



МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра общей и экспериментальной физики



УТВЕРЖДАЮ

Декан физического факультета

Н.М. Буднев

1 апреля 2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины (модуля): Б1.В.ДВ.01.02 Основы кристаллофизики

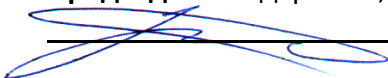
Направление подготовки : 03.03.02 «Физика»


Направленность (профиль) подготовки Физика материалов твердотельной электроники и фотоники

Квалификация выпускника бакалавр

Форма обучения очная

Согласовано с УМК:  
физического факультета  
Протокол № 42 от «15» апреля 2024 г.

Председатель: д.ф.-м.н., профессор  
 Н.М. Буднев

Рекомендовано кафедрой:  
общей и экспериментальной физики  
Протокол № 7  
от «26» марта 2024 г.  
Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор  
 А.А. Гаврилюк

Иркутск 2024 г.

## Содержание

<b>I. Цели и задачи дисциплины(модуля).....</b>	<b>3</b>
Программа разработана в соответствии с основной образовательной программой ФГОС по направлению 03.03.02 Физика и предназначена для обеспечения курса «Основы кристаллофизики», изучаемого студентами в течение седьмого семестра.	
<b>II. Место дисциплины (модуля)в структуре ОПОП ВО.....</b>	<b>4</b>
<b>III. Требования к результатам освоения дисциплины .....</b>	<b>4</b>
<b>IV. Содержание и структура дисциплины (модуля).....</b>	<b>5</b>
4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов	
4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине	
4.3 Содержание учебного материала	
4.3.1 Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ	
4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение в рамках самостоятельной работы студентов	
4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов	
4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при аличии)	
<b>V. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)</b>	
а) перечень литературы	
б) периодические издания	
в) список авторских методических разработок г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы	
<b>VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)</b>	
6.1. Учебно-лабораторное оборудование:	
6.2. Программное обеспечение:	
6.3. Технические и электронные средства обучения:	
<b>VII. Образовательные технологии</b>	
<b>VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации</b>	
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ: ФОС</b>	

## 1. Цели и задачи дисциплины (модуля)

Программа разработана в соответствии с основной образовательной программой ФГОС по направлению 03.03.02 Физика и предназначена для обеспечения курса «Основы кристаллофизики», изучаемого студентами в течение седьмого семестра.

Основная *цель* курса – дать студентам базовые представления о фундаментальных законах кристаллографии, кристаллохимии и кристаллофизики, раскрыть связи между структурой и свойствами кристаллов для формирования картины мира в рамках современной естественнонаучной парадигмы; способствовать развитию их интеллектуальных, творческих способностей и критического мышления в ходе проведения исследований, анализа явлений, восприятия и интерпретации информации.

Для достижения данной цели были поставлены *задачи*:

- изучить основные понятия кристаллофизики, базовые природные закономерности физических явлений, связанных с симметрией кристаллов и атомной структурой веществ.
- показать взаимосвязь фундаментальных свойств кристаллов с симметрией их атомной структуры;
- изучить физические методы исследования структуры кристаллических объектов;
- познакомиться с современными проблемами кристаллофизики, новейшими открытиями и достижениями в области кристаллофизики за последние годы.

В комплексе научных дисциплин, связанных с изучением строения вещества, кристаллофизика занимает ключевое место, представляя собой фундамент для таких дисциплин, как физика твердого тела, физика магнитных явлений и многих других. Кроме того, именно кристаллофизика наиболее ярко проявляются характерные для микромира закономерности, что привело в первой половине XX века к коренному изменению основных представлений в физике.

Изучение фундаментальных законов кристаллографии, кристаллохимии и кристаллофизики - как формирование основы понимания естественнонаучной картины мира - базы дальнейшего научного миропонимания. Изучения этого курса определяются требованиями, предъявляемыми выпускникам квалификационными характеристиками. В курсе "Основы кристаллофизики" излагаются фундаментальные свойства кристаллов, закономерности физических явлений, связанных с симметрией кристаллов и их атомной структурой. Этот курс является основополагающим разделом физики твердого тела, на котором базируется изучение курсов "Физика полупроводников и диэлектриков", "Физические основы технологии полупроводниковых материалов", «Физические основы микроэлектроники» и др., а также дисциплины специализаций «Физика конденсированного состояния».

## II. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО

Приоритетом современного образования является создание научно-образовательных центров (НОЦ), т.е. интеграция науки и образования. Такой подход обеспечивает будущему специалисту дополнительные знания и исследовательские навыки, необходимые для работы по междисциплинарным направлениям после получения базового образования. Организация учебного процесса при изучении курса «Основы кристаллофизики» соотносится с целями образования на современном этапе, а изучение некоторых разделов тесно связано с тематикой научных исследований базовых институтов кафедры – Института геохимии СО РАН и Института лазерной физики СО РАН. Методика преподавания направлена на

системный подход к обучению и интеграцию дисциплин естественнонаучного цикла, находится в блоке дисциплин специализации.

Для освоения дисциплины необходимо знать:

- 1) общую и теоретическую физику;
- 2) тензорный и векторный анализ;
- 3) физику конденсированного состояния;
- 4) математический анализ;
- 5) линейную алгебру.

### III. Требования к результатам освоения дисциплины

Курс «Основы кристаллофизики», согласно положениям федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования при подготовке бакалавра по направлению 03.03.02 Физика, позволяет студенту приобрести следующие компетенции:

- Способен проводить научные исследования физических свойств объектов, систем и процессов, обрабатывать и представлять экспериментальные данные (ОПК-2)

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
Представление результатов профессиональной деятельности	<p><i>ПК-1</i> способен использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин</p>	<p><b>Знает:</b> основные понятия, закономерности кристаллографии и кристаллофизики, основы геометрической кристаллографии, микрокристаллографии, теории симметрии, кристаллооптики, кристаллохимии, кристаллофизики, генетической кристаллографии, росту и морфологии кристаллов, гониометрии, физический смысл различных коэффициентов, характеризующих свойства кристаллов.</p> <p><b>Умеет:</b> решать кристаллографические задачи, строить сферические, стереографические, гномонические, гномостереографические проекции кристаллов, грамотно описывать внешнюю форму и внутреннее строение кристаллов, используя знания по точечной и пространственной симметрии, пользоваться современным знанием физических закономерностей</p>

		<p>для объяснения структурных характеристик и физических свойств объектов при различных физических воздействиях, необходимые для правильной интерпретации результатов самостоятельной научной деятельности и понимания специальной литературы, применять полученные знания при решении кристаллографических задач.</p> <p><b>Владеет:</b>  методами описания симметрии и простых форм кристаллов; знаниями по физическим характеристикам и свойствам кристаллов; навыками работы с современным экспериментальным и математическим обеспечением для исследования структурных характеристик кристаллов.</p>
--	--	---

#### **IV. Содержание и структура дисциплины (модуля)**

Объем дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часов, в том числе 77 часа контактной работы.

Занятия проводятся только в очной форме обучения с применением дистанционного контроля самостоятельной работы студентов через ЭИОС факультета. Электронной и дистанционной форм обучения не предусматривается.

На практическую подготовку отводится 34 аудиторных часов (во время проведения лабораторных работ занятий).

Форма промежуточной аттестации: экзамен.

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

1	Раздел дисциплины/тема	Семестр	Всего часов	Из них практическая подготовка обучающихся	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся, практическую подготовку и трудоемкость (в часах)			
					Контактная работа преподавателя с обучающимися			Самостоятельная работа
					Лекции	Семинарские / практически е/ лабораторны е занятия	Конс ультации	
2	3	4	5	6	7	8	9	
1	Раздел 1. Матричное представление симметрических операций	7	16	4	4	4		8
2	Раздел 2. Симметрия структуры. Физические свойства и симметрия кристаллов. Анизотропия кристаллов.	7	8	2	2	2		4
3	Раздел 3. Физические свойства идеальных кристаллов и симметрия.	7	12	4	4	4		4
4	Раздел 4. Физические свойства кристаллов, описываемые тензором первого ранга.	7	18,5	6	6	6	0,5	6
5	Раздел 5. Физические свойства кристаллов, описываемые тензором второго ранга.	7	18	6	6	6		6
6	Раздел 6. Основные методы исследования структуры кристаллов.	7	40,5	10	10	10	0,5	20
7	Раздел 7I. Основные несовершенства кристаллов	7	6	2	2	2		2
экзамен		7	<b>36</b>					
КО, КОНТР		7	<b>25</b>					
<b>Итого часов</b>			<b>144</b>	<b>34</b>	<b>34</b>	34	<b>1</b>	50

#### 4.1. План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Трудоемкость (час.)		
7	Разделы 1,4,5	Решение домашних задач	В течение семестра	24	опрос, контрольное задание	[1,2,4,5]
	Разделы 2,3	Работа с учебной литературой	В течение семестра	4	оценка домашний конспект	[1,2,4,5]
7	Разделы 6	Подготовка к лаб. Работам Подготовка отчетов	В течение семестра	20	Отчет по лаб. работам	[1,2,4,5]
7	Раздел 7	Работа с учебной литературой	В течение семестра	2	оценка домашний конспект	[5]
7	<b>Подготовка к экзамену</b>	Работа с учебной литературой	К концу семестра		Экз.	[1-5]
Общий объем самостоятельной работы по дисциплине (час)				50		

#### 4.3. Содержание учебного материала

Содержание разделов и тем дисциплины

##### Раздел 1. МАТРИЧНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ СИММЕТРИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ

- 1.1. Преобразование осей кристаллофизической системы координат, компонент вектора и координат точки.
- 1.2. Кристаллографические категории, сингонии и системы осей координат.
- 1.3. Точечные группы симметрии кристаллов. Предельные группы симметрии Кюри.

##### Раздел 2. СИММЕТРИЯ СТРУКТУРЫ. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И СИММЕТРИЯ КРИСТАЛЛОВ

- 2.1. Структура кристаллов и пространственная решетка. Решетки Бравэ.
- 2.2. Элементы симметрии кристаллических структур.
- 2.3. Пространственные группы симметрии.
- 2.4. Обратная решетка. Основные свойства обратной решетки.
- 2.5. Основные формулы структурной кристаллографии.

##### Раздел 3. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ИДЕАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛОВ И СИММЕТРИЯ

3.1. Основной закон кристаллофизики (принцип Неймана).

3.2. Принцип суперпозиции симметрии (принцип Кюри).

3.3. Типы связей в кристаллах.

#### **Раздел 4. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ, ОПИСЫВАЕМЫЕ ТЕНЗОРОМ ПЕРВОГО РАНГА**

4.1. Прямой пьезоэлектрический эффект в кристаллах. Ограничения, налагаемые симметрией кристалла.

4.2. Указательная поверхность пьезоэлектрического эффекта.

4.3. Обратный пьезоэлектрический эффект.

4.4. Применение прямого и обратного пьезоэффектов.

#### **Раздел 5. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ, ОПИСЫВАЕМЫЕ ТЕНЗОРОМ ВТОРОГО РАНГА**

5.1. Симметрия полярных тензоров второго ранга.

5.2. Характеристическая поверхность второго порядка для тензора второго ранга, ее геометрические образы и симметрия.

5.3. Группы симметрии полярных тензоров второго ранга.

5.4. Тензоры диэлектрической проницаемости и непроницаемости кристаллов.

5.5. Описание распространения света в анизотропных кристаллах с помощью оптических индикатрис.

5.6. Тензоры механических напряжений и деформаций как примеры полевых симметричных тензоров второго ранга.

#### **Раздел 6. ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ**

6.1. Дифракция рентгеновских (электронных) лучей в кристаллах.

6.2. Общее интерференционное уравнение Лауэ, его интерпретация с помощью сферы Эвальда.

6.3. Связь общего интерференционного уравнения Лауэ с уравнением Вульфа - Брэгга.

6.4. Интенсивность дифракционных максимумов. Правила погасаний (непогасаний).

6.5. Основные методы рентгеноструктурного анализа.

6.6. Другие методы исследования структуры кристаллов. Электронография. Электронная микроскопия.

#### **Раздел 7. ОСНОВНЫЕ НЕСОВЕРШЕНСТВА КРИСТАЛЛОВ.**

7.1. Дефекты кристаллической структуры. Основные типы несовершенств.

7.2. Методы наблюдений.

7.3. Квазикристаллы. Жидкие кристаллы.

#### **4.3.1. Перечень семинарских, практических занятий и лабораторных работ**

№ п/п	№ раздела	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компет
			Всего	Из них		



			часов	практическая подготовка		енции
1	2	3	4	5	6	7
1.	1	Решение задач по теме Преобразование осей кристаллофизической системы координат, компонент вектора и координат точки	16	4	опрос, контрольное задание	ПК-1
2.	2	Построение стереографических проекций. Точечные группы симметрии кристаллов	8	2	оценка домашний конспект	
3	3	Решение задач по теме «Принцип суперпозиции симметрии (принцип Кюри)». Предельные группы симметрии Кюри. Основной закон кристаллофизики (принцип Неймана).	12	4	опрос, контрольное задание домашний конспект	
4	4	Решение задач по теме «Прямой пирозлектрический эффект в кристаллах». Указательные поверхности.	18,5	6	опрос, контрольное задание	
5	5	Решение задач по теме «Симметрия полярных тензоров второго ранга»	18	6	опрос, контрольное задание	
6	6	Расчет теоретических рентгенограмм. Измерение и расчет экспериментальных рентгенограмм. Построение проекций электронной плотности кристаллов. Определение коэффициентов термического расширения.	40	10	Отчеты по лаб. работам	
7	7	Основные типы несовершенств. Методы наблюдений. Изучение различных типов	6	2	оценка домашний конспект	

		дефектов с помощью электронной микроскопии				
--	--	---	--	--	--	--

**4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение студентами в рамках самостоятельной работы (СРС)**

№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1.	Матричное представление симметрических операций	Работа с литературой	Решение задач по данной теме	[1,2,4,5]	8
2.	Симметрия структуры. Физические свойства симметрия кристаллов. Анизотропия кристаллов. и	Работа с литературой	Домашний конспект	[1,2,4,5]	4
3	Физические свойства идеальных кристаллов симметрия. и	Работа с литературой	Домашний конспект	[1,2,4,5]	4
4	Физические свойства кристаллов, описываемые тензором первого ранга.	Работа с литературой	Решение задач по данной теме	[1,2,4,5]	6
5	Физические свойства кристаллов, описываемые тензором второго ранга.	Работа с литературой	Решение задач по данной теме	[1,2,4,5]	6
6	Основные методы исследования структуры кристаллов.	Работа с литературой	Подготовка отчетов по теме	[3]	20

7	Основные несовершенства кристаллов	Работа с литературой	Домашний конспект	[1,2,4,5]	2
11.	Текущие консультации				
12.	Подготовка к экзамену		Вся рекомендуемая литература		50

#### 4.4. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной финансовой ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

Теоретические знания, полученные студентами на практических занятиях и при самостоятельном изучении курса по литературным источникам, закрепляются при выполнении практических заданий.

При выполнении практических заданий обращается особое внимание на выработку у студентов умения грамотно выполнять и оформлять документацию, умения находить и пользоваться научно-технической справочной литературой. Каждый студент должен подготовиться к защите своего отчета, разобравшись с теорией исследуемого явления.

Текущая работа над учебными материалами включает в себя систематизацию теоретического материала каждой практической работы, заполнения пропущенных мест, уточнения схем и выделения главных мыслей основного содержания работы. Для этого используются имеющиеся учебно-методические материалы и другая рекомендованная литература.

Самостоятельная работа реализуется:

- 1) Непосредственно в процессе аудиторных занятий - практических и семинарских занятиях, при выполнении лабораторных работ.

- 2) В контакте с преподавателем вне рамок расписания - на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.
- 3) В библиотеке, дома, в общежитии, на кафедре при выполнении студентом учебных задач.

Границы между разными видами самостоятельных работ достаточно размыты, а сами виды работы пересекаются. Таким образом, самостоятельная работа студентов может осуществляться как в аудитории, так и вне ее.

Закрепление всего изученного материала осуществляется на контрольной работе. Также может быть проведен опрос по всем темам курса. Преподаватель помогает разобраться с проблемными вопросами и задачами (по мере их поступления) в ходе текущих консультаций.

#### **Перечень контрольных вопросов для самостоятельной работы студентов.**

1. Элементы симметрии кристаллических многогранников. Точечные группы симметрии. Предельные группы Кюри.
2. Символы узлов (точек), рядов (направлений) и граней (плоскостей) в кристаллическом многограннике. Индексы Миллера для плоскости.
3. Структура кристаллов и кристаллическая решетка. Типы ячеек Бравэ.
4. Элементы симметрии кристаллических структур. Пространственные группы симметрии.
5. Обратная решетка, её значение для кристаллографии и физики твердого тела.
6. Полярный вектор, его задание, преобразование при изменении положения системы координат в пространстве. Пространственная симметрия полярного вектора.
7. Аксиальный вектор как векторное произведение двух полярных векторов. Правило преобразования его компонент при изменении системы координат. Пространственная симметрия аксиального вектора.
8. Скаляр как линейная комбинация полярных векторов. Его задание. Пространственная симметрия скаляра.
9. Псевдоскаляр как линейная комбинация полярного и аксиального векторов. Общая формула преобразования псевдоскаляра. Пространственная симметрия псевдоскаляра.
10. Полярный тензор 2-го ранга. Матричное представление полярного тензора 2-го ранга. Нулевой тензор второго ранга. Единичный полярный тензор 2-го ранга. Формула преобразования компонент тензора.
11. Свойства полярных тензоров 2-го ранга. Симметричный полярный тензор второго ранга. Антисимметричный полярный тензор второго ранга. Разложение тензора 2-го ранга на сумму симметричного и антисимметричного тензоров. Антисимметричный полярный тензор 2-го ранга есть аксиальный вектор.

12. Симметрия физических явлений. Принцип Неймана. Принцип Кюри. Физические свойства идеальных кристаллов и их симметрия.
13. Физические свойства кристаллов и их симметрия. Принцип суперпозиции симметрии (принцип Кюри).
14. Прямой и обратный пьезоэлектрические эффекты в кристаллах.
15. Типы связей в кристаллах.
16. Механические свойства кристаллов.
17. Оптические свойства кристаллов
18. Электрические и диэлектрические свойства кристаллов.
19. Дифракционные эффекты в кристаллах.
20. Основные методы структурного анализа.
21. Элементы макро- и микросимметрии кристаллов.
22. Тепловые свойства кристаллов.

#### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)

Курсовые работы учебным планом не предусмотрены.

#### 2. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

*а) основная литература:*

1. Г.И.Епифанов. Физика твёрдого тела: Учебное пособие. СПб.,2010.-288с.(11экз.)
  2. М.П.Шаскольская. Кристаллография. М. Издательство Высшая школа, 2006, 390 с. (10экз.)
  3. Практическая рентгеновская дифрактометрия: Учебное пособие/ В.А.Лиопо, Г.А.Кузнецова, В.М.Калихман, В.В.Война. - Иркутск. Изд-во Иркутский гос.ун-та,2010,159с. (20экз.)
  4. И.Ф.Гинзбург. Введение в физику твёрдого тела: Учебное пособие. СПб.,2007.-544с. (11экз.)
  5. Н.В. Перемолова, М.М. Тагиева. Задачник по кристаллофизике. Учебное пособие. Наука, Главная редакция физ-мат литературы, 1982.-287 с. (2экз.)
- сверено с 915 уч. у*

*б) дополнительная литература:*

1. Е.В.Чупрунов и др. Основы кристаллографии. М. Издательство Физико-математической литературы. 2004,498с. (17экз.)
2. Лиопо В.А. Калихман В.М. Математические основы оптической и рентгеновской гониометрии.. Учебное пособие.Иркутск. 1999 г.(20экз.)
3. Современная кристаллография. Под редакцией Б.К.Вайнштейна. Т.1 - Наука, М., 1980.
4. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: Интернет-ресурсы в свободном доступе и на сайте ИГУ [www.isu.ru](http://www.isu.ru) и физического факультета ИГУ.
5. базы данных, информационно-справочные и поисковые системы: Интернет-ресурсы в свободном доступе и на сайте ИГУ [www.isu.ru](http://www.isu.ru) и физического факультета ИГУ.

## **VI. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля):**

### **6.1. Учебно-лабораторное оборудование:**

Практические занятия по данной дисциплине проводятся в учебной аудитории по расписанию.

На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет, стандартные средствами просмотра презентаций и других материалов по курсу.

Лабораторный практикум по дифракционным методам.

В качестве методического обеспечения имеется ряд учебных пособий, находящихся в библиотеке физического факультета.

Оборудования и пособия для практического изучения кристаллической структуры имеется в лаборатории рентгеноструктурного анализа физического факультета.

### **6.2. Программное обеспечение:**

Стандартные сервисы сети Интернет, стандартные средствами просмотра презентаций и других материалов по курсу

### **6.3. Технические и электронные средства:**

Для проведения практических и лекционных занятий в качестве демонстрационного оборудования используются проектор, экран и меловая доска. Используются современные образовательные технологии: информационные (лекции и презентации в Power Point), проектные (мультимедиа, видео, документальные фильмы). Использование глобальной компьютерной сети позволяет обеспечить доступность Интернет-ресурсов и реализовать самостоятельную работу студентов, в ходе которой они могут вычитывать научные статьи по темам курса. На лекциях могут использоваться мультимедийные средства: проектор (CASIO XJ-A241), переносной экран (Classic Solution, T195x195/1MW-LU/B), ноутбук Lenovo B590. На факультете имеется компьютеризированная аудитория, предназначенная для самостоятельной работы, с неограниченным доступом в Интернет.

Материалы: научные статьи и монографии из рецензируемых журналов, рассматривающие современные подходы и исследования в области кристаллофизики.

## **VII. Образовательные технологии**

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по реализации компетентного подхода, в учебном процессе используются активные и интерактивные формы проведения занятий. Интерактивные формы работы на учебных занятиях предусматривают активную позицию студентов при изучении материала, например, самостоятельно подготовить дополнение к

теме и вынести его на обсуждение, провести дискуссию, включить элементы собственных научных исследований и сделать краткую презентацию своих выступлений на научных конференциях. Все это формирует способности применять знания, умения и личностные качества для успешной деятельности в области исследований космоса.

Изучение курса «**Основы кристаллофизики**» идет в плане накопительной системы, т.е. содержательная часть каждого раздела, как правило, завершается тестовым контролем оценки знаний. Студент в течение каждого семестра должен выполнить определённое количество практических заданий. Контроль самостоятельной работы осуществляется при проверке представленных студентами *заданий* (СР) по теме соответствующего раздела.

На практических занятиях студенты используют результаты рентгенографических экспериментов для установления взаимосвязи кристаллофизических особенностей и комплекса физических свойств исследуемых объектов. По материалам наблюдений они приобретают исследовательские навыки, необходимые для работы по междисциплинарным направлениям после получения базового образования и формируют компетенцию готовности выявить естественнонаучную сущность проблем, компетенцию готовности использовать методы теоретической и экспериментальной физики в профессиональной деятельности и способности самостоятельно работать.

Программа основана на использовании современных образовательных технологий: информационных (презентации в Power Point), проектных (мультимедиа, видео), дистанционные, научно-исследовательской направленности и т. п.

### **VIII. Оценочные материалы для текущего контроля и промежуточной аттестации**

Фонд оценочных средств (ФОС) представлен в приложении.

#### 8.1.1. Оценочные средства для входного контроля

Проводится опрос на первом занятии.

#### 8.1.2. Оценочные средства текущего контроля

Содержание учебного материала разделено на дидактические единицы (ДЕ) – предметные темы, подлежащие обязательному изучению и усвоению в процессе обучения. Контроль заданий осуществляется в виде решения задач и выполнения практических заданий по темам курса. Учитывается промежуточная аттестация по итогам самостоятельной работы, предусмотренной программой курса.

Примерные тестовые задания по основам кристаллофизики приведены в фондах оценочных средств (в приложении).

Примерные варианты задач для практических занятий:

- 1) Найти матричное представление операции симметрии, дающей тот же результат, что поворот вокруг оси 2, проходящей вдоль X1 и вокруг оси 3 идущей вдоль X3.
- 2) Найти матричное представление операции симметрии, дающей тот же результат, что поворот вокруг оси 3, проходящей вдоль X3 и вокруг оси 2 идущей вдоль X1.
- 3) Найти матричное представление операции симметрии, дающей тот же результат, что поворот вокруг оси 2, проходящей вдоль X1 и вокруг оси 2 идущей вдоль X2 и вокруг оси 4 идущей вдоль X3.
- 4) В кристалле возможны несколько операций симметрии:
  1. поворот вокруг оси 6, совпадающей с осью X3;
  2. поворот вокруг оси 2, совпадающей с осью X1;
  3. отражение в начале координат как в центре симметрии (C).
 Определить результирующую операцию при последовательном выполнении 1, затем 2, затем 3.
- 5) В кристалле возможны несколько операций симметрии:
  1. поворот вокруг оси 6, совпадающей с осью X3;
  2. поворот вокруг оси 2, совпадающей с осью X1;
  3. отражение в начале координат как в центре симметрии (C).
 Определить результирующую операцию при последовательном выполнении 1, затем 3, затем 2.

### 8.1.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№ п\п	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1.	Проверка решения домашних задач	Матричное представление симметрических операций	ПК1
2.	Проверка домашнего конспекта	Симметрия структуры. Физические свойства и симметрия кристаллов. Анизотропия кристаллов.	ПК1
3	Проверка домашнего конспекта	Физические свойства идеальных кристаллов и симметрия.	ПК1
4	Проверка решения домашних задач	. Физические свойства кристаллов, описываемые тензором первого ранга.	ПК1
5.	Проверка решения	Физические свойства кристаллов,	ПК1



	домашних задач	описываемые тензором второго ранга.	
6	Проверка отчетов по лаб. работам	Основные методы исследования структуры кристаллов.	ПК1
7	Проверка домашнего конспекта	Основные несовершенства кристаллов	ПК1
8	Экзамен, тест, контрольная работа	Все темы	ПК1

### Примерный список вопросов и упражнений к экзамену

1. Элементы макро- и микросимметрии кристаллов.
2. Построение стереографических проекций с использованием сетки Вульфа.
3. Представление структуры кристаллов в идее полиэдрических фигур по Н.В. Белову.
4. Матричные представления симметричных преобразований.
5. Основные типы кристаллических структур.
6. Элементы симметрии кристаллических многогранников. Точечные группы симметрии. Предельные группы Кюри.
7. Символы узлов (точек), рядов (направлений) и граней (плоскостей) в кристаллическом многограннике. Индексы Миллера для плоскости.
8. Структура кристаллов и кристаллическая решетка. Типы ячеек Бравэ.
9. Элементы симметрии кристаллических структур. Пространственные группы симметрии.
10. Обратная решетка, её значение для кристаллографии и физики твердого тела.
11. Физические свойства идеальных кристаллов и их симметрия. Принцип Неймана.
12. Физические свойства кристаллов и их симметрия. Принцип суперпозиции симметрии (принцип Кюри).
13. Прямой и обратный пьезоэлектрические эффекты в кристаллах.
14. Типы связей в кристаллах.
15. Механические свойства кристаллов.
16. Оптические свойства кристаллов
17. Электрические и диэлектрические свойства кристаллов.
18. Дифракционные эффекты в кристаллах их связь с симметрией.
19. Основные методы структурного анализа.
20. Тепловые свойства кристаллов.
21. Жидкие кристаллы, их симметрия и свойства.

#### Вопросы по дифракционным методам исследования

1. Когерентное рассеяние рентгеновских лучей – основа рентгеноструктурного анализа. Рассеяние свободным электроном. Формула Томсона. Понятие рассеивающей способности объекта. Интерференция. Дифракционный эффект.

2. Рассеяние рентгеновских лучей атомом, группой атомов. Атомная амплитуда, атомный фактор. Понятие электронной плотности. Понятие рассеивающего центра.
3. Обратное пространство и дифракция рентгеновских лучей на кристаллах. Кинематическая теория интерференции рентгеновских лучей в кристаллах. Геометрическое толкование условий интерференции с помощью обратной решетки. Обратная решетка как поле интерференционных функций. Сфера Эвальда.
4. Интегральная интенсивность и факторы, на нее влияющие. Атомный множитель. Структурная амплитуда и структурный фактор. Формулы структурной амплитуды для кристаллов с различными ячейками Бравэ. Преобразование формул структурной амплитуды при наличии элементов симметрии.
5. “Рабочие” формулы для расчета структурной амплитуды. Фактор поляризации, его зависимость от условий эксперимента. Температурный фактор, учет его анизотропности. Кинематический множитель. Фактор Лоренца. Геометрический фактор. Фактор поглощения, его расчет. Введение экстинкционных поправок. Фактор повторяемости, его связь с симметрией кристалла и условиями регистрации рентгенограмм.
6. Экспериментальные приемы определения интенсивности, расчета структурного фактора и структурной амплитуды.
7. Метод проб и ошибок. Сущность метода. Принципы плотнейшей упаковки. Общие принципы метода. Учет сведений о симметрии кристалла при построении его структурной модели. Выбор структурной модели. Фактор расходимости.
8. Разложение электронной плотности в ряд Фурье. Физический смысл разложения электронной плотности в ряд Фурье. Определение положения атомов на распределении электронной плотности.
9. Метод Паттерсона. Суть метода. Переход от пространства кристалла к векторному пространству. Заострение максимумов межатомной функции. Удаление максимумов в начале координат из распределения Паттерсона. Квадратизированный кристалл

Разработчики:



---

доцент, к.ф.-м.н,  
(занимаемая должность)

Г.А.Кузнецова  
(инициалы, фамилия)

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 Физика

Программа рассмотрена на заседании кафедры общей и экспериментальной физики

Протокол № 7 от 26. 03.2024 г.

Зав. кафедрой д.ф.-м.н.,



профессор

А.А. Гаврилюк

*Настоящая программа не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.*