

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИКА

СОГЛАСОВАНО

Руководитель образовательной программы

\_\_\_\_\_/ Матиев А. Х.  
от « 27 » 04 2026 г.

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-математического факультета

\_\_\_\_\_/ Мальсагов М.Х.  
от « 28 » 04 2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**Б1.В.04 ОСНОВЫ РЕНТГЕНОФАЗОВОГО АНАЛИЗА**

\_\_\_\_\_  
( индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины (модуля))

Направление подготовки (магистратура)

**03.04.02. Физика**

Направленность (профиль подготовки)

**Физика полупроводников**

Квалификация выпускника

**магистр**

Форма обучения - очная

## I. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью изучения дисциплины «Основы рентгенофазового анализа» состоит в том, чтобы ознакомить магистрантов с основами взаимодействия и дифракции рентгеновских лучей, электронов, нейтронов в конденсированных средах различного строения и состава. Эти методы, характеризующиеся широким диапазоном вариантов, применяют для определения типа структуры, качественного и количественного фазового анализа, плотности и строения дефектов кристаллического и аморфного строения.

**Задачами** освоения дисциплины является изучение основных методов дифракционного исследования; принципы действия важнейших физических приборов и методов в области дифракционного исследования.

## II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП МАГИСТРАТУРЫ

Дисциплина «Основы рентгенофазового анализа» входит в пакет дисциплин блока Б1.В.04, формирующих фундаментальное образование магистров по направлению 03.04.02 Физика. Профиль «Физика полупроводников». В табл. 2.1 приведены названия предметов и разделов, которые необходимо усвоить для изучения дисциплины «Термодинамика конденсированных сред».

Дисциплина «Основы рентгенофазового анализа» является основной для изучения дисциплин: «Физики полупроводников», «Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов», «Физика полупроводников», которые читаются параллельно или позже.

В табл. 2.1, 2.2 приведены названия предметов и разделов, которые необходимо усвоить для изучения дисциплины «».

| <b>Связь дисциплины «Физика» с предшествующими дисциплинами и сроки их изучения</b> |                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>Таблица 2.1</b>                                                                  |                                                                         |
|                                                                                     | Дисциплины, предшествующие дисциплине «Основы рентгенофазового анализа» |
| <b>1</b>                                                                            | Вузовский курс физики                                                   |
| <b>2</b>                                                                            | Вузовский математики                                                    |

| <b>Связь дисциплины «Основы рентгенофазового анализа» со смежными дисциплинами</b>           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Таблица 2.2</b>                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Дисциплина                                                                                   | Разделы, знание которых необходимо при изучении дисциплины                                                                                                                                                                                                                                       |
| Физика конденсированного состояния                                                           | Основные постулаты и положения квантовой теории; туннельный эффект; строение атома и связь с периодической системой элементов Менделеева; высокотемпературная сверхпроводимость и простейшие устройства на ее основе                                                                             |
| Физика полупроводников                                                                       | Теоретические основы физики полупроводников, квантовые объяснения всех процессов происходящих в них при внешних воздействиях. Классификация твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики; основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока |
| Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов. Методы контроля параметров | Методы экспериментального получения и исследования параметров и характеристик материалов, твердотельной, наноэлектроники. Технология изготовления элементов электронной техники. Основные тенденции развития электронной компонентной базы                                                       |

|                              |  |
|------------------------------|--|
| полупроводниковых материалов |  |
|------------------------------|--|

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ОСНОВЫ РЕНТГЕНО-ФАЗОВОГО АНАЛИЗА»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

| Таблица 3.1.    |                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Код компетенции | Наименование компетенции                                                                                                                                     | Индикатор достижения компетенции<br>(закрепленный за дисциплиной)                                                                                                                 | В результате освоения дисциплины обучающийся                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| УК-1            | Системное и критическое мышление. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий | ИДК <sub>УК1.1</sub> Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием с использованием современной вычислительной техники; | <p><b>Знает:</b> основные физические явления и основные законы физики применяемые в методах и дифракционного исследования; границы их применимости; основные законы физики применяемые в методах дифракционного исследования; границы их применимости;</p> <p>основные физические свойства и физические константы в методах дифракционного исследования, их определение, смысл, и единицы их измерения;</p> <p><b>Умеет:</b> выполнять основные химические операции; использовать основные физические законы, термодинамические справочные данные и количественные соотношения химии для решения профессиональных задач; прогнозировать влияние различных факторов на равновесие в химических реакциях; определять характер движения жидкостей и газов, основные характеристики процессов тепло- и массопередачи, истолковывать смысл физических явлений в области дифракционного исследования; решать практические задачи в области дифракционных исследований с использованием пучков различной природы.</p> <p><b>Владеет:</b> -навыками самостоятельной работы с учебной, научной и справочной литературой; делать обобщающие выводы; навыками безопасной работы в химической лаборатории и умения обращаться с химической посудой, реактивами, электрическими приборами;</p> |

|  |  |  |                                                                                                                                                                                                              |
|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  | навыками экспериментального определения параметров кристаллической решетки методами рентгеноструктурного и электронномикроскопического анализа; проведения качественного и количественного фазового анализа. |
|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| продолжение Таблицы 3.1. |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Код компетенции          | Наименование компетенции                                                                                                                                                                                                          | Индикатор достижения компетенции<br>(закрепленный за дисциплиной)                                                                                                                                                            | В результате освоения дисциплины обучающийся                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| ПК-1                     | Способность 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 | ИДК <sub>ПК1.1</sub><br>Способен выбирать и использовать технические средства и методы испытаний для решения исследовательских задач физико-химической направленности, поставленных специалистом более высокой квалификации, | <b>Знает:</b> основные физические явления и законы физики применяемые в методах и дифракционного исследования; границы их применимости; основные законы физики применяемые в методах дифракционного исследования; границы их применимости; основные физические свойства и физические константы в методах дифракционного исследования, их определение, смысл, и единицы их; основные физические свойства и физические константы в методах дифракционного исследования их определение, смысл, и единицы их измерения; назначение исследовательских приборов в области дифракционного исследования; основные физические теории в области дифракционного исследования позволяющие описать явления в природе, понимание пределов применимости этих теорий для решения современных и перспективных технологических задач;<br><b>Умеет:</b> выполнять основные химические операции; использовать основные физические законы, термодинамические справочные данные и количественные соотношения химии для решения профессиональных задач; прогнозировать влияние различных факторов на равновесие в химических реакциях; определять характер движения жидкостей и газов, основные характеристики процессов тепло- и массопередачи, истолковывать смысл физических явлений в области дифракционного исследования; решать практические задачи в области дифракционных исследований с использованием пучков раз- |

|  |  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |  | <p>личной природы.</p> <p><b>Владеет:</b> -навыками самостоятельной работы с учебной, научной и справочной литературой; делать обобщающие выводы; навыками безопасной работы в химической лаборатории и умения обращаться с химической посудой, реактивами, электрическими приборами; навыками экспериментального определения параметров кристаллической решетки методами рентгеноструктурного и электронно-микроскопического анализа; проведения качественного и количественного фазового анализа</p> |
|--|--|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### 4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

| Таблица 4.1                           |                    |
|---------------------------------------|--------------------|
| Виды учебной работы                   | Всего час/зач. ед. |
| <b>Контактная работа (всего)</b>      | <b>48/1,3</b>      |
| Лекции (Л)                            | 32/0,9             |
| Практические занятия (ПЗ)             | 16/0,4             |
| <b>Самостоятельная работа (всего)</b> | <b>60/1,7</b>      |
| Подготовка к практическим занятиям    |                    |
| Контроль самостоятельной работы       |                    |
| Вид отчетности                        | Зачет              |
| <b>Общая трудоёмкость</b>             | <b>108/3</b>       |

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Таблица 5.1                                                                                                       |                |                                |                    |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|--------------------------------|--------------------|------------|
| РАЗДЕЛЫ ДИСЦИПЛИНЫ В СЕМЕСТРЕ                                                                                     | Лекции, (часы) | Практические занятия (ПЗ), час | СРС единицы (часы) | Всего, час |
|                                                                                                                   |                |                                | 3                  | 5          |
| <b>РАЗДЕЛ I. Модуль 1. Физические основы рентгеноструктурного анализа</b>                                         | <b>12</b>      | <b>8</b>                       | <b>30</b>          | <b>50</b>  |
| Тема 1.1. Становление и этапы развития рентгеноструктурного анализа. Основные понятия физики рентгеновских лучей. | 2              | 2                              | 6                  | 10         |
| Тема 1.2. Природа рентгеновского излучения. Преломление рентгеновских лучей и его практическое использование      | 4              | 2                              | 8                  | 14         |

|                                                                                                   |           |          |           |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|----------|-----------|------------|
| Тема 1.3. Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом                                     | 2         | 2        | 8         | 12         |
| Тема 1.4. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах                                              | 4         | 2        | 8         | 14         |
| <b>РАЗДЕЛ II. Модуль 2. Дифракционные методы исследования твердых тел</b>                         | <b>20</b> | <b>8</b> | <b>30</b> | <b>58</b>  |
| Тема 2.1. Методы анализа монокристаллов                                                           | 4         | 2        | 6         | 12         |
| Тема 2.2. Порошковые методы                                                                       | 4         | 2        | 6         | 12         |
| Тема 2.3. Метод Фурье. Элементы общей теории дифракции и примеры исследования реальных кристаллов | 6         | 2        | 6         | 14         |
| Тема 2.4. Качественный фазовый анализ                                                             | 4         | 2        | 6         | 12         |
| Тема 2.5. Нейтронография                                                                          | 2         | -        | 6         | 8          |
| <b>Итого</b>                                                                                      | <b>32</b> | <b>8</b> | <b>60</b> | <b>108</b> |

## 5.2. Лекционные занятия

Таблица 5.1

| № п/п                                                                     | Номер лекции | Наименование раздела и темы дисциплины                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                         | 2            | 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>РАЗДЕЛ 1. Модуль 1. Физические основы рентгеноструктурного анализа</b> |              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| 1                                                                         | 1            | Тема 1.1. <i>Становление и этапы развития рентгеноструктурного анализа. Основные понятия физики рентгеновских лучей.</i><br>Природа рентгеновского излучения. Преломление рентгеновских лучей и его практическое использование. Поляризация рентгеновских лучей. Интенсивность рентгеновского излучения (определение). Сплошной спектр рентгеновского излучения. Энергия спектра. Граничная частота. Спектральная плотность. Факторы, влияющие на интенсивность сплошного спектра. Характеристический спектр. Получение характеристического излучения. Закон Мозли. Интенсивность характеристического излучения.                                                                                                                                                                                   |
| 2                                                                         | 2,3          | Тема 1.2. <i>Природа рентгеновского излучения. Преломление рентгеновских лучей и его практическое использование.</i><br>Виды взаимодействия. Некогерентное рассеяние. Рентгеновская флюоресценция. Фотоэффект. Механизмы рассеяния рентгеновских и поглощения лучей. Закон ослабления рентгеновских лучей. Линейный, массовый, атомный коэффициенты ослабления. Связь между ними. 4 Поглощение рентгеновских лучей. Массовый коэффициент поглощения, его физический смысл. Зависимость массового поглощения от коэффициента порядкового номера элемента и длины волны. Край (скачок) поглощения. коэффициентов Метод эталона. стандартного полосы Расчет поглощения. Метод примешивания. Выбор излучения. Фильтры для рентгеновского излучения. Физиологическое действие рентгеновского излучения. |
| 3                                                                         | 4            | Тема 1.3. <i>Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом. (2 часа)</i><br>Когерентное рассеяние рентгеновских лучей - основа рентгеноструктурного анализа. $2/0,06$ $1/0,03$ Рассеяние свободным электроном. Формула Томсона. Понятие рассеивающей способности объекта.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

|                                                                           |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 4                                                                         | 5,6   | Тема 1.4. <i>Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах</i><br>Метод Лауэ. Лауэграмма и обратная решетка. Лауэграммы как метод гониометрического изучения неограниченных кристаллов. Рентгенограммы вращения и качания. Возникновение слоевых линий. Слойные линии первого и второго рода. Принципы рентгеногониометров. Вейсенберговские работы развертки нулевой и n-ой слоевых линий. Получение неискаженного изображения плоской обратной решетки. Камера КФОР и работа с ней                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>РАЗДЕЛ II. Модуль 2. Дифракционные методы исследования твердых тел</b> |       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                                                           | 7,8   | Тема 2.1. <i>Методы анализа монокристаллов</i><br>Дифрактометрия текстурированных объектов. Определение ориентировки в случае аксиально-симметричной текстуры. Исследование ориентировки кристаллов в случае неаксиальной текстуры. Полюсные фигуры.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                                                                           | 9,10  | Тема 2.2. <i>Порошковые методы</i><br>Разложение электронной плотности в ряд Фурье. Проекция и сечения электронной плотности. Практические приемы суммирования одно-, двух- и трехмерных рядов Фурье. Фазовая проблема. Амплитуда и интенсивность излучения, рассеянного произвольной на объекте с структурой. интерференции. Среднее значение интенсивности и функции интерференции. Идеальные структурные мотивы и структура кристаллов. излучения на конечных формы. объектах. Дифракция неупорядоченных реальных Дифракция однородных Фактор на смешанно слойных кристаллах. Различные виды структурных несовершенств и их отражение в дифракции. Интенсивность диффузного рассеяния на несовершенных кристаллах. Тепловое движение атомов в кристаллах и его влияние на дифракцию. Тепловое диффузное рассеяние. Экспериментальные приемы определения характеристической температуры дифракционными методами. Дифракция излучения на кристаллах с очень маленькими размерами. Формула Шеррера для расчета кристаллов. |
|                                                                           | 11-13 | Тема 2.3. <i>Метод Фурье. Элементы общей теории дифракции и примеры исследования реальных кристаллов</i><br>Качественный фазовый анализ. Картотека JCPDS. Методы количественного фазового анализа. Картотека Чувствительность фазового анализа.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                                                                           | 14,15 | Тема 2.4. <i>Качественный фазовый анализ.</i><br>Особенности рассеяния нейтронов кристаллами. Конструкция нейтронного дифрактометра. Получение нейтронограмм и основные области применения нейтронографии. Структурная и магнитная нейтронграфии.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|                                                                           | 16    | Тема 2.5. <i>Нейтроннография</i><br>Преломление рентгеновских лучей и его практическое использование. Поляризация рентгеновских лучей. Интенсивность рентгеновского излучения (определение). Сплошной спектр рентгеновского излучения. Энергия спектра. Граничная частота. Спектральная плотность. Факторы, влияющие на интенсивность сплошного спектра. Характеристический спектр. Получение характеристического излучения. Закон Мозли. Интенсивность характеристического излучения.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                                                                           |       | <b>Общее число часов 16</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |

Таблица 5.2

| №<br>п/п                                                                  | Номер<br>занятия | Наименование раздела и темы дисциплины                                                                                                                                                           |
|---------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                                         | 2                | 3                                                                                                                                                                                                |
| <b>РАЗДЕЛ I. Модуль 1. Физические основы рентгеноструктурного анализа</b> |                  |                                                                                                                                                                                                  |
| 1                                                                         | 1                | Тема 1.1. <i>Становление и этапы развития рентгеноструктурного анализа. Основные понятия физики рентгеновских лучей.</i> (2 часа)<br>Структурные исследования микропорошков рентгеновским пучком |
| 2                                                                         | 2,3              | Тема 1.2. <i>Природа рентгеновского излучения. Преломление рентгеновских лучей и его практическое использование.</i> (2 часа)<br>Фазовые исследования микропорошков рентгеновским пучком         |
| 3                                                                         | 4                | Тема 1.3. <i>Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.</i> (2 часа)<br>Определение метрологических параметров растрового электронного микроскопа                                      |
| 4                                                                         | 5,6              | Тема 1.4. <i>Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах</i> (2 часа)<br>Микрорентгеновский анализ состава сплавов                                                                                |
| <b>ПРОДОЛЖЕНИЕ Таблица 5.2</b>                                            |                  |                                                                                                                                                                                                  |
| <b>РАЗДЕЛ II. Модуль 2. Дифракционные методы исследования твердых тел</b> |                  |                                                                                                                                                                                                  |
|                                                                           | 7,8              | Тема 2.1. <i>Методы анализа монокристаллов</i> (2 часа)<br>Анализ монокристаллов.                                                                                                                |
|                                                                           | 9,10             | Тема 2.2. <i>Порошковые методы</i><br>Анализ порошковыми методами (2 часа)                                                                                                                       |
|                                                                           | 11-13            | Тема 2.3. <i>Метод Фурье. Элементы общей теории дифракции и примеры исследования реальных кристаллов</i> (2 часа)<br>Исследования реальных кристаллов                                            |
|                                                                           | 14,15            | Тема 2.4. <i>Качественный фазовый анализ.</i> (2 часа)<br>Качественный фазовый анализ                                                                                                            |
|                                                                           | 16               | Тема 2.5. <i>Нейтронография</i><br>Нейтронография                                                                                                                                                |
|                                                                           |                  | <b>Общее число часов 32</b>                                                                                                                                                                      |

## 6. Образовательные технологии

Информационно-телекоммуникационные ресурсы сети «Интернет»

- Образовательный портал ФГБОУ ВО «МГТУ» [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://mkgtu.ru/>
- Официальный сайт Правительства Российской Федерации. [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.government.ru>
- Информационно-правовой портал «Гарант» [Электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.garant.ru/>
- Научная электронная библиотека [www.eLEBRARY.RU](http://www.eLEBRARY.RU) - Режим доступа: <http://elibrarv.ru/>

## 7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Некоторые темы выносятся на самостоятельное изучение. Изучение этих вопросов возможно с использованием электронный курс дисциплины, написанного самим автором (А.Х Матиев).

Перечень тем, выносимый для самостоятельной работы представлен в таблице 7.1.

### 7.1. План самостоятельной работы студентов

| № | Тема                                                                                                                                                                                                        | Вид самостоятельной работы                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | Количество часов |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| 1 | Становление и этапы развития рентгеноструктурного анализа. Основные понятия физики рентгеновских лучей. Природа рентгеновского излучения. Преломление рентгеновских лучей и его практическое использование. | Написание конспекта<br>Спектральная плотность. Факторы, влияющие на интенсивность сплошного спектра. Характеристический спектр. Получение характеристического излучения. Закон Мозли. Интенсивность характеристического излучения.                                                                                                  | 4<br>4           |
| 2 | Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом                                                                                                                                                         | Написание конспекта<br>Расчет коэффициентов поглощения. Метод эталона. Метод стандартного примешивания. Выбор излучения. Фильтры для рентгеновского излучения. Физиологическое действие рентгеновского излучения                                                                                                                    | 4                |
| 3 | Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах                                                                                                                                                                  | Написание конспекта<br>Геометрическое толкование условий интерференции с помощью обратной решетки. Обратная решетка как поле интерференционных функций. Сфера Эвальда<br>Представление моно-, поликристаллов и текстур в обратном пространстве и видах рентгенограмм. Кинематическое и динамическое приближения в теории дифракции. | 4                |
| 4 | Методы анализа монокристаллов                                                                                                                                                                               | Написание конспекта<br>Получение неискаженного изображения плоской обратной решетки. Камера КФОР и работа с ней.                                                                                                                                                                                                                    | 4                |

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

Студент, используя электронное учебное пособие, а также вузовский учебник по Молекулярной физике и термодинамике изучает данный материал и составляет конспект конспекты в домашних условиях.

### 7.3. Контроль освоения компетенций

|             |
|-------------|
| Таблица 7.2 |
|-------------|

| №<br>п\п | Вид контроля           | Контролируемые темы (разделы) | Компетенции,<br>компоненты которых<br>контролируются |
|----------|------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------|
| 1        | Проверка<br>конспектов | РАЗДЕЛ 1. Модуль 1.           | УК1, ПК-1                                            |
| 2        | Проверка<br>конспектов | РАЗДЕЛ II. Модуль 2.          | УК1, ПК-1                                            |

## 8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

### 8.1. Тесты для проведения текущего контроля

1. Рентгеновский дифрактометр ДРФ состоит из следующих основных узлов:
  - А) оперативный стол с пультом управления, рентгеновская трубка в защитном кожухе, высоковольтный трансформатор, камера РКСО на оперативном столе, кассета для фотопленки, отдельно стоящий блок электроники;
  - Б) оперативный стол с пультом управления, рентгеновская трубка в защитном кожухе, высоковольтный трансформатор, камера РКСО на оперативном столе, кассета для фотопленки;
  - В) оперативный стол с пультом управления, рентгеновская трубка в защитном кожухе, высоковольтный трансформатор, гониометр, счетчик квантов, отдельно стоящий блок электроники;
  - Г) оперативный стол с пультом управления, рентгеновская трубка в защитном кожухе, высоковольтный трансформатор, гониометр, счетчик квантов, отдельно стоящий блок электроники, компьютер;
2. Обязательными деталями рентгеновской трубки являются:
  - А) два электрода, откачанная высоковакуумная стеклянная колба, фокусирующий колпачек, бериллиевое окошко для выпуска РД защитный цилиндр,
  - Б) два электрода, откачанная высоковакуумная стеклянная колба, фокусирующий колпачек, бериллиевое окошко для выпуска РД защитный цилиндр, система водяного охлаждения;
  - В) три электрода, откачанная высоковакуумная стеклянная колба, фокусирующий колпачек, защитный цилиндр, защитный кожух, система охлаждения, коллиматор;
  - Г) два электрода, откачанная высоковакуумная стеклянная колба, фокусирующий колпачек, бериллиевое окошко для выпуска РД защитный цилиндр, система охлаждения, коллиматор;
3. Рентгеновское излучение занимает диапазон длин волн:
  - А) от сотен до десятитысячных долей микрона;
  - Б) от нескольких сотен до десятитысячных долей А;
  - В) от тысяч до единиц нанометров;
  - Г) сразу после ультрафиолета;
4. При проникновении электрона в вещество анода его кинетическая энергия рассеивается в результате следующих процессов:
  - А) столкновения с атомами и ионизации им внешних электронных оболочек;
  - Б) резкого торможения в электростатическом поле электронных оболочек атомов вещества анода;
  - В) ионизации электронных оболочек, близких к ядру;
  - Г) всех вышеперечисленных (но ионизация оболочек, близких к ядру, начинается с достижением некоторого напряжения на трубке);
5. Существование коротковолновой границы спектра РЛ связано с тем, что энергия излучаемого кванта РЛ
  - А) не может быть меньше энергии электрона, подлетающего к аноду;
  - Б) не может превышать энергию электрона, подлетающего к катоду;
  - В) не зависит от энергии электрона, подлетающего к аноду;
  - Г) не может превышать значение  $eU$  ( $U$  - напряжение на трубке);
6. Возникновение характеристического спектра на фоне сплошного связано
  - А) с нагревом анода;
  - Б) с существованием наиболее вероятных процессов торможения электронов в веществе анода;
  - В) с началом ионизации электронами внутренних оболочек атомов анода при достижении некоторого напряжения на трубке;
  - Г) с началом рентгеновской фотоэмиссии;
7. К-а серия содержит 2 линии (является дублетом) потому, что

- А) существует только 2 L-уровня и 1 K-уровень;
  - Б) она является наиболее коротковолновой и интенсивной;
  - В) третий переход с L на K запрещен правилами отбора;
  - Г) остальные линии просто мало интенсивны и тонут в фоне (в сплошном спектре);
8. Относительная интенсивность линий характеристического спектра определяется
- А) вероятностью переходов в веществе анода с одного уровня на другой;
  - Б) разностью энергий уровней, между которыми осуществляется переход;
  - В) выбором рентгеновского аппарата;
  - Г) выбором излучения (рентгеновской трубки);
9. Длины волн характеристического спектра зависят от
- А) величины, подаваемого на рентгеновскую трубку напряжения;
  - Б) величины тока, протекающего через рентгеновскую трубку;
  - В) порядкового номера (в таблице Менделеева) вещества анода;
  - Г) всех перечисленных выше факторов;
10. Линиями K-серии называются
- А) линии, которые получаются при переходе электронов с M-уровня на K-уровень;
  - Б) линии, возникающие при переходе электронов с валентных уровней на K-уровень;
  - В) линии, которые получаются при переходе с вышележащих уровней на K-уровень;
  - Г) линии, возникающие при возбуждении L-уровня;
11. При возникновении характеристического спектра интенсивность сплошного спектра
- А) остается без изменения;
  - Б) уменьшается;
  - В) увеличивается;
  - Г) уменьшается;
12. Условия фокусировки по Бреггу-Брентано:
- А) образец должен вращаться в 2 раза медленнее счетчика;
  - Б) фокус трубки, поверхность образца и щель счетчика должны лежать на одной прямой;
  - В) фокус трубки, поверхность образца и щель счетчика должны лежать на одной окружности с радиусом, зависящим от радиуса гониометра;
  - Г) фокус трубки, точка падения луча на образец и щель счетчика должны образовывать угол  $< 180^\circ$ ;
13. Какой способ регистрации РЛ следует использовать, если необходимо получить неискаженный профиль рентгеновской линии:
- А) дифрактометрический при съемке в непрерывном режиме;
  - Б) дифрактометрический при съемке по точкам;
  - В) фотометод;
  - Г) иной способ;
14. Чтобы свести к минимуму воздействие рентгеновского излучения следует
- А) прекратить работу, почувствовав воздействие РЛ на организм;
  - Б) находиться лишь необходимое время в помещении с работающим аппаратом, следить за тем, чтобы во время съемки защитные ширмы были закрыты;
  - В) следить за тем, чтобы исправно работала вентиляция;
  - Г) окна рентгеновских трубок следует закрывать свинцовыми заглушками;

## 8.2. Примерный перечень вопросов, выносимых на зачет

1. Становление и этапы развития рентгеноструктурного анализа.
2. Основные понятия физики рентгеновских лучей.
3. Природа рентгеновского излучения. Преломление рентгеновских лучей и его практическое использование.
4. Поляризация рентгеновских лучей. Интенсивность рентгеновского излучения (определение). Сплошной спектр рентгеновского излучения.
5. Энергия спектра. Граничная частота. Спектральная плотность. Факторы, влияющие на интенсивность сплошного спектра. Характеристический спектр. Получение характеристического излучения. Закон Мозли. Интенсивность характеристического излучения.

6. Виды взаимодействия. Когерентное рассеяние. Некогерентное рассеяние. Рентгеновская флюоресценция.
  7. Фотоэффект. Механизмы рассеяния и поглощения рентгеновских лучей. Закон ослабления рентгеновских лучей.
  8. Поглощение рентгеновских лучей. Массовый коэффициент поглощения, его физический смысл. Зависимость массового коэффициента поглощения от порядкового номера элемента и длины волны. Край (скачок) полосы поглощения.
  9. Расчет коэффициентов поглощения. Метод эталона. Метод стандартного примешивания.
  11. Выбор излучения. Фильтры для рентгеновского излучения. Физиологическое действие рентгеновского излучения.
  12. Когерентное рассеяние рентгеновских лучей - основа рентгеноструктурного анализа.
  13. Рассеяние свободным электроном. Формула Томсона.
  14. Понятие рассеивающей способности объекта. Интерференция. Дифракционный эффект.
  15. Рассеяние рентгеновских лучей атомом, группой атомов. Атомная амплитуда, атомный фактор. Понятие электронной плотности. Понятие рассеивающего центра.
  16. Обратное пространство и дифракция рентгеновских лучей на кристаллах. Кинематическая теория интерференции рентгеновских лучей в кристаллах.
  17. Геометрическое толкование условий интерференции с помощью обратной решетки. Обратная решетка как поле интерференционных функций. Сфера Эвальда.
  18. Представление моно-, поликристаллов и текстур в обратном пространстве и вид их рентгенограмм. Кинематическое и динамическое приближения в теории дифракции.
  19. Метод Лауэ. Лауэграмма и обратная решетка. Лауэграммы как метод гониометрического изучения неограниченных кристаллов.
  20. Дифрактометрия текстурированных объектов. Определение ориентировки в случае аксиально-симметричной текстуры.
  21. Разложение электронной плотности в ряд Фурье. Проекция и сечения электронной плотности. Практические приемы суммирования одно-, двух- и трехмерных рядов Фурье. Фазовая проблема.
  22. Амплитуда и интенсивность излучения, рассеянного на объекте с произвольной структурой. Функция интерференции. Среднее значение интенсивности и функции интерференции. Идеальные структурные мотивы и структура реальных кристаллов
  23. Дифракция излучения на однородных конечных объектах. Фактор формы.
  24. Дифракция на неупорядоченных смешанно-слоистых кристаллах. Различные виды структурных несовершенств и их отражение в дифракции.
  25. Интенсивность диффузного рассеяния на несовершенных кристаллах. Тепловое движение атомов в кристаллах и его влияние на дифракцию. Тепловое диффузное рассеяние.
  26. Экспериментальные приемы определения характеристической температуры дифракционными методами.
  27. Дифракция излучения на кристаллах с очень маленькими размерами. Формула Шеррера для расчета крупности кристаллов
  28. Качественный фазовый анализ. Картотека JCPDS.
  29. Методы количественного фазового анализа. Чувствительность фазового анализа.
  30. Особенности рассеяния нейтронов кристаллами. Конструкция нейтронного дифрактометра.
- Получение нейтронограмм и основные области применения нейтронографии. Структурная и магнитная нейтронографии.

## 9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 9.1 Основная литература

1. Молекулярная спектроскопия: основы теории и практика [Электронный ресурс]: учебное пособие / под ред. Ф.Ф. Литвина. - М.; Инфра-М, 2014. - 263 с, - ЭБС «Znanium, сот» - Режим доступа: <http://znanium.com/catalog.php?bookinfo=4446S7>

Сатдарова, Ф.Ф Дифракционный анализ деформированных металлов: Теория, методика, программное обеспечение [Электронный ресурс]: монография / Ф.Ф. Сатдарова. - Москва: РИОР, ИНФРА-М, 2016. - 204 с. - ЭБС «Znanium. сот» - Режим доступа: <https://new.znanium.com/catalog/document?id=28604>

## 9.2. Дополнительная литература

1. Купцов, А.Х. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров [Электронный ресурс]/ Купцов А.Х., Жижин Г.Н. - М.: Техносфера, 2013. - 696 с. - ЭБС «IPRbooks» - Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/31880>
2. Криштафович, В.И. Физико-химические методы исследования [Электронный ресурс]: учебник для бакалавров/ Криштафович В.И., Криштафович Д.В., Еремеева Н.В. - М.: Дашков и К, 2018, - 208 с. - ЭБС «Znanium. сот» - Режим доступа: <https://new.znanium.com/catalog/product/513811>.

## 7.2. Интернет-ресурсы

| Название ресурса                                                                           | Ссылка/доступ                                                                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Электронная библиотека онлайн «Единое окно к образовательным ресурсам»                     | <a href="http://window.edu.ru">http://window.edu.ru</a>                                                   |
| «Образовательный ресурс России»                                                            | <a href="http://school-collection.edu.ru">http://school-collection.edu.ru</a>                             |
| Федеральный образовательный портал: учреждения, программы, стандарты, ВУЗы, тесты ЕГЭ, ГИА | <a href="http://www.edu.ru">http://www.edu.ru</a>                                                         |
| Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (ФЦИОР)                           | <a href="http://fcior.edu.ru">http://fcior.edu.ru</a>                                                     |
| Русская виртуальная библиотека                                                             | <a href="http://rvb.ru">http://rvb.ru</a>                                                                 |
| Еженедельник науки и образования Юга России «Академия»                                     | <a href="http://old.rsue.ru/Academy/Archives/Index.htm">http://old.rsue.ru/Academy/Archives/Index.htm</a> |
| Научная электронная библиотека «e-Library»                                                 | <a href="http://elibrary.ru/defaultx.asp">http://elibrary.ru/defaultx.asp</a>                             |
| Электронно-библиотечная система IPRbooks                                                   | <a href="http://www.iprbookshop.ru">http://www.iprbookshop.ru</a>                                         |
| Электронно-справочная система документов в сфере образования «Информо»                     | <a href="http://www.informio.ru">http://www.informio.ru</a>                                               |
| Информационно-правовая система «Гарант»                                                    | Сетевая версия, доступна со всех компьютеров в корпоративной сети ИнГГУ                                   |
| Электронно-библиотечная система «Юрайт»                                                    | <a href="https://www.biblio-online.ru">https://www.biblio-online.ru</a>                                   |

- 1.
2. **Программное обеспечение**
  3. 1. Microsoft Windows 7, Windows 8, Windows 8.1, Windows 10
  4. 2. Microsoft Windows server 2003, 2008, 2012, 2016
  5. 3. Microsoft Office 2007, 2010, 2016
  6. 4. Информационно-правовая система «Гарант» Сетевая версия, доступна со всех компьютеров в корпоративной сети ИнГГУ
  7. 5. Справочно-правовая система «Гарант»
  8. 6. Операционная система Microsoft Windows XP Professional.
  9. 7. Пакет прикладных программ Microsoft Office 2003 Professional.
  10. 8. Программный продукт «Антивирус Касперского».

11. 9. Программный продукт FineReader 7.0 Professional Edition.

12. 10. Программный продукт MATLAB 6.

**Материально-техническое обеспечение**

|                                 |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Основы рентгенофазового анализа | 386132, Республика Ингушетия, г.о. город Назрань, г. Назрань, тер. Гамурзиевский административный округ, ул. Магистральная, д. 39«а» Ауд. №303.<br>Площадь 71.6 м <sup>2</sup> | <b>Аудитория № 303 .</b><br>Специализированная учебная мебель для обучающихся и преподавателя; технические средства обучения (компьютерная техника, доска, мультимедийное оборудование: интерактивная доска, проектор); доступ к информационно-телекоммуникационной сети Интернет; учебно-методические материалы.           |
|                                 | 386132, Республика Ингушетия, г.о. город Назрань, г. Назрань, тер. Гамурзиевский административный округ, ул. Магистральная, д. 39«а». Ауд. №05.<br>Площадь 34.1 м <sup>2</sup> | <b>Аудитория № 05:</b> специализированная учебная мебель для обучающихся и преподавателя; технические средства обучения (ноутбук, доска); обеспечен доступ к информационно-телекоммуникационной сети Интернет; учебно-методические материалы. Комплект учебно-лабораторного оборудования «Основы рентгенофазового анализа». |
|                                 | 386132, Республика Ингушетия, г.о. город Назрань, г. Назрань, тер. Гамурзиевский административный округ, ул. Магистральная, д. 39«а» Ауд. №116.<br>Площадь 36, м <sup>2</sup>  | <b>Для самостоятельной работы обучающихся. Аудитория № 116:</b> рабочие места для обучающихся, технические средства обучения (ноутбук, доска), доступ к сети Интернет, учебно-методические материалы, электронные образовательные ресурсы.                                                                                  |

Рабочая программа дисциплины «Основы рентгенофазового анализа» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (магистратура) 03.04.02. Физика. Направленность (*профиль подготовки Физика полупроводников*), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «07» 08 2021 г. № 914.

Программу составил: профессор кафедры «Физика» Матиев А.Х.

Программа одобрена на заседании кафедры «Физика»  
Протокол № 11 от «27» апреля 2026 года.

Программа одобрена Учебно-методической комиссией физико-математического факультета  
Протокол № 6 от «28» апреля 2026 года.

**Сведения о переутверждении программы на очередной учебный год и регистрации изменений**

| Учебный<br>год | Решение кафедр<br>ры<br>(№ протокола, дата) | Внесенные изменения                                                                                                             | Подпись зав. кафедр<br>рой |
|----------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| 2026-2027г.    | № 11 от «27» апреля 2026 года.              | Фонд оценочных средств указан<br>как приложение.<br>Прописаны индикаторы достиже-<br>ние компетенции (Знать, уметь,<br>владеть) |                            |