

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Смирнов Сергей Николаевич  
Должность: врио ректора  
Дата подписания: 23.09.2022 12:51:17  
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)

**Кристаллография**

Направление подготовки

03.03.02 Физика

профиль

Физика конденсированного состояния вещества

Для студентов

2 курса, очной формы обучения

Составитель: д.ф.-м.н., доцент Солнышкин А.В.

к.ф.-м.н., доцент Большакова Н.Н.

Тверь, 2022

## **I. Аннотация**

### **1. Цель и задачи дисциплины**

**Целью** дисциплины является изучение на основании свойств симметрии кристаллической структуры, кристаллических и кристаллофизических свойств твердых тел схему их классификации.

**Задачами** освоения дисциплины являются:

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

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

Дисциплина «Кристаллография» изучается в модуле «Физика конденсированного состояния» Блока 1. Дисциплины части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

Содержательно она закладывает основы знаний для изучения дисциплин «Физика конденсированного состояния вещества», «Физика реального кристалла», «Физика магнитных явлений», «Физика полупроводников».

Для успешного освоения дисциплины обучающийся должен иметь представление о молекулярно-кинетической теории вещества, использующей статистические законы, и о термодинамике, знать основные законы механики, молекулярной физики, а также материал дисциплин «Математический анализ» и «Векторный и тензорный анализ».

**3. Объем дисциплины:** 2 зачетные единицы, 72 академических часа, в том числе:

**контактная аудиторная работа:** лекции 16 часов, практические занятия 16 часов;

**самостоятельная работа:** 40 часов.

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

<ul style="list-style-type: none"><li>Планируемые результаты освоения образовательной программы (формируемые компетенции)</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Планируемые результаты обучения по дисциплине</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>УК-1. Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>УК-1.1. Анализирует задачу, выделяя ее базовые составляющие.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>ПК-3. Способен сопровождать типовые технологические процессы в области материаловедения и технологии материалов</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>ПК-3.1. Осуществляет анализ структуры материалов;</li><li></li></ul>

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

Зачет в 4 семестре.

**6. Язык преподавания:** русский.

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

Учебная программа –наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа (час.)		Самостоятельная работа (час.)
		Лекции	Лабораторные занятия	
<b>Введение.</b> Знакомство со специальностью и ее учебным планом кафедрой. Место физики конденсированного состояния вещества в современной физической науке и ее предмет. Общие свойства твердых тел. Кристаллические и аморфные твердые тела. Предмет и задачи кристаллографии.	1	1		
Анизотропия и симметрия кристаллов. Структура кристаллов и пространственная решетка. Закон постоянства углов кристаллов.	4	2		2
Метод кристаллографического индирования. Индексы Миллера. Закон целых чисел Гаюи.	6	2	2	2
Кристаллографические проекции.	6	2	4	
Сферическая, стереографическая, гномостереографическая, гномоническая проекции и соотношения между ними. Сетка Вульфа.	4	2		2
Элементы симметрии кристаллических многогранников. Операции и элементы симметрии I-го и II-го рода. Невозможность осей 5-го порядка и порядка более 6. Теоремы о сочетании операций симметрии.	3	2		1
32 классов симметрии. Понятия точечной группы симметрии. Точечные группы (классы симметрии) и системы обозначений. Формулы симметрии. Международные классы симметрии. Символы Шенфлиса	3	2		1
Матричные представления преобразований симметрии. Кристаллографические категории сингонии и системы координат. Правила записи символов точечных групп в различных категориях.	2	1		1
Вывод и описание 32 классов симметрии кристаллов. Классификация 32 классов симметрии кристаллов по характеру симметрии. Наличие и отсутствие центра симметрии. Эnantиморфизм. Лауэвские классы симметрии. Кратность точечной группы. Понятие подгруппы. Голоэдрия. Мероэдрия. Распределение кристаллов по классам симметрии.	10	2	6	2

Предельные группы симметрии. Принцип симметрии в кристаллофизике. принцип Кюри. Принцип Неймана. принцип суперпозиции Кюри. Указательная поверхность.	8	2	4	2
Формы кристаллов. Физические различные формы кристаллов. Определение символов граней по методу косинусов. Символы граней кристаллов гексагональной и тригональной сингоций. Символы Миллера-Бравэ. Определение символов направлений (ребер). Связь между символами граней и ребер в кристаллах. Закон зон. Символы симметричных граней простых форм. Перестановка индексов.	6	1		5
Кристаллографические группы антисимметрии.	6		4	2
<b>Симметрия структуры кристаллов.</b> Решетки Бравэ. 4 типа решеток Браве. Трансляционная группа. Базис ячейки Бравэ. Ячейка Вигнера-Зейтца.	2	2		
Элементы симметрии структуры кристаллов.	9	2	4	3
Теоремы о сочетании операций симметрии структур. Пространственные (Федоровские) группы симметрии. Правила записи международного символа пространственной группы. правильная система точек и ее кратность. Частная и общая правильные системы точек. Распределение кристаллов по 230 пространственным группам.			2	1
Обратная решетка. Основные расчетные формулы кристаллографии.	5	2		
<b>Дифракция в кристаллах.</b> Микроскопическое изображение кристалла. классификация дифракционных методов исследования кристаллов по виду использованного излучения.	3	2		1
Формула Вульфа-Брегга дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Условия (уравнения) Лауэ дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Эквивалентность условия дифракции Вульфа-Брэгга и Лауэ. Правила отбора.	8	2	4	2
Построение (сфера) Эвальда. Экспериментальные (дифракционные) методы исследования структуры кристаллов: метод Лауэ, метод вращающегося кристалла, порошковый метод (метод Дебая-Шеррера). Зоны Бриллюэна.	3	2		1
<b>Основные представления о росте кристаллов.</b> Равновесная форма кристаллов. Реальные формы роста кристаллов. Закономерные сростки. Двойники. Эпитаксия. Основные представления о методах выращивания кристаллов.	4		2	2

<b>Влияние вида симметрии на возможность возникновения свойств</b> Симметрия кристалла и симметрия физического процесса. Характеристические группы кристаллографических видов симметрии. Основные признаки характеристических групп кристаллов. Группа А: наличие центра симметрии. 11 центров симметричных видов симметрии. Группа В: отсутствие центра симметрии. Вид симметрии и пьезоэлектричество. Группа С: единственная полярная ось. Вид симметрии и пьезоэлектричество. Вид симметрии и сегнетоэлектричество	6	2	2	2
Двойное лучепреломление и поляризация света кристаллами. Оптические индикатрисы кубических кристаллов, кристаллов средних и низших сингоний. группа D: отсутствие плоскостей симметрии. Вид симметрии и оптическая активность. Вращение плоскости поляризации.	6	2	2	2
Влияние вида симметрии на зависимость величины векторного свойства от направления. Симметрия тепловых процессов в кристаллах. тепловое расширение кристаллов. Теплопроводность кристаллов. Законы Фриделя.	3	1		2
<b>ИТОГО</b>	108	36	36	36

### **III. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

- планы лабораторных занятий и методические рекомендации к ним;
- методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов;
- сборники заданий для самоконтроля.

### **IV. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Наряду с другими дисциплинами учебного плана дисциплина «Кристаллография» участвует в формировании профессиональных компетенций ПК-1 «Способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин», ПК-2 «Способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта» и ПК-3 «Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований»

**Форма проведения промежуточного контроля:** студенты, освоившие программу курса могут получить зачет 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 зачет сдается согласно «Положению о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ» (протокол №11 от 28 апреля 2021 г.)

Зачет выставляется по результатам рейтинг-контроля. Студентам, не набравшим необходимое число баллов (40), предоставляется возможность ответить на дополнительные вопросы и выполнить дополнительные задания из банка вопросов и заданий, приведенного ниже.

Шкала оценивания: Максимальная оценка каждого студента по итогам ответа на вопросы и результатам выполнения задания составляет 50 баллов. Она складывается из оценки уровня знаний (максимум 25 баллов), умений (максимум 15 баллов) и владений (максимум 10 баллов).

**1. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности общепрофессиональной компетенции ПК-1 «способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин»**

<b>Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина</b>	<b>Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков</b>	<b>Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания</b>
Начальный владеть	Продемонстрировать навыки владения материалом по основным законам кристаллографии. <i>Пример.</i> Описать место физики конденсированного состояния вещества в современной физической науке и ее предмет. Предмет и задачи	

	кристаллографии	
Начальный уметь	<p>Продемонстрировать умение описать особенности симметрии различных точечных и пространственных кристаллографических классов и групп,</p> <p><i>Пример.</i> Для описания различных физических явлений в реальных кристаллах, использовать теорию дефектов</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
Начальный знать	<p>Продемонстрировать знания по построениям кристаллографических проекций, элементы симметрии кристаллических многогранников и структур.</p> <p><i>Пример.</i> Описать принципы классификации кристаллов по кристаллографическим системам, категориям и сингониям, основные расчетные формулы кристаллографии</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>
Промежуточный владеть	<p>Продемонстрировать навыки владения материалом по формам кристаллов.</p> <p><i>Пример.</i> Описать физические различные формы кристаллов.</p>	
Промежуточный уметь	<p>Продемонстрировать умение пользоваться моделью обратной решетки, объяснять влияние вида симметрии на возможность возникновения физических свойств</p> <p><i>Пример.</i> Описать матричные представления преобразований симметрии. Кристаллографические категории сингонии и системы координат. Правила записи</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>



	символов точечных групп в различных категориях.	
Промежуточный знать	<p>Продемонстрировать знания по основным принципы роста кристаллов, основные системы и символики описания точечных и пространственных групп кристаллов, основные типы дефектов в реальных кристаллах.</p> <p><i>Пример.</i> Симметрия кристалла и симметрия физического процесса. Характеристические группы кристаллографических видов симметрии..</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>● Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>● Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>

**Список вопросов и заданий для проверки уровня сформированности профессиональной компетенции ПК-1 «способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин»**

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Структура кристалла и пространственная решетка.
2. Понятие симметрии и симметричного многогранника.
3. Элементы симметрии кристаллических многогранников.
4. Закон постоянства углов кристаллов.
5. Гониометрические методы исследования кристаллов.
6. Простые точечные операции и элементы симметрии (плоскость симметрии, оси симметрии, центр симметрии).
7. Невозможность существования в кристаллах осей симметрии 5-го порядка и порядка больше 6-ти.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается продемонстрировать следующие навыки решения типичных примеров:

1. Метод кристаллографического индицирования. Символы узлов. Символы рядов (ребер).
2. Символы плоскостей (граней).
3. Операции и элементы симметрии 2-го рода: инверсионные и зеркально-поворотные оси симметрии.

4. Параметры Вейса и индексы Миллера.
5. Правила отыскания элементов симметрии кристаллических многогранников.
6. Закон целых чисел Гаюи.
7. Сочетания операций симметрии.
8. Теорема о сочетании операций симметрии кристаллических многогранников.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Кристаллографические проекции: сферическая, стереографическая, гномостереографическая и гномоническая.
2. Понятие о классах и точечных группах симметрии кристаллических многогранников. 32 класса симметрии.
3. Обозначение классов симметрии (формула симметрии, международные символы).
4. Распределение кристаллов по классам симметрии.
5. Соотношения между сферической, стереографической, гномостереографической и гномонической. Сетка Вульфа.
6. Матричные представления преобразований симметрии.

**2. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности общепрофессиональной компетенции ПК-2 «способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта»**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Начальный владеть	Продемонстрировать навыки владения материалом по дифракции в кристаллах. <i>Пример.</i> Описать классификацию дифракционных методов исследования кристаллов по виду использованного излучения	
Начальный	Продемонстрировать уме-	• Имеется полный ответ –

<p><b>уметь</b></p>	<p>ние описать экспериментальные (дифракционные) методы исследования структуры кристаллов. <i>Пример.</i> Описать метод Лауэ, метод вращающегося кристалла, порошковый метод (метод Дебая-Шеррера). Зоны Бриллюэна.</p>	<p>3 балла</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
<p>Начальный <b>знать</b></p>	<p>Продемонстрировать знания по дифракции рентгеновских лучей на кристалле. <i>Пример.</i> Описать эквивалентность условия дифракции Вульфа-Брэгга и Лауэ. Правила отбора.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>
<p>Промежуточный <b>владеть</b></p>	<p>Продемонстрировать навыки владения современными кристаллографическими методами экспериментального и теоретического исследований диэлектриков, магнетиков и других объектов. <i>Пример.</i> Описать метод измерения оптических индикатрисы кубических кристаллов,</p>	
<p>Промежуточный <b>уметь</b></p>	<p>Продемонстрировать умение описать <b>основные представления о росте кристаллов</b> <i>Пример.</i> Описать равновесная форма кристаллов. Реальные формы роста кристаллов.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
<p>Промежуточный <b>знать</b></p>	<p>Продемонстрировать знания по основным представлениям о методах выращивания кристаллов.. <i>Пример.</i> Описать закономерные сростки. Двойники. Эпитаксия.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>

**Список вопросов и заданий для проверки уровня сформированности профессиональной компетенции ПК-2 «способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта»**

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Кристаллографические категории, сингонии и системы координат.
2. Правила записи символов классов кристаллов.
3. Решетки Бравэ.
4. Примитивная ячейка Вигнера-Зейтца
5. Вывод и описание 32 классов симметрии кристаллов. (Примитивные, центральные, планальные и аксиальные классы).

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается продемонстрировать следующие навыки решения типичных примеров:

1. Формы кристаллов.
2. Физически различные формы кристаллов.
3. Кристаллографические группы антисимметрии.
4. Классификация кристаллов по наличию или отсутствию центра симметрии.
5. Энантиморфизм.
6. Лауэвские классы симметрии.
7. Определение символов граней по методу косинусов.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Символы граней кристаллов гексагональной и тригональной сингоний.
2. Символы Миллера- Бравэ.
3. Определение символов направлений (ребер).
4. Связь между символами граней и ребер в кристаллах.
5. Закон зон.
6. Символы симметричных граней простых форм.
7. Перестановка индексов.
8. Предельные группы симметрии.

**3. Типовые контрольные задания для проверки уровня сформированности общепрофессиональной компетенции ПК-3 «Готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований»**

Этап формирования компетенции, в котором участвует дисциплина	Типовые контрольные задания для оценки знаний, умений, навыков	Показатели и критерии оценивания компетенции, шкала оценивания
Начальный владеть	<p>Продemonстрировать навыки владения материалом по влиянию вида симметрии на возможность возникновения свойств.</p> <p><i>Пример.</i> Описать симметрию кристалла и симметрию физического процесса.</p>	
Начальный уметь	<p>Продemonстрировать умение описать характеристические группы кристаллографических видов симметрии. Основные признаки характеристических групп кристаллов.</p> <p><i>Пример.</i> Группа А: наличие центра симметрии. 11 центросимметричных видов симметрии. Группа В: отсутствие центра симметрии.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
Начальный знать	<p>Продemonстрировать знания по виду симметрии и пьезоэлектричество. Вид симметрии и пьезоэлектричество. Вид симметрии и сегнетоэлектричество</p> <p><i>Пример.</i> Группа С: единственная полярная ось.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>
Промежуточный владеть	<p>Продemonстрировать навыки владения материалом по распределению кристаллов по классам симметрии.</p> <p>Кристаллографические группы антисимметрии.</p>	

	<i>Пример.</i> Описать принцип симметрии в кристаллофизике. принцип Кюри. Принцип Неймана.	
Промежуточный <b>уметь</b>	Продемонстрировать умение определения символов граней по методу косинусов. <i>Пример.</i> Символы граней кристаллов гексагональной и тригональной сингоций. Символы Миллера-Бравэ	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Имеется полный ответ – 3 балла</li> <li>• Ответ недостаточно обоснован – 2 балла</li> <li>• Дан неверный ответ – 0 баллов</li> </ul>
Промежуточный <b>знать</b>	Продемонстрировать знания по связи между символами граней и ребер в кристаллах. Закон зон. <i>Пример.</i> Описать символы симметричных граней простых форм. Перестановка индексов.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ответ отобран из источников, содержание ответа полное -2 балла.</li> <li>• Ответ изложен недостаточно четко-1 балл.</li> <li>• Ответ изложен с физическими ошибками – 0 баллов.</li> </ul>

**Список вопросов и заданий для проверки уровня сформированности профессиональной компетенции ПК-3 «готовность применять на практике профессиональные знания теории и методов физических исследований»**

Для оценивания результатов обучения в виде владений предлагается рассмотреть следующие темы:

1. Пространственные группы симметрии.
2. Правильная система точек.
3. Правила записи символов пространственных групп в различных сингониях.
4. аспределение кристаллов по 230 пространственным группам.
5. Эквивалентность условий Вульфа-Брэгга и Лауэ дифракции рентгеновских лучей на кристалле.
6. Построение (сфера отражения) Эвальда.
7. Принцип симметрии в кристаллофизике.
8. Экспериментальные дифракционные методы исследования кристаллов. Метод Лауэ.

Для оценивания результатов обучения в виде умений предлагается продемонстрировать следующие навыки решения типичных примеров:

1. Обратная решетка.
2. Экспериментальные дифракционные методы исследования кристаллов.

3. Метод вращения кристалла.
4. Основные расчетные формулы в кристаллографии.
5. Зоны Бриллюэна.
6. Микроскопическое изображение кристалла.
7. Дифракционные методы исследования структуры кристаллов.

Для оценивания результатов обучения в виде знаний предлагается ответить на следующие вопросы:

1. Основные представления о росте кристаллов.
2. Равновесная форма кристаллов. реальные формы роста кристаллов.
3. Закономерные сростки. и двойники.
4. Эптаксия.
5. Формула (закон) Вульфа-Брэгга.
6. Экспериментальные дифракционные методы исследования кристаллов. Метод Дебая-Шеррера.

## **V. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

а) Основная литература:

1. Матухин, В. Л. Физика твердого тела : учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 224 с. — ISBN 978-5-8114-0923-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/167762>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. 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> .

б) Дополнительная литература:

1. Основы кристаллографии : учебное пособие / О. В. Юшкова, ). С. Белоногова, А. И. Надолько, Безруких. — Красноярск : СФУ, 2020. — 324 с. — ISBN 978-5-7638-4181-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/181556>. — Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Матухин, В.Л. Физика твердого тела [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.Л. Матухин, В.Л. Ермаков. — Электрон. дан. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 224 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/262> .
3. Басалаев, Ю.М. Кристаллофизика и кристаллохимия [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Кемерово : КемГУ, 2014. — 403 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/61407> .

4. Сонин, А.С. Курс макроскопической кристаллофизики [Электронный ресурс] : учеб. пособие — Электрон. дан. — Москва : Физматлит, 2006. — 256 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/59408> .
5. Розин, К.М. Кристаллофизика. Учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие / К.М. Розин, В.С. Петраков. — Электрон. дан. — Москва : МИСИС, 2006. — 249 с. — Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/51712>

## **VI. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины**

Электронные библиотечные системы:

1. ЭБС «ИНФРА-М» <http://www.znaniium.com>
2. ЭБС «Университетская библиотека ОН-ЛАЙН» <http://www.biblioclub.ru>
3. ЭБС «ЛАНЬ» <http://e.lanbook.com>

## **VII. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

### ***Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:***

Самостоятельная работа студентов предполагает:

- обязательное выполнение домашних заданий, предусмотренных лекционными и лабораторными занятиями;
- углубленное изучение литературы и решение задач по пройденным темам и по вопросам, дополнительно указанным преподавателем;
- использование материалов рабочей программы для систематизации знаний и подготовке к занятиям и контрольным работам.

### **Перечень вопросов для систематизации знаний:**

1. Структура кристалла и пространственная решетка.
2. Понятие симметрии и симметричного многогранника. Элементы симметрии кристаллических многогранников.
3. Закон постоянства углов кристаллов. Гониометрические методы исследования кристаллов.
4. Простые точечные операции и элементы симметрии (плоскость симметрии, оси симметрии, центр симметрии). Невозможность су-



ществования в кристаллах осей симметрии 5-го порядка и порядка больше 6-ти.

5. Метод кристаллографического индцирования. Символы узлов. Символы рядов (ребер). Символы плоскостей (граней).
6. Операции и элементы симметрии 2-го рода: инверсионные и зеркально-поворотные оси симметрии.
7. Параметры Вейса и индексы Миллера.
8. Правила отыскания элементов симметрии кристаллических многогранников.
9. Закон целых чисел Гаюи.
10. Сочетания операций симметрии. Теорема о сочетании операций симметрии кристаллических многогранников.
11. Кристаллографические проекции: сферическая, стереографическая, гномостереографическая и гномоническая.
12. Понятие о классах и точечных группах симметрии кристаллических многогранников. 32 класса симметрии. Обозначение классов симметрии (формула симметрии, международные символы). Распределение кристаллов по классам симметрии.

### **3) Требования к рейтинг-контролю**

Результаты промежуточной аттестации выставляются на основе текущего контроля успеваемости (рейтинг-контроль, баллы за выполненные практические задания суммируются) и по результатам зачета.

### **Вопросы к рейтинг-контролю**

1. Пространственные группы симметрии. Правильная система точек. Правила записи символов пространственных групп в различных сингониях. Распределение кристаллов по 230 пространственным группам.
2. Эквивалентность условий Вульфа-Брэгга и Лауэ дифракции рентгеновских лучей на кристалле. Построение (сфера отражения) Эвальда.
3. Принцип симметрии в кристаллофизике.
4. Экспериментальные дифракционные методы исследования кристаллов. Метод Лауэ.
5. Обратная решетка.
6. Экспериментальные дифракционные методы исследования кристаллов. Метод вращения кристалла.
7. Основные расчетные формулы в кристаллографии.
8. Зоны Бриллюэна.
9. Микроскопическое изображение кристалла. Дифракционные методы исследования структуры кристаллов.

10. Основные представления о росте кристаллов. Равновесная форма кристаллов. реальные формы роста кристаллов. Закономерные сrostки. и двойники. Эпитаксия.

### ***Рейтинг***

1. Первая контрольная точка. Содержание модуля 1: Раздел 1 – 3.

40 баллов, из них 20 – текущая работа, 10 – посещаемость, 10 – контрольная работа. 9-ая неделя.

2. Вторая контрольная точка. Содержание модуля 2: Раздел 4 – 7.

60 баллов, из них 40 – текущая работа, 10 – посещаемость, 10 – контрольная работа. 18-ая неделя

Критерии: работа на каждом практическом занятии – по 5 баллов (текущая работа), правильный ответ на один вопрос контрольной работы – 2 балла.

Программой предусматривается выполнение письменных контрольных работ и отчеты о выполнении студентами заданий на лабораторных занятиях в качестве форм рубежного контроля в конце каждого модуля. Для подготовки к рубежному контролю предполагается выполнение домашних заданий по каждой пройденной в течение модуля теме и использование банка контрольных вопросов и заданий рабочей программы.

### **VIII. Перечень педагогических и информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (по необходимости)**

Преподавание учебной дисциплины «Кристаллография» строится на сочетании лекций, лабораторных занятий и самостоятельной работы студентов. На занятиях используется мультимедийная техника для демонстрации электронных презентаций.

### **IX. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Наименование специальных* помещений	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоя-	Перечень лицензионного программного
-------------------------------------	--	-------------------------------------

	<b>тельной работы</b>	<b>обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>
Учебно-научная лаборатория физики диэлектриков, пьезоэлектриков и сегнетоэлектриков-полупроводников № 35 (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Экран настенный ScreenMedia 153*203</li> <li>2. Ноутбук Samsung R 510</li> <li>3. Проектор LG RD-JT90, DLP ,2 200 ANSI Lm,</li> <li>4. Комплект учебной мебели на 24 посадочных мест</li> <li>5. Вольтметр Щ 1516</li> <li>6. Вольтметр В-7-26</li> <li>7. Вольтметр В-3-39</li> <li>8. Генератор ГЗ-109</li> <li>9. Магазин сопротивлений Р4830</li> <li>10. Мост Р524</li> <li>11. Мост Р-571</li> <li>12. Измеритель В5-509</li> <li>13. Микротвердомер ПМТ-3</li> <li>14. Осциллограф С-1-65</li> <li>15. Вольтметр В-3-42</li> <li>16. Усилитель У4-28</li> <li>17. Генератор ГЗ-34</li> <li>18. Прибор Е7-11</li> <li>19. Генератор ГЗ-102</li> <li>20. Генератор Г-4-158</li> <li>21. Частотомер ЧЗ-34</li> <li>22. Вольтметр В-3-38 (2 шт)</li> <li>23. Прибор КМС-6</li> <li>24. Вольтметр В-7-27</li> <li>25. Печь СУОП044</li> <li>26. Источник питания Б-5-50</li> <li>27. Измеритель Х1-38</li> <li>28. Измеритель разности фаз Ф2-16</li> <li>29. Прибор Picoammeter 6485</li> <li>30. Пробник напряжения до 2500 В</li> <li>31. Измеритель фаз Е-4-11</li> <li>32. Термостат ИТИ</li> <li>33. Прибор Х1-46</li> <li>34. Выпрямитель ТЕС</li> <li>35. Осциллограф С-1-68</li> <li>36. Усилитель У5-11</li> <li>37. Микроскоп 7М-9</li> </ol>	<p>Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г.</p> <p>MS Office 365 pro plus - Акт на передачу прав №1051 от 05.08.2020 г.</p> <p>Acrobat Reader DC - бесплатно</p> <p>Google Chrome – бесплатно</p>

### **Помещения для самостоятельной работы:**

<b>Наименование помещений</b>	<b>Оснащенность помещений для самостоятельной работы</b>	<b>Перечень лицензионного программного обеспечения. Реквизиты подтверждающего документа</b>

<p>Помещение для самостоятельной работы, учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, занятий семинарского типа, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, практики, Компьютерный класс физико-технического факультета. Компьютерная лаборатория робототехнических систем №4а (170002 Тверская обл., г. Тверь, Садовый пер., д. 35)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Компьютер RAMEC STORM C2D 4600/160Gb/ 256mB/DVD-RW +Монитор LG TFT 17" L1753S-SF – 12 шт</li> <li>2. Мультимедийный комплект учебного класса (вариант № 2) Проектор Casio XJ-M140, настенный проекц. экран Lumien 180*180. ноутбук Dell N4050. сумка 15,6", мышь</li> <li>3. Коммутатор D-Link 10/100/1000mbps 16-portr DGS-1016D</li> <li>4. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО</li> <li>5. Видеокамера IP-FALCON EYE FE-IPC-BL200P, ОнЛайн Трейд ООО</li> <li>6. Демонстрационное оборудование комплект «LegoMidstormsEV3»</li> <li>7. Комплект учебной мебели</li> </ol>	<p>Adobe Acrobat Reader DC - бесплатно</p> <p>Cadence SPB/OrCAD 16.6 - Государственный контракт на поставку лицензионных программных продуктов 103 - ГК/09 от 15.06.2009</p> <p>Google Chrome - бесплатно</p> <p>Java SE Development Kit 8 Update 45 (64-bit) - бесплатно</p> <p>Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows – Акт на передачу прав №2129 от 25 октября 2016 г.</p> <p>Lazarus 1.4.0 - бесплатно</p> <p>Lego MINDSTORM EV3 - бесплатно</p> <p>Mathcad 15 M010 - Акт предоставления прав ИС00000027 от 16.09.2011</p> <p>MATLAB R2012b - Акт предоставления прав № Us000311 от 25.09.2012</p> <p>Microsoft Express Studio 4 - бесплатно</p> <p>MiKTeX 2.9 - бесплатно</p> <p>MPICH 64-bit – бесплатно</p> <p>MSXML 4.0 SP2 Parser and SDK - бесплатно</p> <p>Microsoft Windows 10 Enterprise - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p> <p>MS Office 365 pro plus - Акт приема-передачи № 369 от 21 июля 2017</p>
--	--	--

## Х. Сведения об обновлении рабочей программы дисциплины

№ п.п.	Обновленный раздел рабочей программы дисциплины (модуля)	Описание внесенных изменений	Дата и протокол заседания, утвердившего изменения
1	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
2	Раздел IV	Скорректированы задания для промежуточной аттестации в соответствии с обновленным «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) студентов ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г.
3	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
4	Раздел IX	Оснащенность аудиторного фонда для проведения учебных занятий и самостоятельной работы студентов согласно «Справки МТО ООП ...»	Протокол Совета ФТФ №5 от 31 октября 2017 г
5	Раздел IV	Скорректирован фонд оценочных средств для проверки уровня сформированности закрепленных за дисциплиной компетенций	Протокол Совета ФТФ № 6 от 15.01.2019 г.
6	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о промежуточной аттестации (экзаменах и зачетах) обучающихся по программам высшего образования ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
7	Раздел IV	Внесены изменения в соответствии с «Положением о рейтинговой системе обучения в ТвГУ»	Протокол Совета ФТФ № 10 от 19.05.2020 г.
8	Раздел IX	Актуализированы данные на основе Справки МТО ООП	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021
9	Раздел V	Обновлен перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	Протокол Совета ФТФ №14 от 03.07.2021