

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО - ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено  
на заседании кафедры общей физики  
протокол 5 от «12» января 2022 г. г.

Согласовано:  
Председатель УМК факультета  
/института

Зав. кафедрой  /Балапанов М.Х

 / Балапанов М.Х

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### Дифракционный структурный анализ

Б1.В.05 обязательная часть часть, формируемая участниками  
образовательных отношений

*(указать часть (обязательная часть или часть, формируемая участниками образовательных отношений,  
факультатив))*

### программа бакалавриата

Направление подготовки (специальность)

03.03.02 «Физика»,

*(указывается код и наименование направления подготовки (специальности))*

Направленность (профиль) подготовки


Цифровые технологии в физике функциональных материалов

*(указывается наименование направленности (профиля) подготовки)*

Квалификация

**Бакалавр**

*(указывается квалификация)*

<p>Разработчик (составитель) <u>д.ф.-м.н., проф. Альмухаметов Р.Ф.</u> (должность, ученая степень, ученое звание)</p>	<p> / <u>Альмухаметов Р.Ф</u> — (подпись, Фамилия И.О.)</p>
---	---

Для приема 2022 г.  
Уфа 2022

Составитель / составители: д.ф.-м.н., проф. Альмухаметов Р.Ф.

Рабочая программа дисциплины *утверждена* на заседании кафедры общей физики от «19» января 2021 г. протокол №3

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры общей физики, протокол № 1 от «30» августа 2021 г.

Заведующий кафедрой



/ Балапанов М.Х./

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры на заседании кафедры общей физики протокол № 5 от 12 января 2022 г.

Заведующий кафедрой



/ Балапанов М.Х./

### Список документов и материалов

I.	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы (с ориентацией на карты компетенций)	3
2.	Место дисциплины в структуре образовательной программы	4
3.	Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)	5
4	Фонд оценочных средств по дисциплине	5
	4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания	5
	4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	8
	4.3. Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)	9
5	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	15
	5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины	15
	5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины	15
6	Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине	16

#### 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

ПК-1 Способен планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований

ПК-4 Способен использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий

Категория (группа) компетенций	Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
--------------------------------	--	--	-----------------------------------

<p>Профессиональные компетенции (ПК-1, ПК-4)</p>	<p>ПК-1 Способен планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований</p> <p>ПК-4 Способен использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы материалов, технического контроля качества материалов и изделий</p>	<p>ПК-1.1 ПК-4.1 Знать: 1. природа рентгеновских лучей, их взаимодействие с веществом; особенности взаимодействия рентгеновский лучей, нейтронов и электронов с веществом; задачи, решаемые этими методами; 2. Основы теории дифракции рентгеновских лучей кристаллом, основные формулы структурного анализа, влияние различных факторов на дифракционную картину, структурный фактор, расчет структурного фактора для простейших структур. 3. основные методы рентгеноструктурного анализа; 4. общие представления о рентгеновской аппаратуре;</p> <p>ПК-1.2 ПК-4.2 Уметь: 1. читать и понимать научно-техническую литературу по структурному и фазовому анализу в предстоящей области профессиональной деятельности; 2. работать с</p>	<p>Знать: 1. природа рентгеновских лучей, их взаимодействие с веществом; особенности взаимодействия рентгеновский лучей, нейтронов и электронов с веществом; задачи, решаемые этими методами; 2. Основы теории дифракции рентгеновских лучей кристаллом, основные формулы структурного анализа, влияние различных факторов на дифракционную картину, структурный фактор, расчет структурного фактора для простейших структур. 3. основные методы рентгеноструктурного анализа; 4. общие представления о рентгеновской аппаратуре;</p> <p>Уметь: 1. читать и понимать научно-техническую литературу по структурному и фазовому анализу в предстоящей области профессиональной деятельности; 2. работать с рентгеновскими аппаратами для структурного анализа; 3. обоснованно выбирать излучение,</p>
--	--	--	---

		<p>рентгеновскими аппаратами для структурного анализа;</p> <p>3. обоснованно выбирать излучение, фильтры и условия съемки;</p> <p>4. обрабатывать и анализировать информацию, полученную с рентгеновских аппаратов;</p> <p>5. применять основы теории дифракции рентгеновских лучей кристаллом для решения задач в профессиональной деятельности;</p> <p>проводить качественный и количественный рентгенофазовый анализ, определять параметры решетки, индифицировать рентгенограммы кристаллов, определить ориентировку монокристаллов;</p> <p>ПК-1.3 ПК-4.3 Владеть: 1.навыки работы с научно-технической литературой по структурному и фазовому анализу в предстоящей области профессиональной деятельности;</p> <p>2. навыки проведения качественного и количественного рентгенофазового анализа, определения параметров решетки, индифицирования</p>	<p>фильтры и условия съемки;</p> <p>4. обрабатывать и анализировать информацию, полученную с рентгеновских аппаратов;</p> <p>5. применять основы теории дифракции рентгеновских лучей кристаллом для решения задач в профессиональной деятельности;</p> <p>проводить качественный и количественный рентгенофазовый анализ, определять параметры решетки, индифицировать рентгенограммы кристаллов, определить ориентировку монокристаллов;</p> <p>Владеть: 1.навыки работы с научно-технической литературой по структурному и фазовому анализу в предстоящей области профессиональной деятельности;</p> <p>2. навыки проведения качественного и количественного рентгенофазового анализа, определения параметров решетки, индифицирования рентгенограмм кристаллов, ориентировки монокристаллов;</p> <p>3. навыки работы с рентгеновскими</p>
--	--	---	---

		рентгенограмм кристаллов, ориентировки монокристаллов; 3. навыки работы с рентгеновскими аппаратами для структурного анализа;	аппаратами для структурного анализа;
--	--	--	--------------------------------------

## 2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Учебная дисциплина «Дифракционный структурный анализ» входит в раздел «Б.1.В05. Обязательная дисциплина, формируемая участниками образовательных отношений по направлению подготовки 03.03.02 «Физика»

Дисциплина изучается на 4 курсе(ах) в 8\_ семестре).

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин:

Высшая математика.

Атомная физика

Квантовая теория

Кристаллография

Физика реальных кристаллов

Физика конденсированного состояния

Физика металлов и сплавов

Знание раздела физики "Дифракционный структурный анализ" необходимо для изучения магистерских курсов, для выполнения бакалаврских и магистерских диссертаций.

## 3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1

## 4. Фонд оценочных средств по дисциплине

### 4.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Планируемые результаты обучения (индикаторы достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения			
	2 («Не удовлетворительно»)	3 («Удовлетворительно»)	4 («Хорошо»)	5 («Отлично»)
ПК-1.1 ПК-4.1 <b>Знать:</b> Знать: 1. природа рентгеновских лучей, их взаимодействие с веществом; особенности взаимодействия рентгеновский лучей, нейтронов и электронов с веществом; задачи, решаемые этими методами;	<b>Частично знает</b> 1. природа рентгеновских лучей, их взаимодействие с веществом; особенности взаимодействия рентгеновский лучей, нейтронов и электронов с веществом; задачи, решаемые этими методами;	<b>В целом знает</b> 1. природа рентгеновских лучей, их взаимодействие с веществом; особенности взаимодействия рентгеновский лучей, нейтронов и электронов с веществом; задачи, решаемые этими методами;	<b>Знает</b> 1. природа рентгеновских лучей, их взаимодействие с веществом; особенности взаимодействия рентгеновский лучей, нейтронов и электронов с веществом; задачи, решаемые этими методами;	<b>Знает</b> 1. природа рентгеновских лучей, их взаимодействие с веществом; особенности взаимодействия рентгеновский лучей, нейтронов и электронов с веществом; задачи, решаемые этими методами;



фазовому анализу в предстоящей области профессиональной деятельности; 2. навыки проведения качественного и количественного рентгенофазового анализа, определения параметров решетки, индиферирования рентгенограмм кристаллов, ориентировки монокристаллов; 3. навыки работы с рентгеновскими аппаратами для структурного анализа;	профессиональной деятельности; 2. навыки проведения качественного и количественного рентгенофазового анализа, определения параметров решетки, индиферирования рентгенограмм кристаллов, ориентировки монокристаллов; 3. навыки работы с рентгеновскими аппаратами для структурного анализа;	профессиональной деятельности; 2. навыки проведения качественного и количественного рентгенофазового анализа, определения параметров решетки, индиферирования рентгенограмм кристаллов, ориентировки монокристаллов; 3. навыки работы с рентгеновскими аппаратами для структурного анализа; <b>но допускает грубые ошибки</b>	профессиональной деятельности; 2. навыки проведения качественного и количественного рентгенофазового анализа, определения параметров решетки, индиферирования рентгенограмм кристаллов, ориентировки монокристаллов; 3. навыки работы с рентгеновскими аппаратами для структурного анализа; <b>но допускает незначительные ошибки</b>	профессиональной деятельности; 2. навыки проведения качественного и количественного рентгенофазового анализа, определения параметров решетки, индиферирования рентгенограмм кристаллов, ориентировки монокристаллов; 3. навыки работы с рентгеновскими аппаратами для структурного анализа;
--	---	--	--	---

**4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

<b>Код и наименование индикатора достижения компетенции</b>	<b>Результаты обучения по дисциплине</b>	<b>Оценочные средства</b>
<p>ПК-1 Способен планировать и проводить научные исследования по перспективным направлениям фундаментальной и прикладной физики, материаловедения и наукоемких технологий с применением современных приборов и методов исследований</p> <p>ПК-4 Способен использовать фундаментальные знания по физическим свойствам материалов и экспериментальным методам исследований в профессиональной деятельности в областях материаловедения, технической экспертизы</p>	<p>ПК-1.1 ПК-4.1</p> <p><b>Знать:</b> Знать:</p> <p>1. природа рентгеновских лучей, их взаимодействие с веществом; особенности взаимодействия рентгеновский лучей, нейтронов и электронов с веществом; задачи, решаемые этими методами;</p> <p>2. Основы теории дифракции рентгеновских лучей кристаллом, основные формулы структурного анализа, влияние различных факторов на дифракционную картину, структурный фактор, расчет структурного фактора для простейших структур.</p> <p>3. основные методы рентгеноструктурного анализа;</p> <p>4. общие представления о рентгеновской аппаратуре;</p>	<p>собеседование допуск к лабораторной работе, защита отчетов тестирование</p>



материалов, технического контроля качества материалов и изделий	.	
	<p><b>ПК-1.2</b> <b>ПК-4.2</b> <b>Уметь:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. читать и понимать научно-техническую литературу по структурному и фазовому анализу в предстоящей области профессиональной деятельности;</li> <li>2. работать с рентгеновскими аппаратами для структурного анализа;</li> <li>3. обоснованно выбирать излучение, фильтры и условия съемки;</li> <li>4. обрабатывать и анализировать информацию, полученную с рентгеновских аппаратов;</li> <li>5. применять основы теории дифракции рентгеновских лучей кристаллом для решения задач в профессиональной деятельности; проводить качественный и количественный рентгенофазовый анализ, определять параметры решетки, индифицировать рентгенограммы кристаллов, определить ориентировку монокристаллов;</li> </ol>	<p>собеседование допуск к лабораторной работе, защита отчетов тестирование</p>

	<b>ПК-1.3</b> <b>ПК-4.3</b> <b>Владеть:</b> 1.навыки работы с научно-технической литературой по структурному и фазовому анализу в предстоящей области профессиональной деятельности; 2. навыки проведения качественного и количественного рентгенофазового анализа, определения параметров решетки, индифференцирования рентгенограмм кристаллов, ориентировки монокристаллов; 3. навыки работы с рентгеновскими аппаратами для структурного анализа;	собеседование допуск к лабораторной работе, защита отчетов тестирование зачет
--	--	--

***Перечень вопросов по защите лабораторных работ и собеседованию.***

1 Дифракционные методы исследования структуры твердых тел. Рентгенография, нейтронография, электронография. Особенности этих методов. Основные понятия, характеризующие взаимодействие различных видов излучения с веществом. Сравнительная характеристика взаимодействия рентгеновского излучения, электронов и нейтронов с веществом.

2 Природа рентгеновских лучей. Получение рентгеновских лучей. Рентгеновские трубки. Механизм возникновения и свойства сплошного рентгеновского излучения. Распределение интенсивности сплошного излучения. Факторы, влияющие на интенсивность сплошного рентгеновского излучения.

3 Механизм возникновения и свойства характеристического излучения. Тонкая структура характеристических спектров. Правила отбора и диаграмма переходов. Фотоэффект. Оже-эффект. Вторичные спектры. Флюоресценция. Применение вторичного излучения.

4 Поглощение рентгеновских лучей веществом. Коэффициенты поглощения, их зависимость от длины и порядкового номера поглотителя, скачки поглощения. Определение коэффициентов поглощения. Понятие о классической и квантовой теории поглощения. Фильтры.

5 Рассеяние рентгеновских лучей кристаллом. Уравнение Вульфа-Брэггов. Интерференционная функция Лауэ. Анализ интерференционной функции Лауэ. Основные и побочные максимумы, соотношение их интенсивностей. Условия интерференции, выраженные через вектор обратной решетки. Сфера Эвальда. Рассеяние рентгеновских лучей кристаллами со сложным базисом. Структурный фактор. Правила погасания. Расчет структурного фактора для простейших структур.

6 Рассеяние рентгеновских лучей свободным электроном. Множитель Томпсона. Рассеяние рентгеновских лучей одноэлектронным атомом. Рассеяние рентгеновских лучей многоэлектронным атомом. Атомный фактор рассеяния.

7 Влияние тепловых колебаний атомов на интенсивность рассеянного рентгеновского излучения. Фактор Дебая-Валлера. Определение амплитуды тепловых колебаний атомов из рентгеновских данных.

8 Геометрический и абсорбционный факторы интенсивности рассеяния

рентгеновского излучения. Фактор повторяемости.

11 Кинематическая теория рассеяния рентгеновских лучей. Выражение для интенсивности рассеянного излучения в приближении кинематической теории. Понятие о динамической теории рассеяния рентгеновских лучей. Первичная и вторичная экстинкция.

12 Метод Лауэ. Возникновение интерференционной картины в методе Лауэ. Круг задач, решаемых с помощью метода Лауэ. Условия съемки лауэграмм и эпиграмм. Геометрия интерференционной картины. Гномоническая проекция. Зональные кривые. Особенности расположения пятен на лауэграммах. Определение ориентировки монокристалла по лауэграммам и эпиграммам.

13 Метод Дебая – Шерера. Возникновение интерференционной картины в методе Дебая. Индексирование дебаграмм. Круг задач, решаемых с помощью метода Дебая.

14 Метод вращения. Геометрия интерференционной картины. Определение периода идентичности по рентгенограмме вращения. Индексирование рентгенограмм вращения.

15 Электронографический метод исследования структуры. Его достоинства и недостатки. Области применения.

16 Нейтронографический метод исследования структуры. Области его применения и особенности.

### **Типовые вопросы при собеседовании по лабораторным работам**

#### ***Тема: Рентгеновские аппараты***

1. Как устроена рентгеновская трубка?
2. Для чего служит катод?
3. Для чего служит основание анода?
4. Что такое зеркало анода?
5. Как выглядит ВАХ рентгеновской трубки?

#### ***Тема: Природа рентгеновских лучей***

1. Какую природу имеют рентгеновские лучи?
2. В какой области шкалы электромагнитных волн находятся рентгеновские лучи?
3. Какой спектр испускает рентгеновская трубка?
4. Какой спектр называется сплошным?
5. Какой спектр называется характеристическим?
6. От каких факторов зависит сплошной спектр?
7. Как объясняется возникновение сплошного спектра?
8. Как зависит сплошной спектр от материала анода?
9. Как зависит характеристический спектр от материала зеркала анода?
10. Как объясняется возникновение характеристического спектра?
11. Как возникают К-, L-, M-, N- серии характеристического спектра?

#### ***Тема: Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом***

1. Какие процессы происходят при прохождении рентгеновских лучей через вещество?
2. Что называется коэффициентом поглощения?
3. От каких факторов зависит коэффициент поглощения?
4. Как располагаются спектр излучения трубки и кривая поглощения при условии, что порядковый номер материала анода меньше чем порядковый номер исследуемого кристалла?
5. Как располагаются спектр излучения трубки и кривая поглощения при условии, что порядковый номер материала анода равен порядковому номеру исследуемого кристалла?
6. Как располагаются спектр излучения трубки и кривая поглощения при условии, что порядковый номер материала анода больше чем порядковый номер исследуемого кристалла?

7. Какое соотношение между порядковым номером анода и порядковым номером исследуемого кристалла должно быть для оптимальной съемки рентгенограммы?
8. Фильтры и принцип их выбора.

**Тема: Дифракция рентгеновских лучей кристаллом**

1. Что называется интерференцией?
2. Какие лучи интерферируют при облучении кристалла рентгеновскими лучами?
3. Вывести формулу Вульфа-Брэггов.
4. Что такое межплоскостное расстояние? Какие значения оно принимает?
5. Что такое порядок интерференции?
6. Что такое угол скольжения?
7. Что называется структурным фактором?
8. Вычислить структурный фактор для простой кубической решетки.
9. Вычислить структурный фактор для решетки с ОЦК структурой.
10. Вычислить структурный фактор для решетки с ГЦК структурой.
11. Какие значения принимают индексы Миллера для простой кубической решетки?
12. Какие значения принимают индексы Миллера для решетки с ОЦК структурой?
13. Какие значения принимают индексы Миллера для решетки с ГЦК структурой?
14. Вычислить структурный фактор для решетки с структурой CsCl.
15. Вычислить структурный фактор для решетки с структурой NaCl.
15. Что называется атомным множителем?
16. Какими параметрами определяется атомный множитель?

**Тема: Индицирование рентгенограмм**

1. Что называется индицированием?
2. В чем состоит суть графического индицирования?
3. В чем состоит суть аналитического индицирования?
4. Вычислить теоретические значения  $\frac{\sin^2 \theta_i}{\sin^2 \theta_1}$  для кристаллов с простой кубической решеткой.
5. Вычислить теоретические значения  $\frac{\sin^2 \theta_i}{\sin^2 \theta_1}$  для кристаллов с ОЦК решеткой.
6. Вычислить теоретические значения  $\frac{\sin^2 \theta_i}{\sin^2 \theta_1}$  для кристаллов с ГЦК решеткой.

**Типовые задания на контрольную работу**

В таблице приведены рентгеновские данные для меди. Определить тип решетки, индексы Миллера линий, параметр решетки, атомный радиус и рентгеновскую плотность

номер линии	$2\theta$ , град.
1	43.35
2	50.51
3	74.20
4	90.02
5	95.19
6	117.03
7	136.84
8	145.14

В таблице приведены рентгеновские данные для CsCl. Определить тип решетки, индексы

## Миллера линий, параметр решетки

номер линии	$2\theta$ , град.
1	21.62
2	30.77
3	37.91
4	44.06
5	49.60
6	54.70
7	64.09
8	68.48
9	72.74
10	76.95
11	81.08
12	85.10
13	89.19
14	97.16
15	101.29
16	105.41
17	109.67
18	114.03
19	118.50
23	146.05
21	133.51
22	139.38
20	123.29

### Вопросы для проведения экзамена

1 Дифракционные методы исследования структуры твердых тел. Рентгенография, нейтронография, электронография. Особенности этих методов. Основные понятия, характеризующие взаимодействие различных видов излучения с веществом. Сравнительная характеристика взаимодействия рентгеновского излучения, электронов и нейтронов с веществом.

2 Природа рентгеновских лучей. Получение рентгеновских лучей. Рентгеновские трубки. Механизм возникновения и свойства сплошного рентгеновского излучения. Распределение интенсивности сплошного излучения. Факторы, влияющие на интенсивность сплошного рентгеновского излучения.

3 Механизм возникновения и свойства характеристического излучения. Тонкая структура характеристических спектров. Правила отбора и диаграмма переходов. Фотоэффект. Оже-эффект. Вторичные спектры. Флюоресценция. Применение вторичного излучения.

4 Поглощение рентгеновских лучей веществом. Коэффициенты поглощения, их зависимость от длины и порядкового номера поглотителя, скачки поглощения. Определение коэффициентов поглощения. Понятие о классической и квантовой теории поглощения. Фильтры.

5 Рассеяние рентгеновских лучей кристаллом. Уравнение Вульфа-Брэггов. Интерференционная функция Лауэ. Анализ интерференционной функции Лауэ. Основные и побочные максимумы, соотношение их интенсивностей. Условия интерференции, выраженные через вектор обратной решетки. Сфера Эвальда. Рассеяние рентгеновских

лучей кристаллами со сложным базисом. Структурный фактор. Правила погасания. Расчет структурного фактора для простейших структур.

6 Рассеяние рентгеновских лучей свободным электроном. Множитель Томпсона. Рассеяние рентгеновских лучей одноэлектронным атомом. Рассеяние рентгеновских лучей многоэлектронным атомом. Атомный фактор рассеяния.

7 Влияние тепловых колебаний атомов на интенсивность рассеянного рентгеновского излучения. Фактор Дебая-Валлера. Определение амплитуды тепловых колебаний атомов из рентгеновских данных.

8 Геометрический и абсорбционный факторы интенсивности рассеяния рентгеновского излучения. Фактор повторяемости.

11 Кинематическая теория рассеяния рентгеновских лучей. Выражение для интенсивности рассеянного излучения в приближении кинематической теории. Понятие о динамической теории рассеяния рентгеновских лучей. Первичная и вторичная экстинкция.

12 Метод Лауэ. Возникновение интерференционной картины в методе Лауэ. Круг задач, решаемых с помощью метода Лауэ. Условия съемки лауэграмм и эпиграмм. Геометрия интерференционной картины. Гномоническая проекция. Зональные кривые. Особенности расположения пятен на лауэграммах. Определение ориентировки монокристалла по лауэграммам и эпиграммам.

13 Метод Дебая – Шерера. Возникновение интерференционной картины в методе Дебая. Индицирование дебаеграмм. Круг задач, решаемых с помощью метода Дебая.

14 Метод вращения. Геометрия интерференционной картины. Определение периода идентичности по рентгенограмме вращения. Индицирование рентгенограмм вращения.

15 Электронографический метод исследования структуры. Его достоинства и недостатки. Области применения.

16 Нейтронографический метод исследования структуры. Области его применения и особенности.

Пример экзаменационного билета

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»  
Физико-технический институт  
Кафедра общей физики

# ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

по дисциплине

## «Дифракционный структурный анализ»

Направление 03.03.02 «ФИЗИКА»

Профиль Цифровые технологии в физике функциональных материалов

1. Дифракционные методы анализа структуры вещества. Сравнительная характеристика РСА, электронографии и нейтронографии.
2. Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом. Механизмы ослабления.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ / Балапанов М.Х./  
(подпись) (Ф.И.О.)

### **Критерии оценки для экзамена:**

- **25-30 баллов** выставляется студенту, если студент дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Студент без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок;

- **17-24 баллов** выставляется студенту, если студент раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены незначительные ошибки;

- **10-16 баллов** выставляется студенту, если при ответе на теоретические вопросы студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Студент не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки;

- **1-10 баллов** выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Студент не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

Перевод оценки из 100-балльной в четырехбалльную производится следующим образом:

- отлично - от 80 до 110 баллов (включая 10 поощрительных баллов);
- хорошо - от 60 до 79 баллов;
- удовлетворительно - от 45 до 59 баллов;
- неудовлетворительно - менее 45 баллов.

**Критерии оценки по собеседованию, допуску к лабораторным работам и к защите отчетов**

*5 баллов* выставляется студенту, если студент дал полные, развернутые ответы на все теоретические вопросы билета, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении практических заданий. Студент без затруднений ответил на все дополнительные вопросы. Практическая часть работы выполнена полностью без неточностей и ошибок;

*4 балла* выставляется студенту, если студент раскрыл в основном теоретические вопросы, однако допущены неточности в определении основных понятий. При ответе на дополнительные вопросы допущены небольшие неточности. При выполнении практической части работы допущены несущественные ошибки;

*3 балла* выставляется студенту, если при ответе на теоретические вопросы студентом допущено несколько существенных ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос. Студент не решил задачу или при решении допущены грубые ошибки;

*0 баллов* выставляется студенту, если ответ на теоретические вопросы свидетельствует о непонимании и крайне неполном знании основных понятий и методов. Обнаруживается отсутствие навыков применения теоретических знаний при выполнении практических заданий. Студент не смог ответить ни на один дополнительный вопрос.

#### **Критерии оценки при тестировании:**

0 баллов выставляется студенту, если студент ответил неправильно на вопрос

1 балл выставляется студенту, если студент ответил правильно на вопрос

Тест состоит из 25 вопросов. Итоговый балл приводится в 10-ти балльную систему



#### **4.3 Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)**

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2

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

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

##### **Основная литература:**

1. Альмухаметов Р.Ф. Основы рентгеноструктурного анализа Уфа РИЦ БашГУ 2013 г. 88 с. (25 экз)
2. Илюшин, Александр Сергеевич. Дифракционный структурный анализ : учеб. пособие для вузов / А. С. Илюшин, А. П. Орешко .— 2-е изд., испр. и доп. — Москва : 2018 .— Часть 1 .— 2018 .— 299 с (5 экз)
3. Порай-Кошиц, Михаил Александрович. Основы структурного анализа химических соединений : [Учеб.пособие для хим.спец.ун-тов] / М.А. Порай-Кошиц .— М. : Высш.школа, 1982 .— 151 с. : ил (200 экз)
4. Альмухаметов Р.Ф. Физика металлов и сплавов Уфа РИЦ БашГУ 2013 г. 260 с. (34 экз)
5. Альмухаметов Р.Ф. Раб. № 7. Определение размеров блоков и микронапряжений рентгеновским методом.. Уфа. РИЦ БашГУ.-2016.-11 с.  
[https://elib.bashedu.ru/dl/local/Almuhametov\\_sost\\_Opredelenie\\_razmerov\\_blokov\\_lab\\_5\\_2016.pdf](https://elib.bashedu.ru/dl/local/Almuhametov_sost_Opredelenie_razmerov_blokov_lab_5_2016.pdf).

##### **. Дополнительная литература:**

1. Киттель Ч. «Введение в физику твердого тела», 1978 г. (32 экз)
2. Ковба, Леонид Михайлович. Рентгенофазовый анализ .— 2-е изд., доп. и перераб. — М. : Изд-во МГУ, 1976 .— 232с (4 экз)
3. Вейсс Р. «Физика твердого тела», М.:Атомиздат, 1968 г. (4 экз).
4. Уманский Я.С. «Рентгенография металлов», Металлургия, 1969 г. (3 экз)
6. Теория рассеяния рентгеновских лучей. В.И. Иверонова, Г.П. Ревкевич. М.Ж МГУ. 1978. 277 с. (3 экз)
7. Китайгородский, Александр Исаакович. Теория структурного анализа .— М. : АН СССР, 1957 .— 284с (3 экз)

#### **Методические указания к выполнению лабораторных работ по «Дифракционный структурный анализ»:**

Альмухаметов Р.Ф. Раб. № 1. Изучение устройства и работы рентгеновских аппаратов. Уфа. РИЦ БашГУ.-2012.-12 с.

Альмухаметов Р.Ф. Раб. № 3. Качественный рентгенофазовый анализ. Уфа. РИЦ БашГУ.-2012.-20 с.

Альмухаметов Р.Ф. Раб. № 4. Индексирование рентгенограмм кристаллов кубической сингонии. Определение типа элементарной ячейки, радиуса металлических атомов и плотности металлов рентгенографическим методом. Уфа. РИЦ БашГУ.-2012.-8 с.

Альмухаметов Р.Ф. Якшибаев Р.А. Раб. № 5. Прецизионные методы определения параметров элементарной ячейки.. Уфа. РИЦ БашГУ.-2012.-22 с.

Якшибаев Р.А. Раб. № 6. Элементы кристаллографии и определение пространственной ориентации монокристалла методом Лауэ. Уфа. РИЦ БашГУ.-2012.-20 с.

Альмухаметов Р.Ф. Раб. № 7. Определение размеров блоков и микронапряжений рентгеновским методом.. Уфа. РИЦ БашГУ.-2016.-11 с.  
[https://elib.bashedu.ru/dl/local/Almuhametov\\_sost\\_Opredelenie\\_razmerov\\_blokov\\_lab\\_5\\_2016.pdf](https://elib.bashedu.ru/dl/local/Almuhametov_sost_Opredelenie_razmerov_blokov_lab_5_2016.pdf)>.

Альмухаметов Р.Ф. Раб. № 11. Изучение устройства и принципа работы рентгеновских дифрактометров. Изучение рентгеновского дифрактометра ДРОН-7. Уфа. РИЦ БашГУ.-2012.-14 с.

## 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины

1. Учебные пособия, физический практикум, демонстрации. Кафедра общей физики физфака МГУ им. М.В. Ломоносова: <http://genphys.phys.msu.ru>
2. Учебно-методические материалы и лабораторные практикумы. Кафедра общей физики Новосибирского государственного университета: <http://phys.nsu.ru/ok01/>
3. Физикам - преподавателям и студентам: <http://teachmen.csu.ru>
4. Учебные материалы по физике - механика, термодинамика, электродинамика, электростатика, оптика, квантовая физика: [http://www.omsknet.ru/acad/fr\\_elect.htm](http://www.omsknet.ru/acad/fr_elect.htm)
5. Физическая энциклопедия в 5-ти томах: <http://www.elmagn.chalmers.se>
6. Электронная библиотечная система. ЭБ БашГУ. — Собственная электронная библиотека учебных и научных электронных изданий, которая включает издания преподавателей БашГУ. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://elib.bashedu.ru/>
12. Электронная библиотечная система .Университетская библиотека онлайн. — Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://biblioclub.ru/13>.
13. Электронная библиотечная система издательства .Лань. — Полнотекстовая БД учебных и научных электронных изданий. Авторизованный доступ по паролю из любой точки сети Интернет. Регистрация в Библиотеке БашГУ, дальнейший доступ из любой точки сети Интернет. — <https://e.lanbook.com/>
14. Электронный каталог Библиотеки БашГУ—Справочно-поисковый аппарат библиотеки. Включает в себя систему каталогов и картотек, справочно-библиографический фонд. — <http://www.bashlib.ru/catalogi/>
- 1.

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

<i>Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий</i>	<i>Вид занятий</i>	<i>Наименование оборудования, программного обеспечения</i>
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>
Аудитория 318	Лекции	Компьютер, мультимедийный проектор, экран, доска.
учебная аудитория 411 «Лаборатория рентгеноструктурного анализа»	Лабораторные работы	Комплекты лабораторных работ, мебель, доска Рентгеновский аппарат ИРИС-3 Дозиметр рентгеновский ДРГЗ Камеры рентгеновские РКВ-86, РКД-57, КРОС

		<p>Персональный компьютер</p> <p>Программное обеспечение:</p> <p>1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г.</p> <p>2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 114 от 12.11.2014 г.</p> <p>Принтер Kyocera FS -1040</p>
учебная аудитория 103 «Лаборатория рентгеноспектрального анализа»	Лабораторные работы, выполнение бакалаврских, и магистерских и аспирантских работ,	<p>Анализатор БРА-18</p> <p>Персональный компьютер</p> <p>Программное обеспечение:</p> <p>1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г.</p> <p>2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 114 от 12.11.2014 г.</p> <p>Принтер Kyocera FS -1040</p> <p>Набор исследуемых образцов</p>
учебная аудитория 104a «Лаборатория рентгеновской дифрактометрии»	Лабораторные работы, выполнение бакалаврских, и магистерских и аспирантских работ,	<p>Дифрактометр рентгеновский ДРОН-7</p> <p>Высокотемпературная камера НТК-1200</p> <p>Дозиметр рентгеновский ДРГЗ</p> <p>Персональный компьютер</p> <p>Программное обеспечение:</p> <p>1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г.</p> <p>2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 114 от 12.11.2014 г.</p> <p>Принтер Kyocera FS -1040</p> <p>Набор исследуемых образцов</p>
учебная аудитория 115 «Лаборатория рентгеновской дифрактометрии»	Лабораторные работы, выполнение бакалаврских, и магистерских и аспирантских работ,	<p>Дифрактометр рентгеновский ДРОН-3</p> <p>Высокотемпературная камера УВД-2000.</p> <p>Персональный компьютер</p> <p>Программное обеспечение:</p> <p>1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г.</p> <p>2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 114 от 12.11.2014 г.</p> <p>Принтер Kyocera FS -1040</p> <p>Набор исследуемых образцов</p>
Компьютерный класс 412	Компьютерное тестирование	Компьютеры, имеющие связь с системой контроля качества обучения.
Большая физическая аудитория 02	Лекции	<p>Доска, компьютер, мультимедийный проектор, экран</p> <p>Программное обеспечение:</p> <p>1. Windows 8 Russian. Windows Professional 8 Russian Upgrade. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 104 от 17.06.2013 г.</p> <p>2. Microsoft Office Standard 2013 Russian. Лицензия OLP NL Academic Edition, бессрочная. Договор № 114 от 12.11.2014 г.</p>
учебная аудитория для	Практические	Доска, мел, сборники задач, калькулятор

<b>проведения занятий семинарского типа:</b> аудитории № 322 или № 324 или № 318 (физмат корпус)	занятия	
Читальный зал №1 (главный корпус, 1 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, ПК (моноблок) - 3 шт, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 76.
Читальный зал №2 (корпус физмата, 2 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, Wi-Fi доступ для мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50.
Читальный зал №4 (корпус биофака, 4 этаж)	Самостоятельная работа	Научный и учебный фонд, научная периодика, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 60.

## Приложение № 1

### ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины **Дифракционный структурный анализ** на 8 семестр  
(наименование дисциплины)

**очная**

форма обучения

<b>Вид работы</b>	<b>Объем дисциплины</b>
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	3/108
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	71.7
лекций	20
практических/ семинарских	
лабораторных	50
контроль самостоятельной работы (КСР) ФКР	27+1.7
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем)	
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СРС) включая подготовку к экзамену/зачету	9.3

Форма(ы) контроля:

экзамен 7 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Основная и дополните льная литератур а, рекоменду емая студентам (номера из списка)	За дания по самост оатель ной работе студен тов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СРС			
1	2	3	5	6	7	8	9	10
1.	<b>Модуль 1.</b> Наиболее широко применяемые дифракционные методы исследования структуры твердых тел: рентгенография, нейтронография, электронография. Особенности этих методов, их сравнительная характеристика.	1			1	[1]: Гл. XI! [5] : §1.1	[2] : §56	Устный опрос
2.	Физика рентгеновских лучей. Получение рентгеновских лучей. Рентгеновские трубки. Механизм возникновения и свойства сплошного рентгеновского излучения. Распределение интенсивности сплошного излучения. Факторы, влияющие на интенсивность сплошного рентгеновского излучения. Рентгеновские аппараты	2		6		[1]: Гл.1, 2 [3] : §2,7-10 [5] : §1.2, 1.3, 1.4.1	[2] : §58	Устный опрос
3.	Механизм возникновения и свойства характеристического излучения. Тонкая структура характеристических спектров. Правила отбора и диаграмма переходов. Вторичные спектры. Флюоресценция. Применение вторичного излучения..	2		8		[1]: Гл.1 §4 [3] : §3	[5] : §1.4.2, 1.5	Устный опрос

4.	Поглощение рентгеновских лучей веществом. Коэффициенты поглощения, их зависимость от длины волны и порядкового номера элемента поглотителя, скачки поглощения. Понятие о классической и квантовой теории поглощения. Фильтры.	2			1	[1]: гл.1 § 5 [3] : §4-6	[5] : §1.6-1.8	Устный опрос Проверка отчетов, тестирование
5	<b>Модуль 2.</b> Рассеяние рентгеновских лучей упорядоченной системой атомов. Уравнение Вульфа-Брэггов. Интерференционная функция Лауэ. Анализ интерференционной функции Лауэ. Условия интерференции, выраженные через вектор обратной решетки. Рассеяние рентгеновских лучей кристаллами со сложным базисом. Структурный фактор. Правила погасания. Расчет структурного фактора для простейших структур.	6		12	2	[4] : Гл.4 [3] : §1, 15-19, 27-30	[2]:Гл. 3 §1-4 [5] §2.2-2.6	Устный опрос Проверка отчетов,
6	Рассеяние рентгеновских лучей свободным электроном. Множитель Томпсона. Рассеяние рентгеновских лучей одноэлектронным атомом. Рассеяние рентгеновских лучей многоэлектронным атомом. Атомный фактор рассеяния	2				[3] : §31 [4] : Гл.3§6	[2] : Гл.1§1-3 [5] : §2.1, 2.8	Устный опрос Проверка отчетов
7	Влияние тепловых колебаний атомов на интенсивность рассеянного рентгеновского излучения. Фактор Дебая-Валлера..	2			1	[4] : Гл.5 [3] : §32	[2]Гл.4 :§1-3 [5] : §2.9	Устный опрос Проверка отчетов

8	Геометрический и абсорбционный факторы интенсивности рассеяния рентгеновского излучения. Фактор повторяемости	2				[3] : §33-36	[5] : §2.10,2.11	Устный опрос Проверка отчетов, тестирование
9	<b>Модуль 3.</b> Методы исследования монокристаллов. Метод Лауэ. Возникновение интерференционной картины в методе Лауэ в прямом и обратном пространствах. Круг задач, решаемых с помощью метода Лауэ. Условия съемки лауэграмм и эпиграмм. Геометрия интерференционной картины. Гномоническая проекция. Зональные кривые. Особенности расположения пятен на лауэграммах. Определение ориентировки монокристалла по лауэграммам и эпиграммам.	1		8	1	[1]:Гл.5 § 1-3: [3] : §38-39,15-19	[4] : Гл.6	Устный опрос
10	Метод Дебая – Шерера. Возникновение интерференционной картины в методе Дебая. Индексирование дебаеграмм. Круг задач, решаемых с помощью метода Дебая.			8	1	[1]:Гл.5 § 1-3: [3] : §45-49	[4] : Гл.6	Устный опрос Проверка отчетов
11	Метод вращения. Геометрия интерференционной картины. Определение периода идентичности по рентгенограмме вращения. Индексирование рентгенограмм вращения.			8	1	[1]:Гл.5 § 1-3: [3] : §40-44	[4] : Гл.6	Устный опрос Проверка отчетов
12	Электроннографический метод исследования структуры. Его достоинства и недостатки. Области применения.				1	[1]:Гл.11 § 2	[3] : §98	Устный опрос

13	Нейтроннографический метод исследования структуры. Области его применения и особенности				0.3	[1]:Гл.11 § 3	[3] : §99	Устный опрос Проверка отчетов, тестирование
	<b>ИТОГО</b>	20		50	9.3			



**Рейтинг-планы дисциплины**  
**« Дифракционный структурный анализ »**  
 Направление 03.03.02 «Физика»  
 курс 4 семестр 8

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
Модуль 1				
Текущий контроль				
Собеседование, допуск к лабораторной работе, выполнение работы.	0-5	2	0	10
Рубежный контроль				
Защита отчета по лабораторной работе, тестирование	0-10	1	0	10
Всего баллов за модуль			0	20
Модуль 2				
Текущий контроль				
Собеседование, допуск к лабораторной работе, выполнение работы.	0-5	2	0	10
Рубежный контроль				
Защита отчета по лабораторной работе, тестирование	0-10	1	0	10
Всего баллов за модуль			0	20
Модуль 3				
Текущий контроль				
Собеседование, допуск к лабораторной работе, выполнение работы.	0-5	4	0	20
Рубежный контроль				
Защита отчета по лабораторной работе, тестирование	0-10	1	0	10
Всего баллов за модуль				30
Итоговой контроль (экзамен)				30
Всего баллов				100

**ИТОГО за семестр  
по видам контроля:**

Текущий контроль.  
Собеседование, защита отчет по лабораторной работе –  
**40 баллов**

**Всего по текущему контролю – 40 баллов**  
(40% общей рейтинговой оценки)

Рубежный контроль.

1 Выполнение теста – **30 баллов.**

**Всего по рубежному контролю – 30 баллов**