

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
Физики твердого тела и наноструктур
_____ (Середин П.В.)
28.08.2020

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.01.01 Кристаллофизика, кристаллография и основы
рентгеноструктурного анализа

1. Код и наименование направления подготовки:

03.03.02 Физика

2. Профиль подготовки:

Физика твердого тела

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра физики твердого тела и наноструктур

6. Составители программы:

Голощاپов Дмитрий Леонидович, к.ф.-м.н., доцент; Буйлов Никита Сергеевич, к.ф.-м.н., преподаватель

7. Рекомендована:

кафедрой физики твердого тела и наноструктур, протокол от 28.08.2020 №1

8. Учебный год: 2021/2022

Семестр: шестой

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- формирование у обучающихся комплекса знаний, умений, навыков и компетенций, необходимых для описания структуры кристаллов и их физических свойств при освоении теоретических основ и практическом использовании физических методов.

- формирование у обучающихся современных представлений о методиках экспериментального исследования параметров и контроля характеристик функциональных материалов и наноматериалов с использованием наиболее распространенных рентгеноструктурных методов анализа вещества.

Задачи учебной дисциплины:

- получение систематизированного представления о закономерностях атомного строения кристаллов, их симметрии;

- формирование навыков построения и применения моделей кристаллических структур, и проведения расчетов по различным моделям

- формирование знаний о связи фундаментальных свойств кристаллов с их атомным строением,

- усвоение основ тензорного описания физических свойств кристалла, принципов сложения симметрии внешних воздействий с симметрией самого кристалла.

- формирование представлений о закономерности изменения свойств кристаллов под влиянием внешних воздействий;

- усвоение основ экспериментального исследования параметров и контроля характеристик кристаллических материалов и наноматериалов с использованием рентгеноструктурного анализа вещества

- формирование знаний о наиболее распространенных методиках рентгеноструктурного анализа, применяемых для исследования характеристик микро и наноматериалов современной техники;

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина «Кристаллофизика, кристаллография и основы рентгеноструктурного анализа» относится к вариативной части блока Б1.

11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

Компетенция		Планируемые результаты обучения
Код	Название	
ОПК-3	способностью использовать базовые теоретические знания фундаментальных разделов общей и теоретической физики для решения профессиональных задач	Знать: фундаментальные представления о закономерностях атомного строения кристаллов, их симметрии, свойств, способах описания и методах исследования Уметь: проводить описание кристаллической структуры веществ, на основе моделей кристаллических структур, и проводить расчеты по различным кристаллическим моделям, описывать физических свойств и кристалла и определять методы исследования кристаллических структур. Владеть: систематизированным представлением о закономерностях атомного строения кристаллов, их симметрии, свойствах и их математическом описании и методами рентгеноструктурного анализа, применяемыми для исследования характеристик кристаллических наноструктур
ПК-4	способностью применять на практике профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных физических дисциплин	знать: принципы формирования дифракционных картин от различных материалов и основные методики рентгеноструктурного анализа вещества уметь: проводить расчеты, оценивать точность полученных результатов на основе рентгенодифракционного анализа различных материалов владеть: методикой анализа рентгендифракционных данных и способами интерпретации результатов рентгеноструктурного анализа вещества

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 2/72.

Форма промежуточной аттестации зачет с оценкой

13 Виды учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость	
	Всего	По семестрам
		6 семестр
Аудиторные занятия	32	32
в том числе: лекции	32	32
практические		
лабораторные		
Самостоятельная работа	40	40
Форма промежуточной аттестации	зачет с оценкой	зачет с оценкой
Итого:	72	72

13.1. Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Симметрия кристаллов	Кристаллическое состояние: основные характеристики. Элементы симметрии кристаллических многогранников. Матричное представление симметрических операций. Преобразование осей кристаллофизической системы координат, компонент вектора и координат точки. Точечные группы симметрии кристаллов. Операции и элементы симметрии конечных фигур I и II рода (ось симметрии – поворотные, зеркальные и инверсионные, плоскость симметрии и центр симметрии). Их обозначение в символике Браве. Основной закон симметрии кристаллов - невозможность осей симметрии V порядка и выше порядков. Теоремы о сочетании элементов симметрии и их использование при выводе 32-х кристаллографических классов. Предельные группы симметрии Кюри. Координатные системы в кристаллографии, категории, сингонии. Международная символика и символика А. Шенфлиса точечных классов (групп) симметрии. Кристаллографические проекции. Сферическая проекция, полярный комплекс кристалла. Стереографическая проекция. Гномографическая проекция. Сетка Вульфа. Закон постоянства углов – основной закон кристаллографии.
1.2	Метод кристаллического индентирования	Символы узлов, ребер, граней кристалла. Понятие «символ грани кристалла». Индексы Миллера. Закон Гаюи – закон рациональности отношения параметров граней. Понятие «единичная грань» и ее выбор в кристаллах разных сингоний.. Связь символов граней и ребер кристалла.
1.3	Элементы математического аппарата теории групп	Понятие группы. Порядок группы, порядок элемента. Понятие циклической, абелевой групп. Понятие подгруппы. Нормальный делитель. Классы сопряженных элементов. Точечные группы кристаллических многогранников.
1.4	Симметрия структуры кристаллов	Структура кристаллов и пространственная решетка. Типы решеток Браве. Определение элементарной ячейки – ячейки Браве. Примитивная, условная ячейки Браве. Элементы симметрии кристаллических структур. Трансляционные элементы симметрии – плоскости скользящего отражения, винтовые оси. Общие представления о 230 пространственных группах симметрии. Обратная решетка. Основные свойства обратной решетки. Основные формулы структурной кристаллографии.
1.5	Физические свойства идеальных кристаллов и симметрия	Основной закон кристаллофизики (принцип Неймана). Принцип суперпозиции симметрии (принцип Кюри). Типы связей в кристаллах. Химическая связь, ближней порядок и основные типы твердых тел: металлы, полупроводники, ионные кристаллы.
1.6	Тензорное описание.	Тензорное описание физических свойств кристаллов и внешних

	Физические свойства кристаллов, описываемые тензором первого ранга.	воздействий. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект в кристаллах. Ограничения, налагаемые симметрией кристалла. Применение прямого и обратного пьезоэффектов
1.7	Физические свойства кристаллов, описываемые тензором второго ранга	Симметрия полярных тензоров второго ранга. Характеристическая поверхность второго порядка для тензора второго ранга, ее геометрические образы и симметрия. Группы симметрии полярных тензоров второго ранга. Тензоры диэлектрической проницаемости и непроницаемости кристаллов. Описание распространения света в анизотропных кристаллах с помощью оптических индикатрис. Тензоры механических напряжений и деформаций как примеры полевых симметричных тензоров второго ранга.
1.8	Дефекты в кристаллах.	Дефекты кристаллической структуры. Основные типы дефектов. Влияние на оптические и электрофизические свойства. . Методы наблюдений.
1.9	Основные теоретические представления о дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке.	Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом, уравнения Лауэ, уравнение Вульфа-Брэггов, Прямой и обратный кристаллический комплекс, построение Эвальда. Геометрия дифракционной картины, ее зависимость от сингонии и длины волны, первичного излучения.
1.10	Основные методы исследования кристаллов	Дифракционные методы исследования кристаллов. Дифрактометрический метод исследования. Идентификация и качественный фазовый анализ. Чувствительность метода. Количественный фазовый анализ. Определение размеров кристаллитов в крупнодисперсных материалах. По точечным дебаеграммам и множественным лауэграммам. Текстуры, определение степени текстурированности Прецизионное определение параметров решетки, тип и концентрация твердых растворов. Определение остаточных макронапряжений. Анализ остаточных микронапряжений. Оценка концентрации дефектов в сплавах по статическим искажениям и динамическим искажениям кристаллической решетки.

13.2. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
	Симметрия кристаллов	2			2	4
	Метод кристаллического индцирования	4			4	8
	Элементы математического аппарата теории групп	4			4	8
	Симметрия структуры кристаллов	2			2	4
	Физические свойства идеальных кристаллов и симметрия	4			4	8
	Тензорное описание. Физические свойства кристаллов, описываемые тензором первого ранга.	4			4	8
	Физические свойства кристаллов, описываемые тензором второго ранга	4			4	8
	Дефекты в кристаллах.	2			2	4
1	Основные теоретические представления о дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке.	4			4	8
2	Основные методы исследования кристаллов	2			2	4
	Итого:	32			40	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Кристаллофизика, кристаллография и основы рентгеноструктурного анализа» предусматривает осуществление учебной деятельности, состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Самостоятельная работа студентов наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки магистров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа студента позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развиваются творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа студентов, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу студентов и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность студентов должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности студента по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако, как бы хорошо не обучались учащиеся способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных студентом знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая воспринять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы студента предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;
- выделение главных структур учебного курса;
- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии (по образовательным формам): лекции и индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ-демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов-магистров. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить, как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнить, когда требуется.

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Следует помнить о том, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;

- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;

- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;

- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;

- записывать надо сжато;

- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;

- выделение главных структур учебного курса;

- формирование средств выражения в данной области;

- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа обучающихся при изучении дисциплины «Кристаллография и кристаллофизика» включает в себя: изучение теоретической части курса, подготовку к выполнению лабораторных работ, написание отчетов по лабораторным работам.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Кристаллография и кристаллофизика» включает в себя

изучение теоретической части курса – 40 часов

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Басалаев, Ю.М. Кристаллофизика и кристаллохимия : учебное пособие / Ю.М. Басалаев ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет». - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2014. - 403 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : http://biblioclub.ru
2	Бойко, С.В. Кристаллография и минералогия. Основные понятия : учебное пособие / С.В. Бойко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Сибирский Федеральный университет. - Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2015. - 212 с. // Электронно-библиотечная система. — URL : http://biblioclub.ru
3	Кристаллофизика [Электронный ресурс]: учеб.пособие / О. Р. Семенова; Перм. гос. нац. исслед.ун-т. – Электрон. дан. – Пермь, 2019. – 5,99 Мб; 179 с. – Режим доступа: http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/semenovakristallofizika.pdf .
4	Диденко, И. С. Кристаллофизика. Симметрия кристаллических многогранников. Лабораторный практикум : учебное пособие / И. С. Диденко, В. В. Гераськин. — Москва : МИСИС, 2011. — 76 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/51700 (дата обращения: 02.02.2022). — Режим доступа: для авториз.

	пользователей.
5	Бердинский, В. Л. Кристаллофизика : учебное пособие / В. Л. Бердинский, О. Н. Каныгина, А. Г. Четверикова. — Оренбург : ОГУ, 2016. — 104 с. — ISBN 978-5-7410-1619-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/110675
6	Сергеев, Н. А. Кристаллофизика : монография / Н. А. Сергеев. — Москва : Логос, 2020. — 160 с. — ISBN 978-5-98699-182-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/163083 (дата обращения: 03.02.2022). — Режим доступа: для авториз. пользователей.
7	Розин, К. М. Кристаллофизика : учебное пособие / К. М. Розин, В. С. Петраков. — Москва : МИСИС, 2006. — 249 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/51712
8	П.В.Андреев,В.Н.Трушин,М.А.Фадеев «Рентгеновский фазовый анализ поликристаллических материалов» Из-во Нижегородского университета 2013.
9	Г.В.Фетисов «Синхротронное излучение,методы исследования структуры веществ»Москва, физматлит, 2007
10	Л.А.Асланов, Г.В.Фетисов, Н.А.Лактионов «Прецизионный рентгендифракционный эксперимент» МГУ 1989
11	М.А.Порай-Кошиц « Основы структурного анализа химических соединений » Высшая школа М.1989.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
12	Сиротин Ю.И. Основы кристаллофизики: учебное пособие для студ. физич. специальностей вузов./ Ю.И. Сиротин, М.П. Шаскольская. - М.: Наука, 1979. - 639 с.
13	Кристаллография и кристаллохимия [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие : [для студ. бакалавриата и специалитета 1 курса очной и 2 курса заочной форм обучения направления 05.03.01 - Геология] / Воронеж. гос. ун-т ; [сост. О.Г. Резникова и др.] .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2019 .— Загл. с титула экрана .— Для зарегистрированных читателей ВГУ .— Текстовый файл .— <URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m19-124.pdf >.
14	Основы геометрической кристаллографии : учебное пособие / К.Л. Новоселов ; Томский политехнический университет. — Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. — 73 с.
15	Белов, Н. П. Основы кристаллографии и кристаллофизики : учебное пособие / Н. П. Белов, О. К. Покопцева, А. Д. Яськов. — Санкт-Петербург : НИУ ИТМО, [б. г.]. — Часть I : Введение в теорию симметрии кристаллов — 2009. — 43 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/43438

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
16	http://www.lib.vsu.ru – Зональная научная библиотека ВГУ
17	http://e.lanbook.com - ЭБС «ЛАНЬ»
18	https://edu.vsu.ru – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"
19	http://www.moodle.vsu.ru
20	https://biblioclub.ru – ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
21	https://elibrary.ru – Научная электронная библиотека

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Точечные группы симметрии кристаллов: Учебное пособие для вузов / М.К. Шаров, Б.М. Даринский, А.М. Самойлов, В.Ф. Кострюков – Издательский дом ВГУ, 2016. – 38 с.
2	Исследование особенностей атомного и электронно-энергетического строения металлов, полупроводников и диэлектриков [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: Ю.А. Юраков [и др.] .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2021 .— Загл. с титул. экрана .— Для зарегистрированных читателей ВГУ .— Текстовый файл .— <URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m21-93.pdf >.

17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы

Необходимо пользоваться возможностью интерактивного проведения лекций, задавать вопросы, высказываться по проблематике материала. На занятиях выполнение учебных заданий осуществляется в аудитории и дома. Обязательно посещение текущих аттестаций.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатория рентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа (к.25): Рентгеновский спектрометр-монокроматор РСМ-500 - 1 шт., макеты кристаллических решеток основных материалов электронники.; Лаборатория рентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа (лаб. 21): рентгеновский дифрактометр Радян ДР-023 - 1 шт., спектрометр универсальный рентгеновский «Реном» СУР-01 - 1 шт; лабораторная установка Leybold rontgengerat X-ray apparatus 554800 - 1 шт.

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

19. Фонд оценочных средств:

19.1. Перечень компетенций с указанием этапов формирования и планируемых результатов обучения

Код и содержание компетенции (или ее части)	Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции посредством формирования знаний, умений, навыков)	Этапы формирования компетенции (разделы (темы) дисциплины или модуля и их наименование)	ФОС (средства оценивания)
ОПК-3	Знать: основные принципы описания симметрии кристаллов Уметь: проводить описание симметрии кристаллов Владеть: основными принципами описания симметрии кристаллов	Симметрия кристаллов	Комплект КИМ
ОПК-3	Знать: методы кристаллического индирования Уметь проводить кристаллическое индирование вещества Владеть: навыками кристаллического индирования	Метод кристаллического индирования	Комплект КИМ
ОПК-3	Знать: основы математического аппарата теории групп для описания кристаллов Уметь: использовать математический аппарат теории групп для описания кристаллов Владеть: математическим аппарата теории групп для описания кристаллов	Элементы математического аппарата теории групп	Комплект КИМ
ОПК-3	Знать: основы структурного описания кристаллов Уметь определять структуру и симметрию кристаллов Владеть навыками определения симметрии структуры кристаллов	Симметрия структуры кристаллов	Комплект КИМ
ОПК-3	Знать: основные свойства идеальных кристаллов и их связь с симметрией кристаллов Уметь: проводить описание основных свойств идеальных кристаллов на основе их симметрии Владеть: способами представления основных свойства идеальных кристаллов, связанных с симметрией кристаллов	Физические свойства идеальных кристаллов и симметрия	Комплект КИМ
ОПК-3	Знать: аппарат тензорного описания физических свойств кристаллов	Тензорное описание.	Комплект КИМ

	Уметь: проводить описание физических свойств кристаллов описываемых тензорами первого ранга Владеть: методикой описания физических свойств кристаллов описываемых тензорами первого ранга	Физические свойства кристаллов, описываемые тензором первого ранга.	
ОПК-3	Знать: аппарат тензорного описания физических свойств кристаллов Уметь: проводить описание физических свойств кристаллов описываемых тензорами второго ранга Владеть: методикой описания физических свойств кристаллов описываемых тензорами второго ранга	Физические свойства кристаллов, описываемые тензором второго ранга	Комплект КИМ
ОПК-3	Знать: основные способы описания дефектов в кристаллах Уметь: проводить описание дефектов кристаллических структур Владеть: методикой описания физических свойств кристаллов описываемых тензорами второго ранга	Дефекты в кристаллах.	Комплект КИМ
ПК-4	знать: принципы информирования дифракционных картин от различных материалов уметь: проводить расчеты, оценивать точность полученных результатов владеть: методикой анализа рентгendifракционных данных	Основные теоретические представления о дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке	Комплект КИМ
ПК-4	знать: принципы информирования дифракционных картин от различных материалов уметь: проводить расчеты, оценивать точность полученных результатов владеть: методикой анализа рентгendifракционных данных	Метод порошка в рентгенографии	Комплект КИМ
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет			Комплект КИМ

19.2 Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Студент проявляет знания основных понятий, определений и теорем. По зачетной контрольной работе имеет положительную оценку.	Пороговый уровень	зачтено
Во всех остальных случаях	–	не зачтено

19.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

19.3.1 Контрольно-измерительный материал:

Контрольно-измерительный материал №1

1. Кристаллическое состояние: основные характеристики. Элементы симметрии кристаллических многогранников.
2. Основной закон кристаллофизики (принцип Неймана).

Контрольно-измерительный материал №2

1. Матричное представление симметрических операций. Преобразование осей кристаллофизической системы координат
2. Принцип суперпозиции симметрии (принцип Кюри)

Контрольно-измерительный материал №3

1. Точечные группы симметрии кристаллов. Операции и элементы симметрии конечных фигур I и II рода
2. Типы связей в кристаллах. Химическая связь, ближней порядок и основные типы твердых тел

Контрольно-измерительный материал №4

1. Основной закон симметрии кристаллов - невозможность осей симметрии V порядка и выше.
2. Тензорное описание физических свойств кристаллов и внешних воздействий

Контрольно-измерительный материал №5

1. Теоремы о сочетании элементов симметрии и их использование при выводе 32-х кристаллографических классов
2. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффект в кристаллах. Ограничения, налагаемые симметрией кристалла. Применение прямого и обратного пьезоэффектов

Контрольно-измерительный материал №6

1. Предельные группы симметрии Кюри. Координатные системы в кристаллографии, категории, сингонии
2. Симметрия полярных тензоров второго ранга.

Контрольно-измерительный материал №7

1. Международная символика и символика А. Шенфлиса точечных классов (групп) симметрии
2. Характеристическая поверхность второго порядка для тензора второго ранга, ее геометрические образы и симметрия

Контрольно-измерительный материал №8

1. Кристаллографические проекции. Сферическая проекция, полярный комплекс кристалла. Стереографическая проекция.
2. Тензоры диэлектрической проницаемости и непроницаемости кристаллов.

Контрольно-измерительный материал №9

1. Гномостереографическая проекция. Сетка Вульфа. Закон постоянства углов – основной закон кристаллографии.
2. Описание распространения света в анизотропных кристаллах с помощью оптических индикатрис.

Контрольно-измерительный материал №10

1. Символы узлов, ребер, граней кристалла. Понятие «символ грани кристалла».
2. Тензоры механических напряжений и деформаций как примеры полевых симметричных тензоров второго ранга.

Контрольно-измерительный материал №11

1. Индексы Миллера. Закон Гаюи – закон рациональности отношения параметров граней.
2. Дефекты кристаллической структуры. Основные типы дефектов.

Контрольно-измерительный материал №12

1. Понятие «единичная грань» и ее выбор в кристаллах разных сингоний.. Связь символов граней и ребер кристалла.
2. Влияние дефектов кристаллической структуры на оптические и электрофизические свойства. . Методы наблюдений.

Контрольно-измерительный материал №13

1. Понятие группы. Порядок группы, порядок элемента. Понятие циклической, абелевой групп.
2. Дифракционные методы исследования кристаллов. Дифрактометрический метод исследования.

Контрольно-измерительный материал №14

1. Понятие подгруппы. Нормальный делитель. Классы сопряженных элементов. Точечные группы кристаллических многогранников.
2. Общее интерференционное уравнение Лауэ, его интерпретация с помощью сферы Эвальда.

Контрольно-измерительный материал №15

1. Структура кристаллов и пространственная решетка. Типы решеток Браве.
2. Связь общего интерференционного уравнения Лауэ с уравнением Вульфа - Брэгга.

Контрольно-измерительный материал №16

1. Определение элементарной ячейки – ячейки Браве. Примитивная, условная ячейки Браве.
2. Интенсивность дифракционных максимумов. Правила погасаний (непогасаний).

Контрольно-измерительный материал №17

1. Элементы симметрии кристаллических структур. Трансляционные элементы симметрии – плоскости скользящего отражения, винтовые оси.
2. Основные методы рентгеноструктурного анализа. Другие методы исследования структуры кристаллов.

Контрольно-измерительный материал №18

1. Общие представления о 230 пространственных группах симметрии.
2. Электронография. Электронная микроскопия.

Контрольно-измерительный материал №19

1. Обратная решетка. Основные свойства обратной решетки.
2. Основные формулы структурной кристаллографии.

Контрольно-измерительный материал №20

1. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом.
2. Основные формулы структурной кристаллографии.

Контрольно-измерительный материал №21

1. Уравнения Лауэ.

2. Уравнение Вульфа-Брэггов.

Контрольно-измерительный материал №22

1. Прямой и обратный кристаллический комплекс.
2. Построение Эвальда.

Контрольно-измерительный материал №23

Геометрия дифракционной картины, ее зависимость от сингонии и длины волны, первичного излучения.

Идентификация и качественный фазовый анализ. Чувствительность метода. Количественный фазовый анализ.

Контрольно-измерительный материал №24

1. Определение размеров кристаллитов в крупнодисперсных материалах. По точечным дебаеграммам и множественным лауэграммам
2. Текстуры, определение степени текстурированности

Контрольно-измерительный материал №25

1. Прецизионное определение параметров решетки, тип и концентрация твердых растворов.
2. Определение остаточных макронапряжений.

Контрольно-измерительный материал №26

1. Оценка концентрации дефектов в сплавах по статическим искажениям и динамическим искажениям кристаллической решетки.
2. Определение ориентации кубических кристаллов по одной лауэграмме.

19.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: выполнения лабораторных работ.

Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены выше.

Программа рекомендована НМС физического факультета протокол № 6 от 27.02.2020