного кристалла, обладающую наименьшей величиной теплового расширения, если тепловое расширение этого кристалла в кристаллофизической системе координат описывается тензором заданного вида.</p> <p>5. Характеристическая поверхность, описывающая диэлектрическую проницаемость пьезоэлектрического кристалла, имеет вид эллипсоида вращения. Какую точечную группу может иметь кристалл? Может ли кристалл, изотропный в отношении диэлектрической проницаемости, проявить пьезоэффект?</p> <p>6. При упругой деформации кристаллического, образца, имеющего форму куба размером $1 \times 1 \times 1\text{ см}^3$, его точки испытывают следующие смещения (10^{-4} см): $u_1 = (4x_1 + 3x_2 - 5x_3)$, $u_2 = (7x_1 - 13x_2 + 4x_3)$, $u_3 = (9x_1 - 2x_2 + 4x_3)$. Найти изменение углов между ребрами куба и изменение его объема при деформации.</p> <p>7. При малой деформации кристалла каждая его точка испытывает малые смещения (10^{-5} см): $u_1 = (8x_1 + 3x_2 - 5x_3)$, $u_2 = (7x_1 + 3x_2 + 4x_3)$, $u_3 = (x_1 - 8x_2 + x_3)$. Определить тензор деформаций и тензор вращений. Найти объемное расширение кристалла.</p> <p>8. Кубик каменной соли (класс симметрии $m3m$), ориентированный своими ребрами вдоль направлений типа $[100]$, испытывает плоскую деформацию так, что относительное удлинение вдоль ребра $[100]$ составляет $4 \cdot 10^{-5}$, вдоль ребра $[010]$ – $12 \cdot 10^{-5}$. Найти относительное удлинение в направлениях $[111]$, $[121]$.</p> <p>9. Пользуясь методом прямой проверки, показать, что матрица коэффициентов упругой податливости для кристаллов KDP (класс симметрии $4i2m$) имеет шесть независимых компонент.</p> <p>10. К кристаллу хлората натрия (класс симметрии 23) вдоль одной из осей второго порядка приложили напряжение сжатия, равное 1500 Н/см^2. Определить относительную деформацию, которую испытывает кристалл вдоль направлений типа $[111]$.</p> <p>11. Кристалл хлората натрия (класс симметрии 23) подвергнут действию одноосного растягивающего усилия 10^4 Н/см^2 в произвольном направлении. На сколько градусов нужно нагреть этот кристалл, чтобы относительное изменение объема было таким же, как в случае деформации кристалла под действием указанного одноосного растяжения?</p> <p>12. Определить модуль Юнга в направлении кристаллофизических осей X_1 и X_3, а также в направлении длины бруска, представляющего собой 45° Z-срез ADP (класс симметрии $4i2m$). (УК-3-31, ПК-4-У1, ПК-4-У2, ПК-4-В1)</p> <p>13. Какие из коэффициентов упругой податливости могут быть определены при измерении объемного сжатия и продольной деформации образца вюрцита (класс симметрии $m3m$), испытывающего напряжения сжатия в направлении $[0001]$?</p>
--	--	---

		<p>14. Почему наличие в кристалле пирозффекта заставляет предполагать и наличие пьезоэффекта, но не наоборот?</p> <p>15. Как с помощью изучения пиро- и пьезоэлектрических свойств можно различить кристаллы симметрии $4/m$, 422, $4mm$?</p> <p>16. Вывести вид матрицы пьезомодулей для точечной группы $mm2$.</p> <p>17. Показать, что матрицы пьезомодулей для точечных групп 6, 622 и $6mm$ имеют тот же вид, что и для точечных групп 4, 422 и $4mm$ соответственно.</p> <p>18. Доказать, что кристаллы симметрии 432 не могут обладать пьезоэффектом.</p> <p>19. Показать, что кристаллы симметрии $4i3m$ и 23 имеют одинаковый вид матрицы пьезомодулей. Найти вид матрицы.</p> <p>20. Как, изучая пьезоэлектрические свойства, различить кристаллы симметрии 222, $4i2m$, $4i3m$?</p> <p>21. Пользуясь методом Фуми, найти вид матрицы пьезомодулей кристаллов класса $4i2m$.</p> <p>22. Найти вид матрицы пьезомодулей для текстуры сегнетовой соли.</p> <p>23. Показать, что для классов симметрии 422 и 622 не существует продольного пьезоэлектрического эффекта ни в одном направлении.</p> <p>24. К рабочим граням пластин X-, Y- и Z-срезов кварца (класс симметрии 32) приложили электрическое поле напряженностью E. Какие деформации испытывают такие пластинки?</p> <p>25. Вдоль каких направлений в кристаллах кварца (класс симметрии 32) невозможен продольный пьезоэлектрический эффект?</p> <p>26. Параллелепипед из кварца (класс симметрии 32) с ребрами a, b, c, параллельными соответственно кристаллофизическим осям X1, X2, X3, подвергается действию силы F, направленной поочередно вдоль его ребер. Найти выражение для величины зарядов, возникающих на гранях параллелепипеда.</p> <p>27. К кубику дигидрофосфата аммония (класс симметрии $4i2m$), ориентированному своими ребрами вдоль кристаллофизических осей, приложили по направлению его плоской диагонали электрическое поле $E=2000$ В/см. Определить величину и характер деформаций, испытываемых кубиком.</p> <p>28. Плотность зарядов, возникающих на противоположных гранях пластины Z-среза из турмалина (класс симметрии $3m$), используемой в качестве датчика гидростатических давлений, равна $2.5 \cdot 10^{-8}$ Кл/см². Определить величину гидростатического давления, измеряемого такой пластинкой.</p> <p>29. Показать, что для кристаллов кубической симметрии адиабатический коэффициент упругой податливости s_{44} равен изотермическому.</p> <p>30. Как связаны между собой компоненты тензора диэлектрической проницаемости, измеренные в изотермических и адиабатических условиях? Для кристаллов каких классов симметрии они различаются?</p> <p>31. Как связаны между собой компоненты тензора диэлектрической проницаемости, измеренные на механически свободном и механически зажато, кристаллах? Для кристаллов каких классов симметрии они различаются?</p> <p>32. Определить соотношения, связывающие адиабатические и изотермические пьезомодули. Отличаются ли эти коэффициенты для кристаллов: а) ниобата лития (класс $3m$), б) кварца (класс 32), в) KDP (класс $4i2m$)?</p> <p>33. Как связаны между собой компоненты тензора упругой податливости, измеренные для электрически зажатого и электрически свободного кристалла? Для кристаллов каких классов симметрии они различаются?</p> <p>34. Как связаны между собой компоненты тензора теплового расширения, измеренные для электрически зажатого и электрически свободного кристалла? Для кристаллов каких классов симметрии они различаются?</p>
--	--	--

КМ2	Контрольная работа 2 по разделам 3, 4	<p>Вопросы для подготовки к контрольной работе 2 по разделам 3, 4. Пример варианта контрольной работы размещен в приложении к РПД.</p> <p>Вопросы по разделу 3:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Какими матрицами описываются инверсионные антиповороты вокруг оси X3 а) на 90° б) на 120°? 2. Определить систему генераторов для точечной группы магнитной симметрии $2m'm'$ и записать их матричное представление. 3. Найти матричное представление группы симметрии $2/m1'$. 4. Кристалл магнитного класса $4i2'm'$ помещен в магнитное поле, направленное вдоль инверсионной оси четвертого порядка. Какие деформации возникнут в кристалле вследствие обратного пьезомагнитного эффекта? 5. Кристалл магнитного класса $3i'm$ помещен в магнитное поле, направленное перпендикулярно к инверсионной оси антисимметрии третьего порядка. Как будет направлен вектор электрической поляризации, возникающей в кристалле вследствие прямого магнитоэлектрического эффекта? 6. Кристалл магнитного класса $4i'2'm$ помещен в магнитное поле, направленное перпендикулярно к инверсионной оси антисимметрии четвертого порядка. Как будет направлен вектор электрической поляризации, возникающей в кристалле вследствие прямого магнитоэлектрического эффекта? 7. Кристалл магнитного класса $62'2'$ помещен в магнитное поле, направленное перпендикулярно к оси 6. Как будет направлен вектор электрической поляризации, возникающей в кристалле вследствие прямого магнитоэлектрического эффекта? 8. Кристалл магнитного класса $4i2m$ помещен в магнитное поле, направленное вдоль оси 2. Какие деформации возникнут в кристалле вследствие обратного пьезомагнитного эффекта? 9. Известно, что у кристаллов магнитного класса $6mm$ тензор магнитоэлектрических коэффициентов антисимметричен. Исходя из этого, определить магнитную симметрию кристаллов, у которых тензор магнитоэлектрических коэффициентов также антисимметричен. <p>Вопросы по разделу 4:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Определить двупреломление пластины из кварца (класс симметрии 32), вырезанной параллельно оптической оси кристалла. Определить разность фаз между обыкновенной и необыкновенной волной для света $\lambda = 5,9 \cdot 10^{-5}$ см, если толщина пластинки 0,1 мм. 2. Определить угол между направлением волновой нормали и лучом для необыкновенной волны при распространении ее под углом 30° к оптической оси в кристалле ниобата лития (класс симметрии $3m$). 3. Определить величину сноса светового луча при распространении света в направлении синхронизма в кристалле KDP (класс симметрии $4i2m$), если толщина пластины 8 мм, направление синхронизма составляет с инверсионной осью четвертого порядка угол 49°. 4. Определить максимальный угол между лучом и волновой нормалью в кристалле ниобата лития (класс $3m$). 5. Известно, что высокочастотная модуляция света может быть осуществлена при использовании квадратичного электрооптического эффекта на кристаллах ниобата-танталата калия (КТН) в их кубической модификации – класс $m3m$ (поскольку квадратичный эффект в кристаллах перовскитов безынерционен до частот 200 ГГц). В режиме продольного или поперечного квадратичного электрооптического эффекта должен работать высокочастотный модулятор из КТН, представляющий собой пластину Z-среза. 6. Какой выигрыш по модулирующему напряжению можно получить, используя в качестве модулирующего элемента образец 45° Z-среза ADP (класс симметрии $4i2m$) размером $3 \times 3 \times 100$ мм³, работающий в режиме поперечного электрооптического эффекта, по сравнению с таким же модулятором, работающим на продольном эффекте?
-----	---------------------------------------	---

7. Перспективными кристаллами для целей электрооптической модуляции света являются сегнетоэлектрические перовскиты, обладающие экстремально низким значением управляющего напряжения. Какова величина управляющего напряжения модулятора, представляющего собой образец танталата-ниобата калия (КТН, класс симметрии $m\bar{3}m$) размером $1 \times 1 \times 1$ см³, работающего при комнатной температуре режиме поперечного электрооптического эффекта для светового сигнала с $\lambda = 0,633$ мкм?
8. Используя таблицы матриц электрооптических коэффициентов, ответить на вопросы: а) В кристаллах какой симметрии приложение электрического поля вдоль оси X₃ приводит только к изменению величины главных коэффициентов преломления кристалла без изменения формы оптической индикатрисы кристалла? Возможно ли в кристаллах этих классов симметрии изменить форму оптической индикатрисы приложением поля по другим направлениям? б) В кристаллах какой симметрии приложение электрического поля вдоль оси X₃ приводит к изменению формы оптической индикатрисы кристалла без изменения направлений главных осей оптической индикатрисы? в) В кристаллах какой симметрии изменяется как величина главных коэффициентов преломления, так и направления главных осей оптической индикатрисы?
9. Два образца единичных размеров кристаллов KDP и DKDP (класс симметрии $4i\bar{2}m$) помещают в электрическое поле таким образом, что поле совпадает с направлением [001], а свет распространяется в направлении [110]. Какую разность потенциалов следует приложить в том и другом случаях, чтобы каждая из пластинок давала разность хода $\lambda/2$ для $\lambda = 0,535$ мкм?
10. Оценить величину угла, на который поворачивается оптическая индикатриса кристаллов KDP (класс симметрии $4i\bar{2}m$) при наложении электрического поля напряженностью 10^4 В/см по направлению [100].
11. Возможно ли наблюдение продольного линейного и квадратичного электрооптического эффекта в кристаллах кварца (класс симметрии 32) по направлению [0001]?
12. Как изменятся оптические свойства кристаллов каменной соли (класс симметрии $m\bar{3}m$) и сфалерита (класс симметрии $4i\bar{3}m$) при наложении электрического поля вдоль направлений типа $\langle 100 \rangle$ за счет: а) линейного электрооптического эффекта; б) квадратичного электрооптического эффекта?
13. При экспериментальном исследовании квадратичного электрооптического эффекта в нецентросимметричных кристаллах важно отделить его от линейного. Вдоль каких из кристаллографических направлений: [100], [010] или [001] в кристаллах класса 32 можно наблюдать чистый продольный квадратичный электрооптический эффект?
14. На кристаллический образец ADP (класс симметрии $4i\bar{2}m$) действует одноосное механическое напряжение в направлении [100]. Найти выражения, позволяющие оценить величину показателей преломления напряженного кристалла.
15. Кристалл сфалерита (класс симметрии $4i\bar{3}m$) сжат в направлении [110]. Как изменилась его оптическая индикатриса? Связано ли направление растяжения с направлением осей оптической индикатрисы кристалла?
16. В пластине флюорита (класс симметрии $m\bar{3}m$) толщиной 1 см, вырезанной перпендикулярно направлению [111], наблюдали поперечный пьезооптический эффект. При этом разность хода, равная $\lambda/2$, для монохроматического света с длиной волны 0,590 мкм достигалась при сжатии пластинки напряжением $3,2$ кг/см². Найти значение пьезооптического коэффициента, который может быть рассчитан по данным эксперимента.
17. Определить величину двупреломления кристаллов аллюмокалиевых квасцов (класс симметрии $m\bar{3}$) в направлениях [010] и [001], индуцированного приложением одноосного механического напряжения, направленного по [100].
18. Назвать классы симметрии кристаллов, оптические индикатрисы которых испытывают не только деформации своих

		<p>осей, но и поворачиваются на некоторый угол при действии на них гидростатического давления.</p> <p>19. Определить угол синхронизма кристалла KDP (класс симметрии 4i2m) для $\lambda = 0,694$ мкм, если для $\lambda = 0,694$ мкм $N_o=1,51$; $N_e= 1,47$, для $\lambda = 0,347$ мкм $N_o = 1,54$; $N_e = 1,49$.</p> <p>20. Определить плотность мощности второй гармоники, получаемой с помощью кристалла KDP (класс симметрии 4i2m) при плотности мощности света основной частоты 10^{19} Вт/см², длине волны $\lambda=0,694$ мкм и длине кристалла 0,5 см.</p> <p>21. Показать, что в классе симметрии 422 для взаимодействия $ee \rightarrow o$ дэфф не зависит от угла, составляемого главной плоскостью кристалла с координатной плоскостью X1X3.</p> <p>22. Показать, что для кристаллов классов симметрии 622 и 422 для взаимодействия $oo \rightarrow e$ дэффф = 0.</p> <p>23. Определить угол синхронизма для кристалла киновари (HgS, класс симметрии 32) для $\lambda = 5,3$ мкм, если его показатели преломления для $\lambda= 5,3$ мкм $N_o = 2,83$, $N_e= 3,15$, для $\lambda= 10,6$ мкм $N_o = 2,60$, $N_e = 2,85$.</p> <p>24. Определить когерентную длину кристалла кварца (класс симметрии 32) при генерации второй гармоники в направлениях, составляющих углы 30 и 90° с оптической осью кристалла.</p> <p>25. Определить угол между волновой нормалью и лучом в направлении синхронизма для кристалла киновари (класс симметрии 32) при $\lambda= 10,6$ мкм. Какова длина взаимодействия при $d= 1$ см?</p> <p>26. Пьезоэлектрический оптически активный кристалл имеет изотропную электропроводность. Определить его симметрию.</p> <p>27. Оптически одноосные кристаллы обнаруживают пироэффект и вращают плоскость поляризации. Какой может быть их симметрия?</p> <p>28. Какие точечные группы средней категории допускают одновременно пьезоэффект и оптическую активность и исключают возможность пироэффекта?</p> <p>29. Какими из следующих свойств: пироэффект, пьезоэффект, оптическая активность, — обладают кристаллы кварца (класс симметрии 32)?</p> <p>30. Используя только соображения симметрии определить вид псевдотензора гирации для кристаллов класса 6mm. Для каких классов симметрии псевдотензор гирации имеет такой же вид, что и для класса 6mm?</p> <p>31. Используя только соображения симметрии определить вид псевдотензора гирации для кристаллов класса 3m. Для каких классов симметрии псевдотензор гирации имеет такой же вид, что и для класса 3m?</p> <p>32. Используя только соображения симметрии определить вид псевдотензора гирации для кристаллов класса 6. Для каких классов симметрии псевдотензор гирации имеет такой же вид, что и для класса 6?</p>
--	--	---

КМЗ	Экзамен 1 семестра	<p>Экзаменационные вопросы к экзамену 1 семестра.</p> <p>Теоретические вопросы по разделу 1:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Назовите правила (групповые постулаты), которым подчиняются симметрические операции, входящие в точечные группы симметрии кристаллических многогранников. 2. Что называется генераторами точечных групп симметрии? 3. Что такое матричное представление симметрических операций? 4. Какими свойствами обладает матрица направляющих косинусов? 5. Чем отличаются операции I-го рода от операций II-го рода, их матричное представление? 6. Какие группы симметрии называются предельными? 7. Какое свойство тензора называется его внутренней симметрией? 8. Опишите систему обозначений внутренней симметрии тензоров (символику Яна). 9. Какие соответствия между тензорами устанавливают соотношения дуальности? 10. Дайте определение внешней симметрии тензора. 11. Для кристаллов каких кристаллографических точечных групп допустимы свойства, описываемые тензорами а) четного, б) нечетного типа? 12. Какие поверхности используются для изображения тензоров и псевдотензоров произвольного ранга? 13. Какие методы позволяют определить вид тензоров для кристаллографических групп различной симметрии? 14. Как теорема Германа применяется для определения внешней симметрии тензоров? 15. Как связаны такие свойства кристаллов, как симметрия и анизотропия? 16. Для описания симметрии каких физических явлений необходимы предельные группы симметрии? 17. Что такое а) материальный, б) полевой тензор? 18. Как связаны между собой симметрия физических свойств кристаллов и их точечная группа симметрии? 19. Какой из основных постулатов кристаллофизики позволяет определить симметрию кристалла, помещенного в поле с известной симметрией? <p>Теоретические вопросы по разделу 2:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Какие термодинамические потенциалы описывают взаимосвязь теплового, электрического и механического состояний кристалла? 2. Какое термодинамическое состояние кристалла выбирается в качестве его начального состояния? 3. Какие свойства матрицы термодинамических коэффициентов определяют термодинамическую взаимосвязь физических явлений в кристаллах, а также внутреннюю симметрию материальных тензоров? 4. Как находятся поправки к тензорным коэффициентам, измеренным при различных термодинамических условиях? 5. Какой эффект является термодинамическим следствием пирозлектрического эффекта? 6. В кристаллах каких классов симметрии возможен пирозлектрический и электрокалорический эффект? 7. С каким из кристаллофизических явлений связан эффект теплового расширения, если исходить из термодинамической связи физических свойств кристаллов? 8. Как симметрия кристаллов влияет на их диэлектрические свойства? 9. Как определяются компоненты тензора деформаций и тензора напряжений? 10. Подчиняются ли тензоры напряжений и деформаций принципу Неймана? 11. Как записывается закон Гука для анизотропных сред в тензорной и матричной форме? 12. Как определяется вид тензоров коэффициентов упругой податливости и упругой жесткости, инвариантных относительно кристаллографических групп симметрии? 13. Как определяется а) модуль Юнга, б) коэффициент Пуассона для анизотропных сред? 14. Какими уравнениями описывается прямой и обратный
-----	--------------------	--

		<p>пьезоэлектрический эффект?</p> <p>15. Каким уравнением описывается продольный пьезоэлектрический эффект?</p> <p>16. Как определяется вид тензоров пьезомодулей и пьезоэлектрических коэффициентов, инвариантных относительно кристаллографических групп симметрии?</p> <p>17. Кристаллы каких классов симметрии допускают существование пьезоэлектрического эффекта?</p> <p>18. В кристаллах каких классов симметрии возможен пьезоэлектрический эффект, возникающий при всестороннем гидростатическом давлении?</p> <p>Теоретические вопросы по разделу 3:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Чем отличаются операции геометрической симметрии от операций антисимметрии, их матричное представление? 2. Каким образом группы магнитной симметрии кристаллов могут быть получены из кристаллографических точечных групп? 3. Какими группами магнитной симметрии характеризуется а) электрический заряд, б) напряженность электрического поля, в) напряженность магнитного поля? 4. Как определяются группы антисимметрии материальных тензоров нечетного типа? 5. Каким образом кристаллы с различными магнитными свойствами распределяются по точечным и пространственным группам магнитной симметрии? 6. По какому закону преобразуются тензоры, определенные на расширенной ортогональной группе? 7. Каким образом задача об определении вида тензоров, инвариантных относительно групп магнитной симметрии, может быть сведена к задаче об определении вида тензоров, инвариантных относительно кристаллографических групп симметрии? 9. Какой вид имеют уравнения состояния кристаллов при учете магнитных эффектов? 10. В кристаллах каких классов магнитной симметрии возможен пиромагнитный и линейный магнитокалорический эффект? 11. Кристаллы каких классов магнитной симметрии допускают существование пьезомагнитного эффекта? 12. Кристаллы каких классов магнитной симметрии допускают существование прямого и обратного магнитоэлектрического эффекта? <p>Теоретические вопросы по разделу 4:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Охарактеризуйте распространение электромагнитных волн в прозрачных кристаллах. 2. В чем заключается принцип двойственности? 3. Как с помощью оптической индикатрисы определить поляризацию и показатели преломления электромагнитных волн, распространяющихся в кристаллах? 4. Как с помощью эллипсоида Френеля определить поляризацию и показатели преломления лучей, распространяющихся в кристаллах? 5. Какие по симметрии кристаллы называются а) оптически изотропными, б) оптически одноосными, в) оптически двуосными? 6. Каким образом форма и ориентация оптических поверхностей связана с симметрией кристалла? 7. Какой вид имеет уравнение линейного и квадратичного электрооптического эффекта в тензорной и матричной форме записи? 8. Каков закон преобразования тензора электрооптических коэффициентов и тензора коэффициентов Керра? 9. В кристаллах каких классов симметрии невозможен линейный электрооптический эффект? 10. Каково соотношение между электрооптическими коэффициентами механически свободного и механически зажатого кристалла? 11. Какой вид имеет уравнение пьезооптического и упругооптического эффекта в тензорной и матричной форме записи? 12. Каков закон преобразования тензора пьезооптических коэффициентов и тензора упругооптических коэффициентов?
--	--	--

			<p>13. Какова связь между пьезооптическими и упругооптическими коэффициентами?</p> <p>14. Охарактеризуйте искусственную оптическую одноосность и двуосность кристаллов.</p> <p>15. Каковы характерные отличия искусственной двуосности в одноосных и оптически изотропных кристаллах?</p> <p>16. Каковы условия генерации второй оптической гармоники?</p> <p>17. Как найти направления синхронизма для генерации второй гармоники в одноосных кристаллах?</p> <p>18. Из каких условий определяются направления синхронизма для оптически положительных и оптически отрицательных одноосных кристаллов?</p> <p>19. Кристаллы какой симметрии пригодны для генерации второй гармоники?</p> <p>20. Охарактеризуйте распространение электромагнитных волн в кристаллах, допускающих оптическую активность.</p> <p>21. Кристаллы каких классов симметрии допускают оптическую активность?</p> <p>22. Охарактеризуйте распространение электромагнитных волн в слабо оптически активных кристаллах.</p>
5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.)			
Код работы	Название работы	Проверяемые индикаторы компетенций	Содержание работы
P1	Практическое занятие 1 Матричное представление кристаллографических групп симметрии. Построение таблицы группового умножения	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	Определение матричного представления кристаллографических групп симметрии. Построение таблицы группового умножения
P2	Практическое занятие 2 Собственные векторы и собственные значения симметричного тензора второго ранга. Внешняя симметрия тензора второго ранга. Характеристические и указательные поверхности тензора второго ранга	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1	Вычисление собственных векторов и собственных значений симметричного тензора второго ранга. Определение внешней симметрии тензора второго ранга. Построение характеристических и указательных поверхностей тензора второго ранга
P3	Практическое занятие 3 Принцип симметрии в кристаллофизике. Принципы Кюри и Неймана	ПК-1-31;ПК-1-У1;ОПК-1-В1	Решение задач с использованием принципов Кюри и Неймана

P4	Практическое занятие 4 Свойства кристаллов, описываемые тензором второго ранга. Экстремальные значения свойств кристаллов, описываемых тензором второго ранга	ОПК-1-31;ПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В2	Расчет свойств кристаллов, описываемых тензором второго ранга. Нахождение экстремальных значений свойств кристаллов, описываемых тензором второго ранга
P5	Практическое занятие 5 Упругие деформации в кристаллах. Матрицы коэффициентов упругой податливости для кристаллов различной симметрии. Простые напряженные состояния	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В2	Расчет упругих деформаций в кристаллах. Определение вида матрицы коэффициентов упругой податливости для кристаллов различной симметрии. Анализ простых напряженных состояний кристалла
P6	Практическое занятие 6 Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект. Матрицы пьезоэлектрических модулей для кристаллов различной симметрии	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ПК-1-31;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Расчет тензорных коэффициентов прямого и обратного пьезоэлектрического эффекта. Определение вида матрицы пьезоэлектрических модулей для кристаллов различной симметрии
P7	Практическое занятие 7 Матричное представление кристаллографической точечной группы магнитной симметрии. Построение таблицы группового умножения	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2	Определение матричного представления кристаллографической точечной группы магнитной симметрии. Построение таблицы группового умножения
P8	Практическое занятие 8 Пьезомагнитный и магнитоэлектрический эффекты в магнитных кристаллах различной симметрии	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ПК-1-31;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Расчет тензорных коэффициентов пьезомагнитного и магнитоэлектрического эффектов в магнитных кристаллах различной симметрии

P9	Практическое занятие 9 Поляризация световых лучей. Двулучепреломление в кристаллах. Расчет угла между лучом и направлением волновой нормали световой волны	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В2	Расчет характеристик распространения электромагнитных волн в кристаллах
P10	Практическое занятие 10 Линейный и квадратичный электрооптический эффект. Матрицы коэффициентов линейного и квадратичного электрооптического эффекта для кристаллов различной симметрии. Продольный и поперечный пьезооптический эффект. Матрицы пьезооптических и упругооптических постоянных для кристаллов различной симметрии	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ПК-1-31;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Расчет тензорных коэффициентов линейного и квадратичного электрооптического эффекта. Определение вида матрицы коэффициентов линейного и квадратичного электрооптического эффекта для кристаллов различной симметрии. Расчет продольного и поперечного пьезооптического эффекта. Определение вида матрицы пьезооптических и упругооптических постоянных для кристаллов различной симметрии
P11	Практическое занятие 11 Генерация световых гармоник. Направления синхронизма	ОПК-1-31;ОПК-1-У1;ОПК-1-У2;ОПК-1-В1;ОПК-1-В2;ПК-1-31;ПК-1-У1;ПК-1-В1	Расчет параметров генерации световых гармоник
P12	Практическое занятие 12 Вращение плоскости поляризации. Тензор гирации для кристаллов различной симметрии	ПК-1-31;ПК-1-У1;ПК-1-В1;ОПК-1-В1	Расчет характеристик распространения электромагнитных волн в оптически активных кристаллах. Определение вида тензора гирации для кристаллов различной симметрии

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

По дисциплине предусмотрен экзамен.

Экзаменационный билет состоит из 5 вопросов:

Вопрос 1 - вопрос по теории разделов 1, 2.

Вопрос 2 - вопрос по теории разделов 3, 4.

Вопрос 3 - задача по разделам 1, 2.

Вопрос 4 - задача по разделу 3.

Вопрос 5 - задача по разделу 4.

Задачи в экзаменационном билете являются типовыми, подобные задачи обучающийся решает при выполнении практических и контрольных работ дисциплины.

Типовые вопросы экзамена приведены в вопросах для самостоятельной подготовки.

Пример экзаменационного билета размещен в приложении к РПД.

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

По курсу предусмотрен экзамен.

Оценка «отлично» - обучающийся показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала.

Оценка «хорошо» - обучающийся показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал.

Оценка «удовлетворительно» - обучающийся показывает знания в объеме пройденной программы, ответы излагает хотя и с ошибками, но уверенно исправляет их после дополнительных и наводящих вопросов, правильно действует по применению знаний на практике.

Оценка «неудовлетворительно» - обучающийся допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

Оценка «неявка» – обучающийся на экзамен не явился.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Сиротин Ю. И., Шаскольская М. П.	Основы кристаллофизики: Учеб. пособие для физ. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Наука, 1979

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Шаскольская М. П.	Кристаллография: учеб. пособие для студ. высш. техн. учеб. заведений	Библиотека МИСиС	М.: Высш. шк., 1984
Л2.2	Васильев Д. М.	Физическая кристаллография: Учеб. пособие для студ. металлург. спец. вузов	Библиотека МИСиС	М.: Металлургия, 1981

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Переломова Наталья Владиславовна, Тагиева Марианна Мамедовна, Пархоменко Юрий Николаевич	Кристаллофизика: сборник задач с решениями	Электронная библиотека	М.: Изд-во МИСиС, 2013

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Тензорные методы в кристаллофизике	https://lms.misis.ru/
----	------------------------------------	---

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	LMS Canvas
П.2	Microsoft Office
П.3	MS Teams

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

И.1	Бесплатная электронная библиотека "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" http://window.edu.ru/
-----	--

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus

Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Проведение лекций и практических занятий осуществляется исключительно в аудиториях, обеспеченных мультимедийным оборудованием, с возможностью показа презентаций и видеофильмов.

Лекционные занятия нацелены на изучение студентами общих вопросов кристаллофизики.

Практические занятия нацелены на практическое изучение электрических, упругих, пьезоэлектрических, оптических и магнитных свойств кристаллов, решение экстремальных задач кристаллофизики.

Проведение аудиторных занятий предусматривает использование в учебном курсе активных и интерактивных технологий:

- проведение лекций с использованием интерактивных и мультимедийных технологий (презентация в формате MS PowerPoint);

- проведение практических занятий с использованием интерактивных технологий (система компьютерной алгебры Maxima).

Дисциплина относится к точным наукам и требует значительного объема самостоятельной работы. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей и рубежной аттестации.

Подготовка к контрольным работам проводится в часы самостоятельной работы и, при необходимости, в часы консультаций лектора.

По курсу предусмотрен экзамен.

Материалы курса (презентации лекций, рекомендуемая литература и др.) выложены в системе LMS Canvas.