

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Сердитова Наталья Евгеньевна
Должность: проректор по образовательной деятельности
Дата подписания: 25.08.2025 16:35:17
Уникальный программный ключ:
6cb002877b2a1ea640fdebb0cc541e4e05322d13

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

Утверждаю:

Руководитель ООП

Е.В. Барабанова



«26» июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

Физика кристаллов

Закреплена за
кафедрой:

Прикладной физики

Направление
подготовки:

03.03.03 Радиофизика

Направленность
(профиль):

**Материалы и устройства радиоэлектроники
(беспилотные системы, программно-аппаратные
комплексы, системы автоматизированного
проектирования)**

Квалификация:

Бакалавр

Форма обучения:

очная

Семестр:

7,8

Программу составил(и):

канд. физ.-мат. наук, доц., Третьяков С. А.

Тверь, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Цели освоения дисциплины (модуля):

Целью освоения дисциплины является:

Кристаллофизика: Обучение теории и практики симметричного подхода к анализу физических свойств кристаллических и аморфных веществ, теоретическому определению возможностей обнаружения определенных физических свойств в новых твердокристаллических материалах; углубленное изучение теории и практики роста монокристаллов и наноструктур на основе сочетания неравновесной термодинамики и учения о симметрии. Умение работать с компьютерными моделями кристаллических решеток и их сравнение с натуральными моделями. Правильное понимание неравновесной термодинамики в области физики кристаллизации. Умение обращаться с уравнениями и трактовать их с позиций тензорного исчисления.

Кристаллооптика: Целями освоения дисциплины являются изучение особенностей получения, структуры, ее дефектов и свойств кристаллов, используемых в лазерной и нелинейной оптике, а также в электрооптике и акустооптике.

Задачи:

Кристаллофизика:

- приобретение навыков в решении кристаллофизических задач с точки зрения неравновесности систем кристаллизации.
- привить умение тензорного описания свойств, правильного понимания тензорных систем, определение различий между полевыми и материальными тензорами. Применение этих знаний в практике.
- освоение методов выращивания кристаллов, предназначенных для устройств квантовой и нелинейной оптики;
- приобретение опыта в исследованиях типичных структурных дефектов, характерных для монокристаллов, выращиваемых из расплава.

Кристаллооптика: - освоение методов выращивания кристаллов, предназначенных для устройств квантовой и нелинейной оптики;

- приобретение опыта в исследованиях типичных структурных дефектов, характерных для монокристаллов, выращиваемых из расплава.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Цикл (раздел) ОП: Б1.В

Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Физическая кристаллография

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

Распространение электромагнитных волн

Материаловедение электронной техники

Квантовая радиофизика

Преддипломная практика

Аэро- и гидродинамика

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость	5 ЗЕТ
Часов по учебному плану	180
в том числе:	
аудиторные занятия	104
самостоятельная работа	49
часов на контроль	27

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

ПК-3.1: Осуществляет анализ радиоматериалов и материалов для создания несущих конструкций радиэлектронных средств

ПК-4.1: Осуществляет сбор, обработку, анализ и обобщение передового отечественного и международного опыта в соответствующей области исследований

ПК-4.2: Применяет методы анализа научно-технической информации

ПК-4.3: Оформляет результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

ПК-4.4: Решает аналитические задачи в области физического материаловедения

УК-1.1: Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие

УК-1.2: Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи

5. ВИДЫ КОНТРОЛЯ

Виды контроля в семестрах:	
экзамены	8
зачеты	7

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 раздел. Кристаллофизика. 1. Симметрия физических свойств кристаллов. 1.1. Предельные группы. Соподчиненность групп симметрии. 1.2. Влияние симметрии на свойства кристаллов. Принципы Неймана и Кюри. 1.3. Матричные представления в теории симметрии. Характеры. Сокращенные формы записи. 1.4. Скалярные свойства кристаллов. Тензорные свойства. Группы симметрии физических свойств.					

1.1	5.1. Предельные группы. Сопод-чиненность групп симметрии. 5.2. Влияние симметрии на свойства кристаллов. Принципы Неймана и Кюри. 5.3. Матричные представления в теории симметрии. Характеры. Сокращенные формы записи. 5.4. Скалярные свойства кристаллов. Тензорные свойства. Группы симметрии физических свойств.	Лек	7	6		
1.2	5.1. Предельные группы. Сопод-чиненность групп симметрии. 5.2. Влияние симметрии на свойства кристаллов. Принципы Неймана и Кюри. 5.3. Матричные представления в теории симметрии. Характеры. Сокращенные формы записи. 5.4. Скалярные свойства кристаллов. Тензорные свойства. Группы симметрии физических свойств.	Ср	7	10		
	Раздел 2. 2 раздел. Кристаллофизика. 2. Оптические свойства кристаллов. 2.1. Оптические характеристики кристаллов. Пропускание кристаллических сред в различных областях спектра. 2.2. Виды оптических поверхностей. Математические формы описания оптических поверхностей. 2.3. Гиротропия. Двойное луче-преломление. Определение угла поворота плоскости поляризации.					

2.1	6.1. Оптические характеристики кристаллов. Пропускание кристаллических сред в различных областях спектра. 6.2. Виды оптических поверхностей. Математические формы описания оптических поверхностей. 6.3. Гиротропия. Двойное луче-преломление. Определение угла поворота плоскости поляризации.	Лек	7	6		
	Раздел 3. 3 раздел. Кристаллизация. Фазовые переходы. Гомогенные и гетерогенные системы.					
3.1	Кристаллизация. Фазовые переходы. Гомогенные и гетерогенные системы	Лек	7	2	Л1.1 Л1.3	
3.2	Изучение пространственной структуры кристаллов кубической и тетрагональной сингонии	Лаб	7	6		
	Раздел 4. 4 раздел. Термодинамика процесса кристаллизации					
4.1	Термодинамика процесса кристаллизации	Лек	7	2		
	Раздел 5. 5. Механизмы роста кристаллов					
5.1	Механизмы роста кристаллов: послойный и нормальный. Правило Кюри-Вульфа. Зональность и секториальность	Лек	7	2		
	Раздел 6. 6 раздел. Морфологические особенности реальных кристаллов					
6.1	Морфологические особенности реальных кристаллов. Факторы, влияющие на форму кристаллов. Формы кристаллов. Скульптура граней	Лек	7	2		
6.2	выращивание сложных форм кристаллов под микроскопом	Лаб	7	4		
	Раздел 7. 7 раздел. Дефекты в кристаллах.					
7.1	Дефекты в кристаллах. Причины возникновения. Пластическая деформация. Методы исследования	Лек	7	2		
7.2	Определение плотности дислокаций в кристаллах	Лаб	7	6		
7.3	Определение плотности дислокаций в кристаллах	Ср	7	4		

	Раздел 8. 8 раздел. Механические свойства кристаллов.					
8.1	Механические свойства кристаллов. Спайность. Твердость. Прочность. Хрупкость	Лек	7	2		
8.2	Определение микротвердости кристаллов германия методом Виккерса	Лаб	7	4		
	Раздел 9. 9 раздел. Примеси в кристаллах. Легирование					
9.1	Примеси в кристаллах. Электрически активные, изовалентные примеси, модификаторы. Легирование, объемное и поверхностное.	Лек	7	2		
9.2	Измерение электрофизических свойств полупроводниковых кристаллов	Лаб	7	2		
	Раздел 10. 10 раздел. Кристаллооптика. 2. Лазерные кристаллы. Поглощение и усиление света. Оптический резонатор. Пороговые условия для усиления света в импульсном и непрерывном режиме. Энергетические активаторы. Тепловые свойства кристаллов и предъявляемые к ним требования.					
10.1	Поглощение и усиление света. Оптический резонатор. Пороговые условия для усиления света в импульсном и непрерывном режиме. Энергетические активаторы. Тепловые свойства кристаллов и предъявляемые к ним требования.	Лек	8	3	Л1.2	
10.2	Поглощение и усиление света. Оптический резонатор. Пороговые условия для усиления света в импульсном и непрерывном режиме. Энергетические активаторы. Тепловые свойства кристаллов и предъявляемые к ним требования.	Ср	8	6	Л1.2	
10.3	Двулучепреломление в кристаллах.	Лаб	8	6	Л1.2	

	Раздел 11. 11 раздел. Кристаллооптика. 3. Кристаллы оксиды и фториды. Кристаллы соединений, выращиваемые в системе окись иттрия, окись алюминия. Кристаллические среды для высоко-эффективных неодимовых лазеров. Свойства галлиевых гранатов, их выращивание и ростовые дефекты. Разупорядочение и центры окраски. Кристаллы фторидов					
11.1	Кристаллы соединений, выращиваемые в системе окись иттрия, окись алюминия. Кристаллические среды для высоко-эффективных неодимовых лазеров. Свойства галлиевых гранатов, их выращивание и ростовые дефекты. Разупорядочение и центры окраски. Кристаллы фторидов	Лек	8	3	Л1.2	
11.2	Кристаллы соединений, выращиваемые в системе окись иттрия, окись алюминия. Кристаллические среды для высоко-эффективных неодимовых лазеров. Свойства галлиевых гранатов, их выращивание и ростовые дефекты. Разупорядочение и центры окраски. Кристаллы фторидов	Ср	8	4	Л1.2	
11.3	Оптические потери во внутреннем объеме материала	Лаб	8	8	Л1.2	
	Раздел 12. 12 раздел. Кристаллооптика. 4. Кристаллы для лазеров с перестраиваемой частотой. Александрит. Корунд с титаном. Центры окраски активаторы лазерных кристаллов. Дефекты лазерных кристаллов, возникающие при пластической деформации-дислокации, двойникование					

12.1	Александрит. Корунд с титаном. Центры окраски активаторы лазерных кристаллов. Дефекты лазерных кристаллов, возникающие при пластической деформации-дислокации, двойникование	Лек	8	3	Л1.2	
12.2	Александрит. Корунд с титаном. Центры окраски активаторы лазерных кристаллов. Дефекты лазерных кристаллов, возникающие при пластической деформации-дислокации, двойникование	Ср	8	3	Л1.2	
	Раздел 13. 13 раздел. Кристаллооптика. 5. Кристаллы для проходной оптики мощных лазеров. Собственные механизмы оптического разрушения. Несобственные механизмы оптического разрушения поверхности и в объёме. Оптическая прочность в сфокусированных и широкоапертурных пучках. Возможности повышения оптической прочности.					
13.1	Собственные механизмы оптического разрушения. Несобственные механизмы оптического разрушения поверхности и в объёме. Оптическая прочность в сфокусированных и широкоапертурных пучках. Возможности повышения оптической прочности.	Лек	8	3	Л1.2	
13.2	Собственные механизмы оптического разрушения. Несобственные механизмы оптического разрушения поверхности и в объёме. Оптическая прочность в сфокусированных и широкоапертурных пучках. Возможности повышения оптической прочности.	Ср	8	3	Л1.2	
13.3	Влияние поверхности кристалла на оптическую индикатрису.	Лаб	8	6	Л1.2	

	Раздел 14. 14 раздел. Кристаллооптика. 6. Линейный электрооптический эффект. Уравнение электрооптического эффекта. Поляризационнооптические затворы и модуляторы света. Элек-трооптические затворы на регулярной доменной структуре.					
14.1	Уравнение электрооптического эффекта. Поляризационнооптические затворы и модуляторы света. Элек-трооптические затворы на регулярной доменной структуре.	Лек	8	4	Л1.2	
14.2	Уравнение электрооптического эффекта. Поляризационнооптические затворы и модуляторы света. Элек-трооптические затворы на регулярной доменной структуре.	Ср	8	3	Л1.2	
	Раздел 15. 15 раздел. Кристаллооптика. 7. Распространение света в нелинейных оптических средах. Интенсивность взаимодействующих лучей. Реализация условий синхронизма. Эффективные коэффициенты нелинейности. Рассогласование фаз взаимодействующих волн.					
15.1	Интенсивность взаимодействующих лучей. Реализация условий синхронизма. Эффективные коэффициенты нелинейности. Рассогласование фаз взаимодействующих волн.	Лек	8	4	Л1.2	
15.2	Интенсивность взаимодействующих лучей. Реализация условий синхронизма. Эффективные коэффициенты нелинейности. Рассогласование фаз взаимодействующих волн.	Ср	8	5	Л1.2	
15.3	Интерференция проходящего оптического излучения.	Лаб	7	4	Л1.2	

	Раздел 16. 16 раздел. Кристаллооптика. 10. Кристаллические элементы интегральной оптики. Оптические волноводы, их свойства и характеристики. Условия отсечки. Распространение оптических волн в плоском волноводе. Потери в волноводе.					
16.1	Оптические волноводы, их свойства и характеристики. Условия отсечки. Распространение оптических волн в плоском волноводе. Потери в волноводе.	Лек	8	3	Л1.2	
16.2	Акустооптическая ячейка.	Лаб	8	6	Л1.2	
16.3	Оптические волноводы, их свойства и характеристики. Условия отсечки. Распространение оптических волн в плоском волноводе. Потери в волноводе.	Ср	7	6		
	Раздел 17. 17 раздел. Кристаллооптика. 11. Методы получения волноводов. Диффузионная технология. Выбор кристаллов, подготовка поверхности, диффузионный отжиг. Получение оптических волноводов методом протонного замещения. Получение оптических волноводов с помощью ионной имплантации.					
17.1	Диффузионная технология. Выбор кристаллов, подготовка поверхности, диффузионный отжиг. Получение оптических волноводов методом протонного замещения. Получение оптических волноводов с помощью ионной имплантации.	Лек	8	3	Л1.2	
17.2	Диффузионная технология. Выбор кристаллов, подготовка поверхности, диффузионный отжиг. Получение оптических волноводов методом протонного замещения. Получение оптических волноводов с помощью ионной имплантации.	Ср	8	5	Л1.2 Л1.3	

	Раздел 18. экзамен					
18.1		Экзамен	8	27		

Список образовательных технологий

1	Активное слушание
2	Методы группового решения творческих задач (метод Дельфи, метод 6–6, метод развивающей кооперации, мозговой штурм (метод генерации идей), нетворкинг и т.д.)

8. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

8.1. Оценочные материалы для проведения текущей аттестации

см. приложение 1

8.2. Оценочные материалы для проведения промежуточной аттестации

Задание:

1. Рассчитать плотность дислокаций на монокристалле германия
2. Проанализировать спектр пропускания монокристалла германия и определить показатель поглощения
3. определить наличие полярных свойств кристалла с помощью таблицы классов кристаллов
4. определить наличие аксиальных свойств кристалла с помощью таблицы классов кристаллов
5. Решить задачу на умножение матриц, описывающих двойную поворотную ось и перпендикулярную к ней плоскость симметрии.

Способ аттестации: письменный

Критерии оценки:

- Тема раскрыта с опорой на соответствующие понятия и теоретические положения – 4 балла
- Аргументация на теоретическом уровне неполная, смысл ряда ключевых понятий не объяснен – 1 балл
- Терминологический аппарат непосредственно не связан с раскрываемой темой – 0 баллов
- Факты и примеры в полном объеме обосновывают выводы – 3 балла
- Допущена фактическая ошибка, не приведшая к существенному искажению смысла – 2 балла
- Допущены фактические и логические ошибки, свидетельствующие о непонимании темы – 0 баллов

8.3. Требования к рейтинг-контролю

Изучение спецкурса в 7 семестре заканчивается зачетом.

На первый модуль отводится 40 баллов, которые распределяются следующим образом:

- текущий контроль – до 35 баллов;
- рубежный контроль – 5 баллов.

На второй модуль отводится 60 баллов, которые распределяются следующим образом:

- текущий контроль – до 55 баллов;
- рубежный контроль – 5 баллов.

Дисциплина в 8 семестре заканчивается экзаменом. Количество баллов, отводимых на семестр - 60:

модульные контрольные работы - по 10 баллов

текущая работа, выполнение домашних заданий - 40 баллов

На экзамен выносятся 40 баллов.

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

9.1. Рекомендуемая литература

9.1.1. Основная литература

Шифр	Литература
Л1.1	Бембель А. Г., Зубов Е. Г., Зубков, Термодинамические модели плавления и кристаллизации малых частиц, , ISBN: , URL: http://eprints.tversu.ru/751/
Л1.2	Колесников, Учебно-методический комплекс по дисциплине "Физическая акустика и кристаллооптика", Тверь, 2012, ISBN: , URL: http://texts.lib.tversu.ru/texts2/04342umk.pdf
Л1.3	Земсков Ю. П., Ткаченко Ю. С., Лихачева Л. Б., Квашнин Б. Н., Материаловедение, Воронеж: ВГУИТ, 2013, ISBN: 978-5-89448-972-8, URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72035

9.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	Физика кристалла: https://www.iprbookshop.ru/136333.html
----	---

9.3.1 Перечень программного обеспечения

1	Adobe Acrobat Reader
2	Google Chrome
3	Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows
4	WinDjView
5	OpenOffice
6	Origin 8.1 Sr2

9.3.2 Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1	ЭБС «Лань»
2	ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
3	ЭБС «ZNANIUM.COM»

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Аудит-я	Оборудование
3-28	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, экран настенный
3-25	комплект учебной мебели, компьютеры, осциллограф, принтеры, спектрометр, микроскоп, дифрактометр рентгеновский, электронно-оптический комплекс,

3-41	комплект учебной мебели, принтер, компьютеры
3-218a	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, проектор, микроскоп, спектрофотометр
3-36	комплект учебной мебели, переносной ноутбук, комплект ИК спектрального оборудования, весы тензометрические, прибор для измерения удельного

11. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Приложение 2.

ФИЗИКА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

Номер задания	Правильный ответ (ключ)	Содержание вопроса/задания	Критерии оценивания заданий
Задания закрытого типа			
1	Правильный ответ (ключ) 1. Агрегатное состояние 8. Фазовый состав	<i>К структурным особенностям не относятся:</i> - Наличие упорядочения в расположении атомов - Агрегатное состояние - Тип кристаллической структуры для кристаллов или наличие ближнего порядка (для аморфных тел). - Точечные и линейные дефекты в твердом теле (вакансии, дислокации и т.д.). - Макродефекты (поры, границы зерен) - Макрокристаллическая структура (монокристалл, поликристалл, текстурированный материал). - Фазовый состав	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
2	Правильный ответ (ключ) 1. Объем 3. Внутренняя энергия 5. энтропия	<i>При фазовом переходе I рода скачкообразно изменяются параметры</i> - Объем - теплоемкость - внутренняя энергия - энтропия - симметрия	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
3	Правильный ответ (ключ) 2. Переход жидкого гелия в сверхтекучее состояние 3. Переход ферромагнитных веществ в парамагнитные	<i>Примеры фазовых переходов второго рода</i> - Кристаллизация - Переход жидкого гелия в сверхтекучее состояние - Переход ферромагнитных веществ в парамагнитные - Сублимация - Плавление	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
4	Правильный ответ (ключ) 1. Соотношение между скоростью образования зародышей и скоростью их роста 4. Введение в пересыщенный раствор затравки 5. Перемешивание системы	<i>Факторы, влияющие на размер кристаллов</i> - Соотношение между скоростью образования зародышей и скоростью их роста - Отжиг и закалка - Введение в пересыщенный раствор затравки - Снижение давления - Перемешивание системы	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл

5	Правильный ответ (ключ) 1.Двумерными зародышами 2.Трехмерными зародышами 3.Дислокационным механизмом роста	<i>Послойный (тангенциальной) рост кристаллоов осуществляется</i> 1. Двумерными зародышами 2. Трехмерными зародышами 3. Безмерными зародышами 4. Дислокационным механизмом роста 5. Вакансионным механизмом роста	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
6	Правильный ответ (ключ) 1.Выделением теплоты 2.Поглощением теплоты 4. Изменение объема	<i>Фазовый переход I рода сопровождается</i> 1.Выделением теплоты 2.Поглощением теплоты 3.Изменением симметрии 4.Изменением объема	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
7	Правильный ответ (ключ) 2.Изменением теплоемкости 3.Изменением симметрии	<i>Фазовый переход II рода сопровождается</i> 1.Выделением теплоты 2.Изменением теплоемкости 3.Изменением симметрии 4.Изменением объема	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
8	Правильный ответ (ключ) 1.область повышенной концентрации примесных атомов вокруг линии краевой дислокации	<i>Атмосфера Коттрелла</i> 1.область повышенной концентрации примесных атомов вокруг линии краевой дислокации 2.область взаимодействия краевой и винтовой дислокаций 3. область повышенной концентрации раствора или расплава	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
9	Правильный ответ (ключ) 1.это число линий дислокаций, пересекающих единичную площадку в кристалле	<i>Плотность дислокаций</i> 1.это число линий дислокаций, пересекающих единичную площадку в кристалле 2.это число линий дислокаций, пересекающих поверхность в кристалле 3.это число ямок травления, пересекающих единичную площадку в кристалле	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл
10	Правильный ответ (ключ) 1. это закономерное непараллельное срастание кристаллических индивидов одного минерала, связанных друг с другом осевой или зеркальной симметрией.	<i>Двойникование кристаллов</i> 1.это закономерное непараллельное срастание кристаллических индивидов одного минерала, связанных друг с другом осевой или зеркальной симметрией. 2.это закономерное параллельное срастание кристаллических индивидов одного минерала, связанных друг с другом осевой симметрией. 3.это случайное срастание кристаллических индивидов одного минерала, связанных друг с другом осевой или зеркальной симметрией.	Правильно выбран вариант ответа – 1 балл

Задания открытого типа		
1	Принцип Браве (рост граней кристалла)	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) грани кристалла растут со скоростями, обратно пропорциональными плотностям их узловых сеток (ретикулярным плотностям граней).		
2	Термодинамическое условие кристаллизации	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) Кристаллизация протекает в условиях, когда система переходит к термодинамическому более устойчивому состоянию с меньшей свободной энергией		
3	Связь между эффективным K и равновесным K_0 коэффициентами распределения примеси	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) $K(V) = \frac{K_0}{K_0 + (1 - K_0) \exp(-\Delta)}$ Где Δ — безразмерная величина, называемая приведенной скоростью кристаллизации		
4	Атомно-гладкие грани кристаллов	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) Грани, обладающие большой ретикулярной плотностью, малыми индексами Миллера, плотность изломов близка к нулю, растут с малыми скоростями		
5	Атомно-шероховатые грани кристаллов	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) Грани, обладающие малой ретикулярной плотностью, большими индексами Миллера, большая плотность изломов, растут с большими скоростями		
6	Отличие кристаллических тел от аморфных	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) Дальний порядок, анизотропия свойств, строго определенная температура плавления		
7	Первичная кристаллизация	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) Процесс образования кристаллов (кристаллической решетки) из жидкой фазы называется первичной кристаллизацией .		
8	Вторичная кристаллизация	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) Вторичной кристаллизацией называется процесс, в результате которого происходит полная замена одной кристаллической структуры на другую (аллотропическое превращение) или частичное изменение структуры (выделение новой фазы из твердого раствора при изменении его концентрации)		
9	Скульптура граней	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) Скульптура граней — дефекты плоскостей граней, создающие определенный рисунок и рельеф на гранях кристаллов (неровности, вихунали, итрихованность, фигуры травления).		

10	Пластическая деформация	Правильный ответ – 1 балл
Правильный ответ (ключ) Пластическая деформация сопровождается необратимыми смещениями атомов на значительные расстояния от исходных положений равновесия		

Предметом оценки является подготовка студентов к занятиям, работа студентов на практических занятиях, выполнение ими тестовых заданий.

Оценки успеваемости студентов проходит в модульную неделю в соответствии с графиком учебного процесса.

Практические задания по демонстрации компетенций заключаются в устных или письменных ответах на поставленные преподавателем или составленным самими студентами вопросы (традиционные или в форме тестов). При этом оценивается обоснованность ответа, ясность и последовательность изложения мысли. Такая демонстрация компетенций проверяет уровень владения теоретическим и практическим материалом.

Промежуточный контроль

Типовые тесты

1. Решение задачи о взаимодействии двух групп симметрии, описывающих физические свойства и взаимодействия.

1. Решение должно исключить несовпадающие операции симметрии

2. Итоговая группа составляется из тождественных операций симметрии.

3. Решение задачи основывается только на экспериментальных данных.

4. Итоговая группа симметрии является надгруппой итога умножения групп-сомножителей.

2. Что собой представляют чёрнобелые группы симметрии.

1. Произвольное сочетание серых и белых операций симметрии.

2. Сочетание, основанное на операциях перемножения элементов различных цветов.

3. Чёрнобелая группа выводится с помощью классических теорем о взаимодействии операций симметрии с учетом характеристик этих операций.

4. Чёрнобелые операции симметрии и основанные на них группы выведены в результате математических кристаллографических операций, а принадлежность кристалла к группе определяется его физическими свойствами.

3. Как определить наличие полярных свойств кристалла с помощью таблицы классов кристаллов?

1. Все кристаллы, не имеющие центра симметрии.
2. Кристаллы аксиальных и инверсионно-примитивных групп.
3. Кристаллы, подчиняющиеся предельной группе симметрии ∞m .
4. Кристаллы, подчиняющиеся предельной группе симметрии ∞m могут иметь полярные свойства, но могут и не иметь их.

4. Как определить наличие аксиальных свойств кристалла с помощью таблицы классов кристаллов?

1. Все аксиальные группы кристаллов.
2. Все полярные группы кристаллов.
3. Аксиальные и центральные группы кристаллов.
4. Группы кристаллов, подчинённые предельной группе $\frac{\infty}{m}$ (но они могут и не иметь аксиальных свойств).

Типовые контрольные:

1. Оптическая индикатриса для кристаллов средней категории – это сфера.
2. Рассеивающий материей для рентгеновского излучения является ядерная плотность.
3. Размерность вектора $\bar{S}$ – обратная длина (L-1).
4. При оптической накачке в случае малых коэффициентов поглощения света наибольшая плотность энергии наблюдается в поверхностных слоях стержня.
5. Спектральная плотность излучения АЧТ зависит только от длины волны λ .
6. В методе коноскопии используется параллельный пучок света, падающий на исследуемый кристалл.
7. Удвоение частоты – это трехфотонный непараметрический процесс.
8. Если a_1 – параметр ячейки, a_2^* – вектор обратной решетки для соответствующей координатной плоскости, то $a_1 \cdot a_2^* = 1$

Вариант 2

1. Точки на рентгенограммах, полученных методом Лауэ – это проекции атомов.

2. $\frac{d^2 A}{dt^2} = -(ck)^2 A$ - это уравнение Гельмгольца.

3. Эффект сложения частоты $\omega = \omega_1 + \omega_2$ – это трехфотонный параметрический процесс.

4. При четырехуровневой схеме накачки инверсию населенностей получить легче, чем при трехуровневой.

5. Изохромы кристаллов триклинной сингонии – это окружности.

6. Оптическая индикатриса двuosных кристаллов представляет собой эллипсоид вращения..

7. Коэффициент ослабления рентгеновского излучения $\mu(I = I_0 e^{-\mu x})$ пропорционален атомному номеру элемента Z : $\mu \sim Z$.

9. $\bar{a}_1 \bar{a}_3 = 0$ ($\bar{a}_i$ - векторы прямой решетки).

Вариант 3

1. У кристаллов алмаза (кубической структуры) нет оптических осей.

2. Генерация второй гармоники – это нелинейный непараметрический процесс.

3. В формуле для предельного разрешения, даваемого оптической системой, $\delta = 0,61\lambda / \sin u$, u – это угол между осью системы и прямой, проведенной из рассматриваемой точки на край апертурной диафрагмы.

4. Функция ρ_V зависит только от частоты света и температуры (для АЧТ)

5. $\bar{a}_i \bar{a}_k^* = \begin{cases} 0, i = k \\ 1, i \neq k \end{cases}$

6. Изохромы двuosных кристаллов представляют окружности.

7. Исторически – первым лазером был лазер на рубине – $Al_2O_3; Cr^{3+}$

8. В полуклассической теории излучения поле волны квантуется, а атомная система считается подчиняющейся уравнениям Максвелла.

Вариант 4

1. В формуле Вульфа-Брегга ($2d\sin\theta=m\lambda$) угол θ отсчитывается от поверхности кристалла, а не от перпендикуляра к поверхности кристалла.

2. Нерезонансное двухфотонное поглощение – это нелинейный параметрический процесс.

3. Матрица передачи для рассеивающей линзы может иметь вид: $\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0,3 & 1 \end{pmatrix}$.

4. $\bar{a}_1^* \bar{a}_2^* = 0$ (кристалл кубический).

5. Нет такой плоскости в кристалле для которой $\bar{S} = \bar{H}_{hkl} = 0$.

6. Амплитуда рассеяния электронов не зависит от угла рассеяния.

7. Условие фазового согласования (в нелинейных оптических процессах) имеет вид: $\bar{k}_1 + \bar{k}_2 = \bar{k}_0$.

8. Изохромы двуосных кристаллов представляют собой систему концентрических окружностей.

Вариант 5

1. Если векторы $\bar{E}, \bar{D}$ равны друг другу, то вектор $\bar{P}$ равен нулю.

2. Изогиры двуосного кристалла представляют собой темные области, ограниченные гиперболами.

3. В кристаллах любой сингонии $|\bar{a}_i| = |\bar{a}_i^*|^{-1}$

4. $\frac{d^2 A}{dt^2} = -(ck)^2 A$ - это уравнение Гельмгольца

5. Число фотонов в моде для излучения АЧТ при комнатной температуре и в оптическом диапазоне намного меньше единицы $\langle q \rangle \ll 1$

6. Генерация второй гармоники – это двухфотонный параметрический процесс.

7. Условия Лауэ имеют вид:
$$\begin{cases} \bar{a}_1^* \bar{S} = h \\ \bar{a}_2^* \bar{S} = k \\ \bar{a}_3^* \bar{S} = l \end{cases}$$

8. Амплитуда рассеяния нейтронов не зависит от угла рассеяния.

9. Сфера Эвальда имеет в два раза больший радиус, чем сфера ограничения.

10. Показатель преломления рентгеновского излучения меньше единицы.

Вариант 6

1. Если векторы напряженности $\vec{E}$ и индукции $\vec{D}$ равны друг другу, то дипольный момент единицы объема вещества $\vec{P}$ равен нулю.

2. Величина C в матрице $\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}$ передачи оптической системы может быть положительной.

3. Рассеивающей материей для рентгеновского излучения является электростатический потенциал.

4. Амплитуда рассеяния электронов не зависит от угла рассеяния.

5. Оптическая индикатриса кристаллов низшей категории представляет собой эллипсоид вращения.

6. В методе коноскопии на кристалл падает сходящийся пучок неполяризованного излучения.

Итоговый контроль проводится в форме экзамена, который включает письменные или устные ответы на теоретические вопросы.

Вопросы к экзамену

1. Основные свойства кристаллов: однородность, анизотропия, симметрия.
2. Симметрические преобразования: виды равенств, преобразования первого и второго рода.

3. Основы теории групп: единичная операция, квадрат Кели, подгруппа.

4. Типы групп симметрии: одномерные, двумерные, Федоровские.

5. Принцип суперпозиции Кюри.

6. Принцип Неймана.

7. Скалярные свойства кристаллов

8. Тензорные свойства кристаллов.

9. Оптические свойства кристаллов: оптические поверхности, диэлектрическая проницаемость.

10. Магнитная симметрия: серые, чернобелые, белые группы, обращение времени.

11. Симметрия подобия.

12. Частичная симметрия.

13. Предельные группы симметрии.

14. Определение полярных классов кристаллов.
15. Определение аксиальных классов кристаллов.
16. Поляризация.
17. Умножение матриц, описывающих инверсию и плоскость симметрии.
18. Умножение матриц, описывающих взаимно перпендикулярные плоскости симметрии.
19. Умножение матриц, описывающих двойную поворотную ось и перпендикулярную к ней плоскость симметрии.
20. Двойное лучепреломление.
21. Электрооптический эффект.
22. Саморегулирующие процессы в нанотехнологии. Самосборка в объемных материалах. Самосборка при эпитаксии.
23. Основные понятия теории поля. Термодинамическая модель описания систем. Границы применимости неравновесной термодинамики.
24. Балансовые уравнения. Баланс экстенсивных величин.
25. Термодинамика континуума. Термодинамические силы и потоки. Коэффициенты Онсагера-Казимира.
26. Вариационные принципы. Принципы наименьшего рассеяния энергии. Принципы вариационного подхода. Фазовые портреты систем