

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 13.06.2023 09:47:49  
Уникальный программный ключ:  
69e375c64f7e975d4e8830e7b4fcc2ad1bf35f08

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет»

Утверждаю:

Руководитель ООП



Б.Б.Педько

«28» июня 2022 г.

Рабочая программа дисциплины (с аннотацией)

**Физика кристаллов**

Направление подготовки

03.03.03 Радиофизика

профиль

Физика и технология материалов и устройств радиоэлектроники

Для студентов

4 курса, очной формы обучения

Составитель: к.ф.-м.н. Иванова А.И.,

к.ф.-м.н. Третьяков С.А.

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

*Целью освоения дисциплины является:* 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.

*Задачами дисциплины является*

- 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.

### **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Физика кристаллов» изучается в Блоке 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Для успешного освоения дисциплины необходимо знать основы физики твердого тела и молекулярной физики, системы кодификации кристаллов, понятия об обратной решетке, зонах Бриллюэна, ячейках Вагнера-Зейтца.

Дисциплина является основой общего физического практикума, производственной и преддипломной практик.

Профессиональные компетенции, сформированные при изучении данной дисциплины, необходимы для успешной работы обучающегося при выполнении выпускной квалификационной работы.

**3. Объем дисциплины:** 6 зачетных единиц, 216 академических часов, в том числе:

**контактная аудиторная работа:** лекции 41 час, лабораторные работы 56 часов;

**самостоятельная работа:** 119 часов, в том числе контроль 27 часов.

**4. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.	УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие; УК-1.2. Определяет, интерпретирует и ранжирует информацию, требуемую для решения поставленной задачи.
ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы.	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.

**5. Форма промежуточной аттестации и семестр прохождения**

Зачет в 7 семестре, экзамен в 8 семестре.

**6. Язык преподавания:** русский.

**II. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий.**

**1. Для студентов очной формы обучения**

Учебная программа – наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)				Самостоятельная работа, в том числе Контроль (час.)
		Лекции		Лабораторные работы		
		всего	в т.ч. ПП	всего	в т.ч. ПП	
<p><b>1 Кристаллическое состояние вещества.</b></p> <p>1.1. Макроскопическое строение кристаллов. Кристаллофизические характеристики монокристалла и поликристалла. Монокристаллы, поликристаллы, двойники, текстуры.</p> <p>1.2. Микроструктура кристаллов. Кристаллическая решетка и кристаллическая структура.</p> <p>Примеры решеток. Принципиальные отличия структуры и решетки.</p> <p>1.3. Основные свойства кристаллов - однородность, анизотропия, симметрия. Ограничение. Методы описания на примере эллипсоида Френеля. Методы описания свойств кристаллов.</p>	9	4				5
<p><b>2. Теория симметрических преобразований.</b></p> <p>2.1. Симметрия. Основные понятия. Симметрические преобразования. Различия между элементами симметрии и операциями 1 и 2-го рода.</p> <p>2.2. Основные понятия теории групп. Основные аксиомы. Пересечения групп на примере операции скользящего отражения.</p>	11	6				5

<p>2.3. Свойства групп. Произведения групп. Внутренние и внешние произведения.</p> <p>2.4. Кристаллографические группы. Типы групп симметрии. Периодичность в группах симметрии. Федоровские группы. Расширение понятия симметрии. Симметрия живого и неживого.</p>						
<p><b>3. Кристаллографическая символика.</b></p> <p>3.1. Символы групп симметрии. Некристаллографические группы симметрии в теоретической физике.</p> <p>3.2. Классы кристаллов. Точечные и пространственные группы. Плоскостные группы.</p> <p>3.3. Симморфные, гемисимморфные, асимморфные группы. Распределение веществ по Федоровским группам.</p>	11	5				6
<p><b>3. Симметрия волновых функций.</b></p> <p>Малые представления. Правила отбора. Прафазы.</p>	9	4				5
<p><b>5. Симметрия физических свойств кристаллов.</b></p> <p>5.1. Предельные группы. Соподчиненность групп симметрии.</p> <p>5.2. Влияние симметрии на свойства кристаллов. Принципы Неймана и Кюри.</p> <p>5.3. Матричные представления в теории симметрии. Характеры. Сокращенные формы записи.</p> <p>5.4. Скалярные свойства кристаллов. Тензорные свойства. Группы симметрии физических свойств.</p>	10	5				5
<p><b>6. Оптические свойства кристаллов.</b></p> <p>6.1. Оптические характеристики кристаллов. Пропускание кристаллических сред в различных областях спектра.</p>	9	4				5

6.2. Виды оптических поверхностей. Математические формы описания оптических поверхностей.						
6.3. Гиротропия. Двойное лучепреломление. Определение угла поворота плоскости поляризации.						
<b>7. Линейный электрооптический эффект.</b> Уравнение электрооптического эффекта. Поляризационнооптические затворы и модуляторы света. Электрооптические затворы на регулярной доменной структуре.	9	4				5
<b>8. Балансовые уравнения.</b> 7.1 Неравновесная термодинамика. Некоторые понятия теории поля. Границы применимости неравновесной термодинамики. 7.2. Сохранение энтропии. Скорость возрастания энтропии. Нелинейность. Соотношения взаимности	10	5				5
<b>9. Вариационные принципы.</b> Принципы минимального производства энтропии. Принципы наименьшего рассеяния энергии. Фазовые портреты систем. Понятие о синергетике. Самоорганизация	9	4				5
<i>Лабораторные работы</i>						
1. Выявление дислокационной структуры монокристаллов полупроводников. Часть 1. Подготовка кристаллов и селективное травление Часть 2. Оптический метод подсчета плотности дислокаций	14			8		6
2. Изучение пространственной структуры кристаллов кубической сингонии и парателлурита	11			6		5
3 Изучение электрофизических свойств кристаллов	11			6		5
4 Выращивание сложных форм кристаллов под микроскопом.	11			6		5
5. Растровый электронный микроскоп	11			6		5
6. Выращивание монокристаллов методом монокристалльной зонной плавки. Изучение кристаллографии	11			6		5

монокристаллов.						
7. Выращивание монокристаллов методом Чохральского. Морфология кристаллов.	11			6		5
8. Изучение методики зонной очистки и выращивания монокристаллов на установке бестигельной зонной плавки. Изучение кристаллографии монокристаллов.	11			6		5
9. Выращивание кристаллов из растворов и гелей.	11			6		5
Экзамен	27					27
ИТОГО	216	41		56		119

### III. Образовательные технологии

Учебная программах- наименование разделов и тем	Вид занятия	Образовательные технологии
<p><b>1 Кристаллическое состояние вещества.</b></p> <p>1.1. Макроскопическое строение кристаллов. Кристаллофизические характеристики монокристалла и поликристалла. Монокристаллы, поликристаллы, двойники, текстуры.</p> <p>1.2. Микроструктура кристаллов. Кристаллическая решетка и кристаллическая структура. Примеры решеток. Принципиальные отличия структуры и решетки.</p> <p>1.3. Основные свойства кристаллов - однородность, анизотропия, симметрия. Ограничение. Методы описания на примере эллипсоида Френеля. Методы описания свойств кристаллов.</p>	<i>Лекции</i>	<p><i>Активное слушание.</i></p> <p><i>Групповое решение задач.</i></p> <p><i>Дискуссия</i></p>
<p><b>2. Теория симметрических преобразований.</b></p> <p>2.1. Симметрия. Основные понятия. Симметрические преобразования. Различия между элементами симметрии и операциями 1 и 2-го рода.</p> <p>2.2. Основные понятия теории групп. Основные аксиомы. Пересечения групп на примере операции скользящего отражения.</p> <p>2.3. Свойства групп. Произведения групп. Внутренние и внешние произведения.</p> <p>2.4. Кристаллографические группы. Типы групп симметрии. Периодичность в</p>	<i>Лекции</i>	<p><i>Активное слушание.</i></p> <p><i>Групповое решение задач.</i></p> <p><i>Дискуссия</i></p>

<p>группах симметрии. Федоровские группы. Расширение понятия симметрии. Симметрия живого и неживого.</p>		
<p><b>3. Кристаллографическая сим-волика.</b> 3.1. Символы групп симметрии. Некристаллографические группы симметрии в теоретической физике. 3.2. Классы кристаллов. Точечные и пространственные группы. Плоскостные группы. 3.3. Симморфные, гемисимморфные, асимморфные группы. Распределение веществ по Федоровским группам.</p>	<i>Лекции</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия</i>
<p><b>3. Симметрия волновых функций.</b>  Малые представления. Правила отбора. Прафазы.</p>	<i>Лекции</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия</i>
<p><b>5. Симметрия физических свойств кристаллов.</b> 5.1. Предельные группы. Соподчиненность 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.</p>	<i>Лекции</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия</i>
<p><b>6. Оптические свойства кристаллов.</b> 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 лучепреломление. Определение угла поворота плоскости поляризации.</p>	<i>Лекции</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия</i>
<p><b>7. Линейный электрооптический эффект.</b>  Уравнение электрооптического эффекта. Поляризационнооптические затворы и модуляторы света. Элек-трооптические затворы на регулярной доменной структуре.</p>	<i>Лекции</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия</i>
<p><b>8. Балансовые уравнения.</b> 7.1 Неравновесная термодинамика. Некоторые понятия теории поля. Границы применимости неравновесной</p>	<i>Лекции</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия</i>



<p>термодинамики. 7.2.Сохранение энтропии. Скорость возрастания энтропии. Нелинейность. Соотношения взаимности</p>		
<p><b>9. Вариационные принципы.</b> Принципы минимального производства энтропии. Принципы наименьшего рассеяния энергии. Фазовые портреты систем. Понятие о синергетике. Самоорганизация</p>	<i>Лекции</i>	<i>Активное слушание. Групповое решение задач. Дискуссия</i>
<i>Лабораторные работы</i>		
<p>1. Выявление дислокационной структуры монокристаллов полупроводников. Часть 1. Подготовка кристаллов и селективное травление Часть 2. Оптический метод подсчета плотности дислокаций</p>	<i>Лабораторные работы</i>	<i>Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i>
<p>2.Изучение пространственной структуры кристаллов кубической сингонии и парателлурита</p>	<i>Лабораторные работы</i>	<i>Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i>
<p>3 Изучение электрофизических свойств кристаллов</p>	<i>Лабораторные работы</i>	<i>Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i>
<p>4 Выращивание сложных форм кристаллов под микроскопом.</p>	<i>Лабораторные работы</i>	<i>Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i>
<p>5. Растровый электронный микроскоп</p>	<i>Лабораторные работы</i>	<i>Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i>
<p>6. Выращивание монокристаллов методом монокристалльной зонной плавки. Изучение кристаллографии монокристаллов.</p>	<i>Лабораторные работы</i>	<i>Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i>
<p>7. Выращивание монокристаллов методом Чохральского. Морфология кристаллов.</p>	<i>Лабораторные работы</i>	<i>Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i>
<p>8. Изучение методики зонной очистки и выращивания монокристаллов на установке бестигельной зонной плавки. Изучение кристаллографии монокристаллов.</p>	<i>Лабораторные работы</i>	<i>Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i>
<p>9. Выращивание кристаллов из растворов и гелей.</p>	<i>Лабораторные работы</i>	<i>Решение индивидуальных задач Мозговой штурм</i>

#### **IV. Оценочные материалы для проведения текущей и промежуточной аттестации**

**Форма проведения экзамена:** студенты, освоившие программу курса, могут получить оценку по итогам семестровой и полусеместровой рейтинговой аттестации согласно «Положению о рейтинговой системе обучения ТвГУ» (протокол №8 от 30 апреля 2020 г.).

Если условия «Положения о рейтинговой системе ...» не выполнены, то экзамен сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

**Для проведения текущей и промежуточной аттестации:**

**УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач:**

УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие;

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

**Задание:**

1. Сделать доклад на тему "Современные методы выращивания кристаллов"
2. Сделать доклад на тему "Фазовые переходы второго рода".

**Способ аттестации:** устный

**Критерии оценки:**

- Тема актуальна и сформулирована грамотно – 1 балл;
- тема полностью раскрыта в докладе; корректно использован понятийный аппарат; логичность и ясность изложения – 2 балла;
- использованы публикации последних лет – 1 балл;

определена позиция автора; предложен и аргументирован собственный взгляд на проблему – 1 балл;

**ПК-4. Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам темы:**

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.

**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

## **V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

а) основная литература:

1. Шалимова К. В. Физика полупроводников [Электронный ресурс]: учеб. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 384 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/648>.
2. Каплунов И. А. Физическое материаловедение. Фазовые равновесия [Электронный ресурс]: учебное пособие. - Тверь: Тверской государственный университет, 2009. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Режим доступа: [http://texts.lib.tversu.ru/texts/fizicheskoe\\_materialovedenie\\_fazovye\\_ravnovesiya\\_2011/e-book/index.html](http://texts.lib.tversu.ru/texts/fizicheskoe_materialovedenie_fazovye_ravnovesiya_2011/e-book/index.html)

б) дополнительная литература:

1. Епифанов Г.И. Физика твердого тела [Электронный ресурс]: учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 288 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2023>.
2. Захаров А.Ю. Теоретические основы физического материаловедения. Статистическая термодинамика модельных систем [Электронный ресурс]: учеб. пособие. — СПб.: Лань, 2016. — 256 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72580>.
3. Кузнецов, С.И. Курс физики с примерами решения задач. Часть III. Оптика. Основы атомной физики и квантовой механики. Физика атомного ядра и элементарных частиц [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2014. — 336 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/53685>.

2) Программное обеспечение

а) Лицензионное программное обеспечение

- б) Свободно распространяемое программное обеспечение
- 3) Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. ЭБС «ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com);

2. ЭБС «Университетская библиотека онлайн» <https://biblioclub.ru/>;

3. ЭБС «Лань» <http://e.lanbook.com>

4) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

## **VI. Методические материалы для обучающихся по освоению дисциплины**

### ***План лабораторных работ***

1. Выявление дислокационной структуры монокристаллов полупроводников.  
Часть 1. Подготовка кристаллов и селективное травление  
Часть 2. Оптический метод подсчета плотности дислокаций
2. Изучение пространственной структуры кристаллов кубической сингонии и парателлурита
3. Изучение электрофизических свойств кристаллов
4. Выращивание сложных форм кристаллов под микроскопом.
5. Растровый электронный микроскоп
6. Выращивание монокристаллов методом монокристалльной зонной плавки. Изучение кристаллографии монокристаллов.
7. Выращивание монокристаллов методом Чохральского. Морфология кристаллов.
8. Изучение методики зонной очистки и выращивания монокристаллов на установке бестигельной зонной плавки. Изучение кристаллографии монокристаллов.
9. Выращивание кристаллов из растворов и гелей.

### ***Методические рекомендации***

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  $\infty m$ .

4. Кристаллы, подчиняющиеся предельной группе симметрии  $\infty m$  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  $\overline{m}$  (но они могут и не иметь аксиальных свойств).

Типовые контрольные:

1. Оптическая индикатриса для кристаллов средней категории – это сфера.

2. Рассеивающей 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  $\lambda$ .

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  $\omega_0 = \omega_1 + \omega_2$  – 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 двуосных 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  $\rho v$  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 двуосных кристаллов представляют окружности.



7. Исторически – первым лазером был лазер на рубине –  $\text{Al}_2\text{O}_3;\text{Cr}^{3+}$ /

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  $\theta$  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  $\bar{S} = \bar{H}_{\text{hkl}} = 0$ .

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.

$$\begin{cases} \bar{a}_1^* \bar{S} = h \\ \bar{a}_2^* \bar{S} = k \\ \bar{a}_3^* \bar{S} = l \end{cases}$$

7. Условия Лауэ имеют вид:

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  $\bar{E}$  и индукции  $\bar{D}$  равны друг другу, то дипольный момент единицы объема вещества  $\bar{P}$  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

## **VII. Материально-техническое обеспечение**

Учебная аудитория для	1 Экран настенный Screen	Microsoft Windows 10
-----------------------	--------------------------	----------------------

<p>проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, Учебная аудитория № 28 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>Media 153x203 2. Комплект учебной мебели на 24 посадочных места 3. Меловая доска 4. Переносной ноутбук 5. проектор EPSON EB-X05 с потолочным креплением</p>	<p>Enterprise MS Office 365 pro plus Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно</p>
<p>Учебно-научная лаборатория микроэлектроники № 25 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<p>1.ПК Pentium 4 2 Компьютер Intel Original LGA1155 Core i5-3470, монитор AOC 23" e2370Sd 3 Компьютер iRU Corp 510 I5-2400/4096/500/G210-512/DVD-RW/W7S/монитор E-Machines E220HQVB 21.5" 4 Принтер Samsung лазерный (2 шт) 5 Спектрометр ИКС-29 6 Программно-аппаратный комплекс для микроанализа и морфологического анализа поверхности (микроскоп) 7 Дифрактометр рентгеновский ДСО-2 для уточнения ориентации монокристаллов 8 Электронно-оптический комплекс для анализа морфологии кристаллов NanoMap-1000WLI 9 Измеритель магнитной индукции 10 Испытатель транзисторов и диодов Л2-54 11. Линия волновод</p>	<p>Microsoft Windows 10 Enterprise MS Office 365 pro plus Kaspersky Endpoint Security для Windows Архиватор 7-Zip - бесплатно Acrobat Reader DC - бесплатно Google Chrome – бесплатно Unreal Commander - бесплатно Почта Outlook - бесплатно Origin 8.1 Sr2 - договор №13918/M41 от 24.09.2009 с ЗАО «СофтЛайн Трейд»;</p>

### VIII. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины	Описание внесенных изменений	Реквизиты документа, утвердившего изменения
1.			
2.			