### МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет" Институт физики



<b>УТВЕРЖДАЮ</b>	)
------------------	---

### Программа дисциплины

<u>Рассеяние рентгеновского излучения, электронов и нейтронов в исследованиях структуры конденсированных сред</u> Б1.В.ДВ.3

2018

H	łаправление подготовки:	<u>03.04.02 - Физика</u>

Профиль подготовки: Физика конденсированного состояния

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: <u>очное</u> Язык обучения: <u>русский</u>

Год начала обучения по образовательной программе: 2016

**Автор(ы)**: <u>Вагизов Ф.Г.</u> **Рецензент(ы)**: <u>Морозов В.П.</u>

### СОГЛАСОВАНО:

Заведующий(ая) кафедрой: Воронина Е. В. Протокол заседания кафедры No от ""	20_г.	
Учебно-методическая комиссия Института физики: Протокол заседания УМК No от ""	20г.	
Каза	Казань	



#### Содержание

- 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы
- 2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования
- 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся
- 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий
- 4.1. Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине/ модулю
- 4.2. Содержание дисциплины
- 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)
- 6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)
- 6.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения
- 6.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания
- 6.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы
- 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций
- 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)
- 7.1. Основная литература
- 7.2. Дополнительная литература
- 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)
- 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)
- 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)
- 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)
- 12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья



Программу дисциплины разработал(а)(и) доцент, к.н. (доцент) Вагизов Ф.Г. (Кафедра физики твердого тела, Отделение физики), vagizovf@gmail.com

### 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Выпускник, освоивший дисциплину, должен обладать следующими компетенциями:

Шифр компетенции	Расшифровка приобретаемой компетенции
OK-3	готовностью к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала
ОПК-5	способностью использовать свободное владение профессионально-профилированными знаниями в области компьютерных технологий для решения задач профессиональной деятельности, в том числе находящихся за пределами направленности (профиля) подготовки
ПК-3	способностью принимать участие в разработке новых методов и методических подходов в научно-инновационных исследованиях и инженерно-технологической деятельности
ПК-5	способностью использовать навыки составления и оформления научно-технической документации, научных отчетов, обзоров, докладов и статей
OK-1	способностью к абстрактному мышлению, анализу, синтезу
ОПК-3	способностью к активной социальной мобильности, организации научно-исследовательских и инновационных работ
ОПК-4	способностью адаптироваться к изменению научного профиля своей профессиональной деятельности, социокультурных и социальных условий деятельности
ПК-2	способностью свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности
ПК-1	способностью самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в области физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта
ОПК-6	способностью использовать знания современных проблем и новейших достижений физики в научно-исследовательской работе

### Выпускник, освоивший дисциплину:

### Должен знать:

- основы рентгенографии, электронографии и нейтронографии.
- методы и приемы решения конкретных задач из области дифракции рентгеновского излучения на кристаллических системах;
- методы и приемы решения конкретных задач из области дифракции электронов на кристаллических системах:
- методы и приемы решения конкретных задач из области дифракции нейтронов на кристаллических системах;
- современное оборудование и приборы, применяемые при проведении рентгенографических, электронографических и нейтронографических исследований материалов.

### Должен уметь:

- применять законы симметрии для определения возможной структуры соединения;
- использовать законы кристаллографии, симметрии, дифракции при решении задач связанных со свойствами твердого тела;
- самостоятельно осуществлять пробоподготовку для проведения анализов;
- соблюдать последовательность действий и следовать методике анализов при проведении экспериментальных исследований



#### Должен владеть:

- методиками проведения качественного, количественного, структурного анализов;
- методиками экспериментального определения и расчета различных характеристик материалов;
- навыками обработки результатов анализов с использованием общих и специальных программных комплексов, расчетных формул;
- методами работы с современным лабораторным оборудованием.

Должен демонстрировать способность и готовность:

- системного научного анализа проблем (как природных, так и профессиональных) различного уровня сложности:
- работы с лабораторным оборудованием и современной научной аппаратурой;
- проведения физического эксперимента

### 2. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования

Данная учебная дисциплина включена в раздел "Б1.В.ДВ.З Дисциплины (модули)" основной профессиональной образовательной программы 03.04.02 "Физика (Физика конденсированного состояния)" и относится к дисциплинам по выбору.

Осваивается на 2 курсе в 3 семестре.

# 3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных(ые) единиц(ы) на 72 часа(ов).

Контактная работа - 28 часа(ов), в том числе лекции - 14 часа(ов), практические занятия - 14 часа(ов), лабораторные работы - 0 часа(ов), контроль самостоятельной работы - 0 часа(ов).

Самостоятельная работа - 44 часа(ов).

Контроль (зачёт / экзамен) - 0 часа(ов).

Форма промежуточного контроля дисциплины: зачет в 3 семестре.

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

### 4.1 Структура и тематический план контактной и самостоятельной работы по дисциплине/ модулю

N	Раздел дисциплины/ модуля	Семестр	Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах)			Самостоятельная работа	
	модуля		Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы		
1.	Тема 1. Введение. Физические принципы экспериментальных методов изучения структуры конденсированных сред	3	2	0	0	5	
2.	Тема 2. Элементы кристаллографии	3	2	0	0	7	
3.	Тема 3. Основы теории дифракции	3	2	4	0	8	
4.	Тема 4. Дифракция рентгеновских лучей в кристалле.	3	2	4	0	8	
5.	Тема 5. Экспериментальное определение структуры кристаллов	3	2	2	0	6	
6.	Тема 6. Качественный и количественный рентгенофазовый анализ	3	2	2	0	8	
7.	Тема 7. Особенности дифрационных методов в электронографии и нейтронографии.	3	2	2	0	2	
	Итого		14	14	0	44	

### 4.2 Содержание дисциплины

# **Тема 1. Введение. Физические принципы экспериментальных методов изучения структуры конденсированных сред**

Физические принципы экспериментальных методов изучения структуры конденсированных сред. Дифракция микрочастиц. Наблюдение дифракции. Эксперимент Вульфа-Брэггов. Особенности дифракции. Некоторые факты из истории открытия дифракции: дифракция рентгеновского излучения, дифракция электронов, дифракция нейтронов.

### Тема 2. Элементы кристаллографии

Кристаллическое вещество. Элементы выпуклых многогранников. Макроскопические свойства кристаллов: однородность, анизотропия и симметрия кристаллического пространства, огранение кристаллов. Первый и второй закон огранения кристаллов. Элементы теории пространственной решетки. Пространственная решетка, узловая прямая, узловая плоскость. Индексы Миллера. Индексы Миллера для гексогональной решетки. Обратная решетка. Основные свойства обратной решетки. Физический смысл обратной решетки. Элементы симметрии I рода. Плоскость симметрии. Ось симметрии. Центр симметрии. Операции и элементы симметрии 2-го рода. Инверсионная ось. Зеркально-поворотная ось. Матричные преобразования симметрии: отражения, поворотные оси, инверсия, инверсионная ось. Кристаллографические категории, сингонии и системы координат. Категории. Кристаллографические сингонии. Теоремы о сочетании операции симметрии. 32 класса симметрии. Символы Шенфлиса и Международные символы классов симметрии. Формула симметрии. Точечные группы симметрии. Кратность (порядок) точечной группы симметрии. Формы кристаллов. Симметрия структуры кристаллов. Решетки Бравэ. Условия выбора ячеек Бравэ. Базис ячейки Бравэ. Пространственные группы симметрии.

### Тема 3. Основы теории дифракции

Основы теории дифракции. Амплитуда рассеяния. Функция электронной плотности. Интеграл Фурье. Атомная амплитуда. Температурный фактор. Дифракция от кристаллов. Условия Лауэ. Обратная решетка. Структурная амплитуда. Величина узлов обратной решетки. Кинематическая и динамическая теории рассеяния.

#### Тема 4. Дифракция рентгеновских лучей в кристалле.

Дифракция рентгеновских лучей как отражение от кристаллографических плоскостей. Формула Вульфа-Брэгга. Определение симметрии кристаллического вещества из дифракционной картины. Обратная решетка и ее свойства. Сфера отражения. Сфера Эвальда. Определение сингонии кристалла. Классы Лауэ. Определение пространственной группы. Правила погасания.

#### Тема 5. Экспериментальное определение структуры кристаллов

Генерация рентгеновского и синхротронного излучения. Рентгеновская трубка. Синхротронное излучение. Способы получения дифракционной картины: монокристальный метод (рентгеноструктурный анализ), метод порошка (рентгенофазовый анализ), метод Лауэ. Порошковая дифрактометрия. Индицирование порошковых дифрактограмм. Нахождение индексов плоскостей дифрактограмм. Определение параметра решетки. Определение типа решетки Браве.

### Тема 6. Качественный и количественный рентгенофазовый анализ

Качественный рентгенофазовый анализ. Чувствительность качественного фазового анализа. Интенсивность дифракционных пиков порошков. Фактор Лоренца, фактор Томсона, структурный множитель, температурный множитель. Фактор повторяемости. Методика качественного фазового анализа. Идентификация вещества. Количественный рентгенофазовый анализ. Учет поглощения в плоском образце. Методы количественного фазового анализа. Метод гомологических пар. Метод внутреннего стандарта (метод подмешивания). Метод подмешивания анализируемой фазы. Метод разбавления пробы нейтральной средой. Метод измерения отношений интенсивностей анализируемых линий. Роль текстуры. Исследование размера зерен в кристаллическом порошке. Формула Селякова?Шерера. Структурный анализ на основе данных порошковой дифрактометрии. Метод Ритвельда. Основные направления применения порошковой дифрактометрии. Экспериментальные схемы рентгеноструктурного анализа. Метод вращения. Метод Дебая ? Шеррера. Метод Лауэ.

### Тема 7. Особенности дифрационных методов в электронографии и нейтронографии.

Физические основы дифракции электронов. Принципиальное устройство электронного микроскопа. Требования, предъявляемые к образцам исследования. Качественное отличие между дифракцией электромагнитного излучения и рассеянием электронов. Методы расшифровки электронограмм. Принцип и особенности метода дифракции быстрых электронов. Области применения. Основные задачи для дифракции медленных электронов.

Физические основы дифракции нейтронов. Принципиальное устройство нейтронного дифрактометра. Требования, предъявляемые к образцам исследования. Качественное отличие между дифракцией электромагнитного излучения, рассеянием электронов и нейтронов. Принципы расшифровки нейтронограмм. Влияние магнитной структуры на дифракцию нейтронов. Магнитное рассеяние, определение упорядочения магнитных моментов в структуре ферро- и антиферромагнетиков.

## 5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

Самостоятельная работа обучающихся выполняется по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Самостоятельная работа подразделяется на самостоятельную работу на аудиторных занятиях и на внеаудиторную самостоятельную работу. Самостоятельная работа обучающихся включает как полностью самостоятельное освоение отдельных тем (разделов) дисциплины, так и проработку тем (разделов), осваиваемых во время аудиторной работы. Во время самостоятельной работы обучающиеся читают и конспектируют учебную, научную и справочную литературу, выполняют задания, направленные на закрепление знаний и отработку умений и навыков, готовятся к текущему и промежуточному контролю по дисциплине.

Организация самостоятельной работы обучающихся регламентируется нормативными документами, учебно-методической литературой и электронными образовательными ресурсами, включая:

Порядок организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования - программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утвержден приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 5 апреля 2017 года N301).

Письмо Министерства образования Российской Федерации N14-55-996ин/15 от 27 ноября 2002 г. "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений"

Положение от 24 декабря 2015 г. ♦ 0.1.1.67-06/265/15 "О порядке проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Положение N 0.1.1.67-06/241/15 от 14 декабря 2015 г. "О формировании фонда оценочных средств для проведения текущей, промежуточной и итоговой аттестации обучающихся федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Положение N 0.1.1.56-06/54/11 от 26 октября 2011 г. "Об электронных образовательных ресурсах федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""



Регламент N 0.1.1.67-06/66/16 от 30 марта 2016 г. "Разработки, регистрации, подготовки к использованию в учебном процессе и удаления электронных образовательных ресурсов в системе электронного обучения федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Регламент N 0.1.1.67-06/11/16 от 25 января 2016 г. "О балльно-рейтинговой системе оценки знаний обучающихся в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Регламент N 0.1.1.67-06/91/13 от 21 июня 2013 г. "О порядке разработки и выпуска учебных изданий в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего профессионального образования "Казанский (Приволжский) федеральный университет""

Петухов В.Ю., Гумаров Г.Г. Исследование поверхностных слоев твердых тел методом скользящего рентгеновского пучка. Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета. - Казань: КГУ, 2009.- 16 с. - http://shelly.kpfu.ru/portal/docs/F1659128120/11 petuhov rentgen.pdf

Храмов А.С., Лукьянов И.В. Рентгеноструктурный анализ поликристаллов. Часть IV. Учебно-методическое пособие для студентов Института Физики. Казань: K(П)ФУ, 2010. - 76 с. - http://shelly.kpfu.ru/portal/docs/F338463248/13 rsa4.pdf

Храмов А.С., Назипов Р.А. Рентгеноструктурный анализ поликристаллов. Часть І. (Элементы теории, руководство и задания к лабораторным рабо-там). Учебно-методическое пособие для студентов физического факульте-та. Изд. 2-ое, исправл. и допол. Казань. 2009.- 64 с - http://shelly.kpfu.ru/portal/docs/F1718491023/12\_rsa1\_2\_2.pdf

Храмов А.С. Рентгеноструктурный анализ поликристаллов. Часть II. (Элементы теории, руководство и задания к лабораторным работам): Учебно-методическое пособие. - Казань: К(П)ФУ, 2013. 36 с - http://shelly.kpfu.ru/portal/docs/F565967864/RSA.P2.pdf

Храмов А.С. Рентгеноструктурный анализ поликристаллов. Часть V. Краткий терминологический словарь. Учебно-методическое пособие для студентов физического факультета. Казань. - 2009. - 72 с. - http://shelly.kpfu.ru/portal/docs/F1031488164/14 rsa5 2.pdf

### 6. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

### 6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы и форм контроля их освоения

Этап	Форма контроля	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины	
Семе	стр 3			
	Текущий контроль			
1	Устный опрос	l =	1. Введение. Физические принципы экспериментальных методов изучения структуры конденсированных сред	
2	Устный опрос	ПК-5 , ПК-3 , ПК-2 , ПК-1 , ОПК-6 , ОПК-5 , ОПК-4 , ОПК-3 , ОК-3 , ОК-1	2. Элементы кристаллографии	
3	Устный опрос	ПК-5 , ПК-3 , ПК-2 , ПК-1 , ОПК-6 , ОПК-5 , ОПК-4 , ОПК-3 , ОК-3 , ОК-1	3. Основы теории дифракции	
4	Устный опрос	ПК-5 , ПК-3 , ПК-2 , ПК-1 , ОПК-6 , ОПК-5 , ОПК-3 , ОПК-4 , ОК-3 , ОК-1	4. Дифракция рентгеновских лучей в кристалле.	
5	Устный опрос	ПК-5 , ПК-3 , ПК-2 , ПК-1 , ОПК-6 , ОПК-5 , ОПК-4 , ОПК-3 , ОК-3 , ОК-1	5. Экспериментальное определение структуры кристаллов	
6	Устный опрос	ПК-5 , ПК-3 , ПК-2 , ПК-1 , ОПК-6 , ОПК-5 , ОПК-4 , ОПК-3 , ОК-1 , ОК-3	6. Качественный и количественный рентгенофазовый анализ	
7	Устный опрос		7. Особенности дифрационных методов в электронографии и нейтронографии.	

Этап	<u> </u>	Оцениваемые компетенции	Темы (разделы) дисциплины
8		, ОПК-6 , ОПК-5 , ОПК-4 , ОПК-3 , ОК-3 , ОК-1	5. Экспериментальное определение структуры кристаллов 6. Качественный и количественный рентгенофазовый анализ 7. Особенности дифрационных методов в электронографии и нейтронографии.
	Зачет	ОК-1, ОК-3, ОПК-3, ОПК-4, ОПК-5, ОПК-6, ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-5	

### 6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

Форма	Критерии оценивания				
контроля	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неуд.	]
Семестр 3	•	•	•		•
Текущий конт	роль				
Устный опрос	В ответе качественно раскрыто содержание темы. Ответ хорошо структурирован.	Основные вопросы темы раскрыты. Структура ответа в целом адекватна теме.	Тема частично раскрыта. Ответ слабо структурирован. Понятийный аппарат	Тема не раскрыта. Понятийный аппарат освоен неудовлетворительно.	1 2
	Прекрасно освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован	Хорошо освоен понятийный аппарат. Продемонстрирован	освоен частично. Понимание отдельных положений из	Понимание материала фрагментарное или отсутствует. Неумение	3
	высокий уровень понимания материала.	хороший уровень понимания материала.	материала по теме. Удовлетворительное	формулировать свои мысли, обсуждать	4
	Превосходное умение формулировать свои мысли, обсуждать	Хорошее умение формулировать свои мысли, обсуждать	умение формулировать свои мысли, обсуждать	дискуссионные положения.	5
	дискуссионные положения.	дискуссионные положения.	дискуссионные положения.		7
Письменная работа	все задания. Продемонстрирован высокий уровень владения материалом. Проявлены превосходные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Правильно выполнена большая часть заданий. Присутствуют незначительные ошибки. Продемонстрирован хороший уровень владения материалом. Проявлены средние способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены более чем наполовину. Присутствуют серьёзные ошибки. Продемонстрирован удовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены низкие способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	Задания выполнены менее чем наполовину. Продемонстрирован неудовлетворительный уровень владения материалом. Проявлены недостаточные способности применять знания и умения к выполнению конкретных заданий.	8
	Зачтено		Не зачтено		
учебно-программного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по специальности, справился с выполнением заданий, предусмотренных программой дисциплины.		пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустил принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий и не			

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

Семестр 3

Текущий контроль

1. Устный опрос

Тема 1



Программа дисциплины "Рассеяние рентгеновского излучения, электронов и нейтронов в исследованиях структуры конденсированных сред"; 03.04.02 Физика; доцент, к.н. (доцент) Вагизов Ф.Г.

Объяснить физические принципы экспериментальных методов изучения структуры конденсированных сред.

В чем особенность дифракции микрочастиц?

При каких условиях микрочастицы обладают волновыми свойствами?

Приведите схему эксперимента, где впервые было продемонстрирована дифракция рентгеновского излучения.

На каком эксперименте было впервые показана дифракция электронов?

Приведете схему эксперимента, где впервые было продемонстрирована дифракция нейтронов.

### 2. Устный опрос

Тема 2

Какие элементы выпуклых многогранников вы знаете.

Какие макроскопические свойства присущи кристаллам?

Назовите первый и второй закон огранения кристаллов.

Дать определения понятиям: пространственная решетка, узловая прямая, узловая плоскость.

Как определяются индексы Миллера?

Индексы Миллера для гексагональной решетки.

Как определяется обратная решетка?

Перечислить основные свойства обратной решетки.

Обратная решетка и ее связь с характеристиками атомно-кристаллической решетки.

Перечислить операции и элементы симметрии кристаллов.

Какие элементы симметрии соответствуют элементам симметрии І рода?

Какие элементы симметрии соответствуют элементам симметрии 2-го рода?

Привести матрицы преобразования для элементов симметрии: отражения, поворотные оси, инверсия, инверсионная ось.

Какие кристаллографические категории вы знаете?

Сколько всего кристаллографических сингонии и системы координат.

Сформулировать теоремы о сочетании операций симметрии.

Какие классы симметрии вы знаете?

Какая разница между символами Шенфлиса и Международными символами классов симметрии?

Что означает формула симметрии?

Как определяются точечные группы симметрии?

Как определяется кратность (порядок) точечной группы симметрии?

Как формируются решетки Бравэ?

Сколько типов решеток Бравэ вы знаете?

Назовите условия выбора ячеек Бравэ и базиса ячейки Бравэ.

Что означает пространственные группы симметрии?

### 3. Устный опрос

Тема 3

Геометрическая теория дифракции на трехмерной решетке рассеивающих центров.

Уравнение Вульфа-Брэгга в векторном и скалярном выражении.

Построение Эвальда. Интенсивность рентгеновских рефлексов.

Рассеяние одной элементарной ячейкой.

Структурная амплитуда, вывод общего выражения.

Интерференционная функция Лауэ.

Условия появления дифракционных максимумов.

Форма и размеры узлов обратной решетки.

Переход к рабочим формулам интенсивности.

Фактор интегральности.

Понятие об удельной отражательной способности системы плоскостей.

Тепловой фактор.

Фактор повторяемости.

Угловой фактор.

Синтез Фурье, как метод анализа атомной структуры кристаллов.

Разложение электронной плотности в трехмерный ряд Фурье, структурные амплитуды как коэффициенты ряда.

Обратная решетка, веса узлов, геометрический образ разложения Фурье.

### 4. Устный опрос

Тема 4

Дифракция рентгеновских лучей как отражение от кристаллографических плоскостей.

Вывести формулу Вульфа-Брэгга.

Как определяется симметрии кристаллического вещества из дифракционной картины?

Дать определение термина ?обратная решетка? и перечислить ее свойства.

Что такое сфера отражения? Сфера Эвальда.

Как определяются сингонии кристалла.



Программа дисциплины "Рассеяние рентгеновского излучения, электронов и нейтронов в исследованиях структуры конденсированных сред"; 03.04.02 Физика; доцент, к.н. (доцент) Вагизов Ф.Г.

Что означает классы Лауэ?

Анализ структурных амплитуд.

Систематические погасания рентгеновских рефлексов, связанные с типом решетки Браве, с наличием винтовых осей, с наличием плоскостей скользящего отражения.

Правила погасания.

#### 5. Устный опрос

Тема 5

Каким образом происходит генерация рентгеновского и синхротронного излучения?

Привести схему устройства рентгеновской трубки.

Перечислить особенности спектра в рентгеновском диапазоне.

Синхротронное излучение: физические принципы получения СИ и применения в исследованиях и в технике.

Перечислить способы получения дифракционной картины.

Что вы знаете о монокристальном методе исследования (рентгеноструктурный анализ)?

Что означает метод порошка (рентгенофазовый анализ) в рентгеновской дифрактометрии?

В каких случаях используется метод Лауэ?

Как осуществляется индицирование порошковых дифрактограмм?

Как находят индексы плоскостей по порошковым дифрактограммам?

По каким формулам определяются параметра решетки. Определение типа решетки Браве.

#### 6. Устный опрос

Тема 6

Как определяется чувствительность качественного фазового анализа?

Записать выражение для интенсивности дифракционных пиков порошков.

Назвать физический смысл фактора Лоренца, фактора Томсона, структурного множителя.

Что означает температурный множитель и фактор повторяемости?

Какие методы качественного фазового анализа вы знаете?

Как осуществляется идентификация вещества?

Количественный рентгенофазовый анализ.

Каким образом учитывается поглощение в плоском образце?

Какие методы количественного фазового анализа вы знаете?

Объяснить особенности метода гомологических пар, метода внутреннего стандарта (метод подмешивания), метод подмешивания анализируемой фазы.

Когда необходимо использовать метод разбавления пробы нейтральной средой?

Охарактеризуйте метод измерения отношений интенсивностей анализируемых линий.

В чем проявляется текстура образца?

Можно ли оценить размеры зерен в кристаллическом порошке?

Записать формулу Селякова? Шерера.

Назвать преимущества и недостатки метода Ритвельда.

Экспериментальные схемы рентгеноструктурного анализа. Метод вращения. Метод Дебая ? Шеррера. Метод Лауэ.

### 7. Устный опрос

Тема 7

Назвать физические основы метода дифракции электронов.

Привести схему устройства электронного микроскопа.

Перечислить требования, предъявляемые к образцам исследования.

Назвать основные качественные отличия между дифракцией электромагнитного излучения и рассеянием электронов.

Какие методы расшифровки электронограмм вы знаете?

Объяснить принцип и особенности метода дифракции быстрых электронов. Области применения. Основные задачи для дифракции медленных электронов.

Назвать физические основы метода дифракции нейтронов.

Привести схему устройства нейтронного дифрактометра.

Перечислить требования, предъявляемые к образцам исследования.

Назвать основные качественные отличия между дифракцией электромагнитного излучения, рассеянием электронов и нейтронов.

Какие методы расшифровки нейтронограмм вы знаете?

Охарактеризовать влияние магнитной структуры на дифракцию нейтронов. Магнитное рассеяние, определение упорядочения магнитных моментов в структуре ферро- и антиферромагнетиков.

#### 8. Письменная работа

Темы 5 6 7

Экспериментальное определение структуры кристаллов

Качественный и количественный рентгенофазовый анализ

Особенности дифрационных методов в электронографии и нейтронографии.



Сравнительный анализ достоинств и ограничений дифракции рентгеновского излучения, электронов и нейтронов.

#### Зачет

Вопросы к зачету:

- 1. Физические принципы экспериментальных методов изучения структуры конденсированных сред.
- 2. Дифракция микрочастиц. Наблюдение дифракции. Эксперимент Вульфа-Брэггов.
- 3. Дифракция рентгеновского излучения, дифракция электронов, дифракция нейтронов.
- 4. Элементы выпуклых многогранников.
- 5. Макроскопические свойства кристаллов: однородность, анизотропия и симметрия кристаллического пространства, огранение кристаллов.
- 6. Первый и второй закон огранения кристаллов.
- 7. Элементы теории пространственной решетки. Пространственная решетка, узловая прямая, узловая плоскость.
- 8. Индексы Миллера. Индексы Миллера для гексагональной решетки.
- 9. Обратная решетка. Основные свойства обратной решетки. Физический смысл обратной решетки.
- 10. Элементы симметрии І рода. Плоскость симметрии. Ось симметрии. Центр симметрии.
- 11. Операции и элементы симметрии 2-го рода. Инверсионная ось. Зеркально-поворотная ось.
- 12. Матричные преобразования симметрии: отражения, поворотные оси, инверсия, инверсионная ось.
- 13. Кристаллографические категории, сингонии и системы координат.
- 14. Теоремы о сочетании операции симметрии.
- 15. 32 класса симметрии.
- 16. Символы Шенфлиса и Международные символы классов симметрии.
- 17. Формула симметрии.
- 18. Точечные группы симметрии. Кратность (порядок) точечной группы симметрии.
- 19. Решетки Бравэ.
- 20. Условия выбора ячеек Бравэ. Базис ячейки Бравэ.
- 21. Основы теории дифракции.
- 22. Амплитуда рассеяния.
- 23. Функция электронной плотности. Интеграл Фурье.
- 24. Атомная амплитуда. Температурный фактор.
- 25. Условия Лауэ. Обратная решетка. Структурная амплитуда.
- 26. Величина узлов обратной решетки.
- 27. Кинематическая и динамическая теории рассеяния.
- 28. Дифракция рентгеновских лучей как отражение от кристаллографических плоскостей.
- 29. Формула Вульфа-Брэгга. Определение симметрии кристаллического вещества из дифракционной картины.
- 30. Сфера отражения. Сфера Эвальда.
- 31. Определение сингонии кристалла. Классы Лауэ.
- 32. Правила погасания.
- 33. Генерация рентгеновского и синхротронного излучения.
- 34. Рентгеновская трубка. Синхротронное излучение.
- 35. Способы получения дифракционной картины: монокристальный метод (рентгеноструктурный анализ), метод порошка (рентгенофазовый анализ), метод Лауэ.
- 36. Порошковая дифрактометрии. Индицирование порошковых дифрактограмм.
- 37. Нахождение индексов плоскостей дифрактограмм.
- 38. Определение параметра решетки. Определение типа решетки Браве.
- 39. Качественный рентгенофазовый анализ.
- 40. Чувствительность качественного фазового анализа.
- 41. Интенсивность дифракционных пиков порошков. Фактор Лоренца, фактор Томсона, структурный множитель, температурный множитель. Фактор повторяемости.
- 42. Методика качественного фазового анализа. Идентификация вещества.
- 43. Учет поглощения в плоском образце. Методы количественного фазового анализа.
- 44. Метод гомологических пар.
- 45. Метод внутреннего стандарта (метод подмешивания).
- 46. Метод подмешивания анализируемой фазы.
- 47. Метод разбавления пробы нейтральной средой.
- 48. Метод измерения отношений интенсивностей анализируемых линий.
- 49. Роль текстуры.
- 50. Исследование размера зерен в кристаллическом порошке. Формула Селякова?Шерера.
- 51. Структурный анализ на основе данных порошковой дифрактометрии. Метод Ритвельда.
- 52. Основные направления применения порошковой дифрактометрии. Экспериментальные схемы рентгеноструктурного анализа.
- 53. Метод вращения. Метод Дебая ? Шеррера. Метод Лауэ.
- 54. Физические основы дифракции электронов.
- 55. Принципиальное устройство электронного микроскопа.



- 56. Требования, предъявляемые к образцам исследования.
- 57. Качественное отличие между дифракцией электромагнитного излучения и рассеянием электронов.
- 58. Методы расшифровки электронограмм.
- 59. Принцип и особенности метода дифракции быстрых электронов.
- 60. Области применения. Основные задачи для дифракции медленных электронов.
- 61. Физические основы дифракции нейтронов.
- 62. Принципиальное устройство нейтронного дифрактометра.
- 63. Требования, предъявляемые к образцам исследования.
- 64. Качественное отличие между дифракцией электромагнитного излучения, рассеянием электронов и нейтронов.
- 65. Принципы расшифровки нейтронограмм.
- 66. Влияние магнитной структуры на дифракцию нейтронов.
- 67. Магнитное рассеяние, определение упорядочения магнитных моментов в структуре ферро- и антиферромагнетиков.

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

В КФУ действует балльно-рейтинговая система оценки знаний обучающихся. Суммарно по дисциплине (модулю) можно получить максимум 100 баллов за семестр, из них текущая работа оценивается в 50 баллов, итоговая форма контроля - в 50 баллов.

Для зачёта:

56 баллов и более - "зачтено".

55 баллов и менее - "не зачтено".

Для экзамена:

86 баллов и более - "отлично".

71-85 баллов - "хорошо".

56-70 баллов - "удовлетворительно".

55 баллов и менее - "неудовлетворительно".

Форма контроля	Процедура оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	Этап	Количество баллов
Семестр 3			
Текущий конт	роль		
Устный опрос	Устный опрос проводится на практических занятиях. Обучающиеся выступают с докладами, сообщениями, дополнениями, участвуют в дискуссии, отвечают на вопросы преподавателя. Оценивается уровень	1	3444454
	дискуссии, отвечают на вопросы преподавателя. Оценивается уровень домашней подготовки по теме, способность системно и логично излагать материал, анализировать, формулировать собственную позицию, отвечать	2	
	на дополнительные вопросы.	3	
		4	
		5	
		6	
		7	
Письменная работа	Обучающиеся получают задание по освещению определённых теоретических вопросов или решению задач. Работа выполняется письменно и сдаётся преподавателю. Оцениваются владение материалом по теме работы, аналитические способности, владение методами, умения и навыки, необходимые для выполнения заданий.	8	22
		Всего:	50
Зачет	Зачёт нацелен на комплексную проверку освоения дисциплины. Обучающийся получает вопрос (вопросы) либо задание (задания) и время на подготовку. Зачёт проводится в устной, письменной или компьютерной форме. Оценивается владение материалом, его системное освоение, способность применять нужные знания, навыки и умения при анализе проблемных ситуаций и решении практических заданий.		50

## 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

### 7.1 Основная литература:

- 1. Франк-Каменецкая, О.В. Кристаллофизика: учебное пособие [Электронный ресурс] : учеб. пособие ? Электрон. дан. ? Санкт-Петербург : СПбГУ, 2016. ? 84 с. ? Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/94671
- 2. Алексеев, П.А. Нейтронные методы в физике конденсированного состояния: учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / П.А. Алексеев, А.П. Менушенков. ? Электрон. дан. ? М. : НИЯУ МИФИ, 2012. ? 164 с. ? Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/75924
- 3. Анищик, В.М. Дифракционный анализ. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.М. Анищик, В.В. Понарядов, В.В. Углов. ? Электрон. дан. ? Минск : 'Вышэйшая школа', 2011. ? 215 с. ? Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/65405

### 7.2. Дополнительная литература:

- 1. Басалаев, Ю.М. Кристаллофизика и кристаллохимия [Электронный ресурс] : учеб. пособие ? Электрон. дан. ? Кемерово : КемГУ, 2014. ? 403 с. ? Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/61407
- 2. Розин, К.М. Кристаллофизика. Учебное пособие. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / К.М. Розин, В.С. Петраков. ? Электрон. дан. ? М. : МИСИС, 2006. ? 249 с. ? Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/51712
- 3. Ищенко, А.А. Дифракция электронов: структура и динамика свободных молекул и конденсированного состояния вещества. [Электронный ресурс] / А.А. Ищенко, Г.В. Гиричев, Ю.И. Тарасов. ? Электрон. дан. ? М.: Физматлит, 2013. ? 612 с. ? Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/48303

### 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Сайт Ин-та кристаллофизики - http://www.mincryst.ru

Сайт K(П)ФУ - http://kpfu.ru/docs/F565967864/RSA.P3.pdf

Сайт К(П)ФУ - http://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/kafedra-fiziki-tverdogo-tela/metodi

Сайт K(П)ФУ - http://kpfu.ru/docs/F1031488164/14 rsa5 2.pdf

Сайт K(П)ФУ - http://kpfu.ru/docs/F565967864/RSA.P2.pdf

Сайт K(П)ФУ - http://kpfu.ru/docs/F1718491023/12 rsa1 2 2.pdf

### 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Рекомендации к прослушиванию лекционного курса.

Лекция - одна из основных форм учебной работы. В лекции рассматриваются самые главные, узловые вопросы каждой дисциплины. Поэтому при написании конспекта лекций, надо писать кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения. Помечать важные моменты, выделять ключевые слова, термины. Проверку терминов, понятий надо проводить с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины. Материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удается разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практическом занятии. Запись излагаемого лектором материала способствует лучшему его усвоению, анализу, запоминанию. При записи лекций работают все виды памяти - зрительная, слуховая, моторная.

Рекомендации при подготовке к практическим занятиям.

Подготовку к практическим занятиям надо начинать с изучения теоретического материала, изложенного на лекциях и практических занятиях. Выписать и осмыслить основные формулы, необходимые для решения задач. Разобраться с единицами измерения основных параметров. Во многих случаях поясняющие графики и рисунки помогают найти правильное решение задачи. После каждого аудиторного занятия, студент должен сначала решить самостоятельно (не глядя в рабочую тетрадь) те задачи, решения которых показал преподаватель во время занятия. При возникновении трудностей во время решения какой-нибудь задачи следует разобрать решение этой задачи в тетради. Затем следует решить задачу самостоятельно без тетради. Далее следует приступить к решению задач из домашнего задания. При возникновении трудностей рекомендуется попросить помощи у своих сокурсников. Во многих случаях бывает полезным совместный поиск решений. Также можно обратиться за помощью к преподавателю. Для этого можно лично подойти к преподавателю, либо написать ему электронное письмо, сформулировав в нём возникающие вопросы и/или прикрепив свой отсканированный или сфотографированный вариант решения для проверки. Пропустив какое-либо занятие, студенту следует скопировать решение разобранных на занятии задач из тетради какого-нибудь одногруппника; разобрать их решение, решить их самостоятельно, а также решить задачи домашнего задания.

Рекомендации при самостоятельной работе по изучению некоторых разделов курса.

Учебной программой дисциплины 'Гамма резонансная спектроскопия' предусмотрено 44 часа на изучение материала в виде самостоятельной работы студентов. Данный вид работы является обязательным для выполнения. Самостоятельная работа по данному курсу включает: самостоятельное изучение теоретического материала с использованием рекомендуемой литературы и самотестирование. Организация самостоятельной работы производиться в соответствии с графиком учебного процесса и самостоятельной работы. Рекомендуемые темы для более глубокого самостоятельного изучения:

Экспериментальное определение структуры кристаллов;



- Качественный и количественный рентгенофазовый анализ:
- Особенности дифракционных методов в электронографии и нейтронографии

Рекомендации при подготовке к зачету. При подготовке к зачету необходимо ориентироваться, прежде всего, на лекции, а также на источники, которые разбирались на семинарах и практических занятиях в течение всего курса. В каждом билете на зачёте содержится два вопроса.

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

Освоение дисциплины "Рассеяние рентгеновского излучения, электронов и нейтронов в исследованиях структуры конденсированных сред" предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.

### 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Освоение дисциплины "Рассеяние рентгеновского излучения, электронов и нейтронов в исследованиях структуры конденсированных сред" предполагает использование следующего материально-технического обеспечения:

Мультимедийная аудитория, вместимостью более 60 человек. Мультимедийная аудитория состоит из интегрированных инженерных систем с единой системой управления, оснащенная современными средствами воспроизведения и визуализации любой видео и аудио информации, получения и передачи электронных документов. Типовая комплектация мультимедийной аудитории состоит из: мультимедийного проектора, автоматизированного проекционного экрана, акустической системы, а также интерактивной трибуны преподавателя, включающей тач-скрин монитор с диагональю не менее 22 дюймов, персональный компьютер (с техническими характеристиками не ниже Intel Core i3-2100, DDR3 4096Mb, 500Gb), конференц-микрофон, беспроводной микрофон, блок управления оборудованием, интерфейсы подключения: USB audio, HDMI. Интерактивная трибуна преподавателя является ключевым элементом управления, объединяющим все устройства в единую систему, и служит полноценным рабочим местом преподавателя. Преподаватель имеет возможность легко управлять всей системой, не отходя от трибуны, что позволяет проводить лекции, практические занятия, презентации, вебинары, конференции и другие виды аудиторной нагрузки обучающихся в удобной и доступной для них форме с применением современных интерактивных средств обучения, в том числе с использованием в процессе обучения всех корпоративных ресурсов. Мультимедийная аудитория также оснащена широкополосным доступом в сеть интернет. Компьютерное оборудованием имеет соответствующее лицензионное программное обеспечение.

Компьютерный класс, представляющий собой рабочее место преподавателя и не менее 15 рабочих мест студентов, включающих компьютерный стол, стул, персональный компьютер, лицензионное программное обеспечение. Каждый компьютер имеет широкополосный доступ в сеть Интернет. Все компьютеры подключены к корпоративной компьютерной сети КФУ и находятся в едином домене.

# 12. Средства адаптации преподавания дисциплины к потребностям обучающихся инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья

При необходимости в образовательном процессе применяются следующие методы и технологии, облегчающие восприятие информации обучающимися инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья:

- создание текстовой версии любого нетекстового контента для его возможного преобразования в альтернативные формы, удобные для различных пользователей;
- создание контента, который можно представить в различных видах без потери данных или структуры, предусмотреть возможность масштабирования текста и изображений без потери качества, предусмотреть доступность управления контентом с клавиатуры;
- создание возможностей для обучающихся воспринимать одну и ту же информацию из разных источников например, так, чтобы лица с нарушениями слуха получали информацию визуально, с нарушениями зрения аудиально;
- применение программных средств, обеспечивающих возможность освоения навыков и умений, формируемых дисциплиной, за счёт альтернативных способов, в том числе виртуальных лабораторий и симуляционных технологий:



- применение дистанционных образовательных технологий для передачи информации, организации различных форм интерактивной контактной работы обучающегося с преподавателем, в том числе вебинаров, которые могут быть использованы для проведения виртуальных лекций с возможностью взаимодействия всех участников дистанционного обучения, проведения семинаров, выступления с докладами и защиты выполненных работ, проведения тренингов, организации коллективной работы;
- применение дистанционных образовательных технологий для организации форм текущего и промежуточного контроля;
- увеличение продолжительности сдачи обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья форм промежуточной аттестации по отношению к установленной продолжительности их сдачи:
- продолжительности сдачи зачёта или экзамена, проводимого в письменной форме, не более чем на 90 минут;
- продолжительности подготовки обучающегося к ответу на зачёте или экзамене, проводимом в устной форме, не более чем на 20 минут;
- продолжительности выступления обучающегося при защите курсовой работы не более чем на 15 минут.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учебным планом по направлению 03.04.02 "Физика" и магистерской программе Физика конденсированного состояния.

