



Основная профессиональная образовательная программа  
03.04.02 Физика  
(Физика функциональных материалов и наноматериалов)

---

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра фундаментальной физики и нанотехнологий

ОДОБРЕНО:

Руководитель ОП

\_\_\_\_\_  
(подпись) В.В. Новиков

«31» августа 2026 г.

### **Рабочая программа дисциплины**

#### **Методы структурного анализа**

|                                                        |                                                   |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Уровень высшего образования:                           | Магистратура                                      |
| Квалификация выпускника:                               | Магистр                                           |
| Направление подготовки:                                | 03.04.02 Физика                                   |
| Направленность (профиль)<br>образовательной программы: | Физика функциональных материалов и наноматериалов |

Иваново



## 1. Цели освоения дисциплины

Познакомиться с возможностями методов структурного анализа при изучении пространственного строения вещества, уметь практически реализовывать полученные теоретические знания и экспериментальные навыки, приобрести опыт определения структуры различного типа объектов, включая нанобъекты.

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Для освоения дисциплины необходимы знания, полученные при изучении дисциплин: "Математика", "Физика", "Химия", Прикладная механика", "Физическое материаловедение", "Физика конденсированного состояния вещества", "Физика поверхности", "Физика жидких кристаллов", "Информационные технологии", "Планирование и обработка результатов экспериментов" Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений.

Для освоения дисциплины необходимы знания, полученные при изучении дисциплин: "Математика", "Физика", "Химия", Прикладная механика", "Физическое материаловедение", "Физика конденсированного состояния вещества", "Физика поверхности", "Физика жидких кристаллов", "Информационные технологии", "Планирование и обработка результатов экспериментов".

Для освоения данной дисциплины обучающийся должен:

Знать: теоретические основы оптики, электрически и магнитных явлений, физики конденсированного состояния вещества, математического анализа, функций комплексного переменного, анализа экспериментальных данных, основные информационные технологии по получению и анализу информации, получаемой из сети Интернет.

Уметь: проводить наблюдения и измерения физических величин, физические и химические эксперименты, математические расчеты, анализ и обработку экспериментальных данных с использованием компьютерных программ, поиски информации в сети Интернет.

Иметь: практический опыт наблюдения и измерения физических величин, проведения физических и химических экспериментов, математических расчетов, анализа и обработки экспериментальных данных, поиска информации в сети Интернет.

Материал курса может быть полезным при изучении ряда специальных дисциплин таких как " Современные проблемы физики материалов", "Физика конструкционных материалов", "Триботехнические материалы".

## 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

### 3.1. Компетенции, формированию которых способствует дисциплина

При освоении дисциплины формируются следующие компетенции в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению подготовки:

- а) универсальные (УК): нет;
- б) общепрофессиональные (ОПК): нет;
- в) профессиональные (ПК):

ПК-3 - Способен выполнять работы по анализу научно-технической информации и результатов исследований в своей области специализации, в том числе находящихся на стыке различных областей наук.

ПК-5 - Способен выполнять операции контроля, измерения и испытания для выявления параметров состава, структуры и свойств материалов.



Основная профессиональная образовательная программа  
03.04.02 Физика  
(Физика функциональных материалов и наноматериалов)

ПК-6 - Способен осуществлять контроль состояния испытательного, измерительного и контрольного оборудования, обеспечивать его подготовку и функционирование.

**3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения формируемых компетенций**

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

Знать: теоретические основы различных методов структурного анализа и их возможности при работе с объектами различной природы, включая нанообъекты, для корректной постановки исследовательских задач. (ПК-3).

Уметь: правильно выбирать условия проведения экспериментов в зависимости от поставленной задачи, получать, обрабатывать, анализировать и представлять результаты экспериментов и расчетов в виде отчетов о структуре и свойствах различного типа объектов (ПК-5).

Иметь практический опыт/Иметь навыки: получения экспериментальной информации о структуре и свойствах материалов различного типа и критического её анализа с учетом оценки состояния используемого оборудования, для модификации их структуры и, как следствие, управления их функциональными возможностями (ПК-3, ПК-5, ПК-6).

**4. Объем и содержание дисциплины**

Объем дисциплины составляет 6 зачетных единиц (216 академических часов).

**4.1. Содержание дисциплины по разделам (темам), соотнесенное с видами и трудоемкостью занятий лекционно-семинарского типа**

Объем иной контактной работы и самостоятельной работы обучающегося по дисциплине указан в учебном плане образовательной программы.

| № п/п | Разделы (темы) дисциплины                                                                                                                                             | Семестр | Виды занятий, их объем (в ак. часах, по очной форме обучения) |                            | Формы текущего контроля успеваемости (по очной форме обучения)<br><br>Формы промежуточной аттестации                                |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                                                                                                                                                                       |         | Занятия лекционного типа                                      | Занятия лабораторного типа |                                                                                                                                     |
| 1.    | Введение в проблематику дисциплины, представление рабочей программы, осмысление требований к организации процесса обучения, самостоятельной работы и форм аттестации. | 1       | 2                                                             |                            | Входная диагностика: тест с последующим обсуждением результатов.<br>Список вопросов, интересующих студента по содержанию дисциплины |
| 2.    | Рентгеноструктурный анализ.                                                                                                                                           | 1       | 8                                                             | 8                          | Опорный конспект<br>Отчет по лабораторной работе.                                                                                   |
| 3     | Электроннография.                                                                                                                                                     | 1       | 4                                                             | 4                          | Опорный конспект<br>Отчет по лабораторной работе. по лабораторной работе.                                                           |
| 4     | Просвечивающая (дифракционная) электронная микроскопия                                                                                                                | 1       | 6                                                             | 4                          | Опорный конспект<br>Отчет по лабораторной работе.                                                                                   |
| 5     | Растровая (высоковольтная сканирующая) электронная                                                                                                                    | 1       | 2                                                             | 4                          |                                                                                                                                     |



Основная профессиональная образовательная программа  
03.04.02 Физика  
(Физика функциональных материалов и наноматериалов)

|                   |                                                                                    |   |    |    |                    |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------|---|----|----|--------------------|
|                   | микроскопия                                                                        |   |    |    |                    |
| 6                 | Малоугловое рентгеновское и нейтронное рассеяние                                   | 1 | 4  | 4  |                    |
| 7                 | Заключительный. Подведение и анализ промежуточных результатов освоения дисциплины. | 1 | 2  |    | Контрольная работа |
| Итого за семестр: |                                                                                    |   | 28 | 24 | Экзамен            |

#### 4.2. Развернутое описание содержания дисциплины по разделам (темам)

1. **Введение** в проблематику дисциплины, представление рабочей программы, осмысление требований к организации процесса обучения, самостоятельной работы и форм аттестации.

2. **Рентгеноструктурный анализ (РСА).** Рентгеновское излучение и его взаимодействие с веществом. Основная задача РСА и подходы к ее решению. Фурье-анализ и фурье-синтез. Фазовая проблема. Функция Паттерсона и её анализ: метод тяжелого атома, использование концепции молекулярной самосвертки. Интенсивность и геометрия рентгеновского рассеяния объектами с различной размерностью. Факторы, влияющие на рассеянную интенсивность. Множители интенсивности. Методы РСА. Применение рентгеновской дифракции при решении прикладных материаловедческих задач: физические эффекты, регистрируемые параметры, базовая аппаратура. Рентгеновский фазовый анализ. Определение размеров кристаллитов и микронапряжений из ширины дифракционных максимумов. Выделение кривой истинного дифракционного уширения методом Стокса. Разделение эффектов блочности и микронапряжений методом аппроксимации. Определение макронапряжений в линейно- и плосконапряженном состояниях. Раздельное определение главных нормальных напряжений. Определение типа твердого раствора и степени дальнего порядка в нем. Определение концентрации дефектов упаковки в деформированных металлах и сплавах. Использование метода скользящего рентгеновского пучка для исследования структуры поверхностных слоев, твердых тел и покрытий. Определения толщины и состава материала по ослаблению рентгеновских лучей в нем. Бахрома Киссига. Определение толщины сверхтонких плёнок.

3. **Электроннография.** Длина волны электрона, ее зависимость от ускоряющего напряжения. Взаимодействие электронов с веществом. Упругое и неупругое рассеяние электронов. Устройство электронографа. Получение электронограмм на пропускание и отражение. Специфика электронограмм. Расшифровка электронограмм поли- и монокристаллических образцов. Определение оси зоны. Построение теоретических электронограмм. Объекты с аксиальной текстурой. Метод "косой" съемки. Двойное брэгговское отражение. Кикучи-линии.

4. **Просвечивающая (дифракционная) электронная микроскопия.** Основные узлы просвечивающего электронного микроскопа. Магнитные линзы. Дефекты магнитных линз. Основные представления о механизме формирования изображения. Глубина поля и глубина фокуса. Дифракционная ошибка. Предельное разрешение электронного микроскопа. Режимы работы и ход лучей. Дифракция и микродифракция. Методы исследования в просвечивающей электронной микроскопии. Дифракционный контраст: фазовый и амплитудный. Абсорбционный контраст. Светлопольное и темнопольное изображение. Действующее отражение. Виды контраста на совершенном кристалле. Рассеяние электронов на несовершенном кристалле.

5. **Растровая (высоковольтная сканирующая) электронная микроскопия.** Устройство и принципы формирования изображения в растровом электронном микроскопе. Увеличение и разрешение. Основные режимы и дополнительные возможности. Основные виды контраста на



Основная профессиональная образовательная программа  
03.04.02 Физика  
(Физика функциональных материалов и наноматериалов)

изображении. Применение РЭМ для изучения полупроводников. Спектрометрия рентгеновского излучения от объектов в РЭМ. Рентгеновский микроанализ тонких образцов.

**6. Малоугловое рентгеновское и нейтронное рассеяние.** Принципы построения малоугловых установок. Лабораторные рентгеновские малоугловые установки. Коллимация и детекторы рентгеновского излучения. Определение размеров «частиц» и их распределения по размерам в образце из данных диффузного малоуглового рентгеновского рассеяния. Малоугловые установки на синхротронном излучении. Основные характеристики, монохроматизация и фокусировка синхротронного излучения. Малоугловые дифрактометры на тепловых нейтронах. Источники тепловых нейтронов. Монохроматизация, коллимация и детектирование нейтронного излучения. Предварительная обработка экспериментальных данных: нормировка, усреднение, сглаживание, учет немонотонности. Методы одновременного устранения приборных искажений.

## **5. Образовательные технологии**

Традиционные образовательные технологии: классическое лекционное обучение (лекционные занятия), обучение с помощью учебной книги (самостоятельная работа), обучение с помощью системы малых групп (при проведении лабораторных и практических занятий),

Информационно-коммуникационные образовательные технологии: технологии смешанного обучения, включающие в себя поиск информации в Интернете (самостоятельная работа), применение специализированных пакетов для получения анализа экспериментальных данных и построения экспериментальных зависимостей (практические занятия), применение аудиовизуальных технических средств (лекционные занятия).

## **6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Основной способ организации самостоятельной работы студентов — самостоятельная подготовка к выполнению практических работ по методическим указаниям. Полностью весь методический материал по обеспечению самостоятельной работы студентов приведен в Приложении 1 к РП.

## **7. Характеристика оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

Система контроля по дисциплине включает: входной контроль; текущий контроль и итоговый контроль — экзамен.

В текущем контроле используются проверка опорных конспектов и материалов практических занятий и домашних заданий.

Итоговая контрольная работа оценивается по пятибалльной шкале.

Допуск на экзамен происходит при наличии отчетов по домашним и практическим заданиям с положительной оценкой за их выполнение.

Экзамены проходят устно. В качестве оценочных средств используются: комплект экзаменационных билетов и дополнительные ситуационные вопросы. Билеты экзамена содержат два теоретических вопроса. Каждый вопрос оценивается по пятибалльной шкале. Используются следующие критерии оценки:

«5» — студент полностью раскрывает тему вопроса, самостоятельно и полно отвечает на дополнительные вопросы, связанные с темой вопроса;

«4» — студент полностью раскрывает тему вопроса, но затрудняется отвечать на дополнительные вопросы, связанные с темой вопроса; или тема вопроса раскрыта не полностью, но студент уверенно отвечает на дополнительные вопросы, связанные с темой вопроса.



Основная профессиональная образовательная программа  
03.04.02 Физика  
(Физика функциональных материалов и наноматериалов)

«3» — студент не полностью раскрывает тему вопроса и затрудняется отвечать на дополнительные вопросы, связанные с темой вопроса;

«2» — студент не раскрывает тему вопроса, проявляет незнание базовых терминов и понятий, необходимых для раскрытия темы.

Оценка за экзамен ставится как среднеарифметическое баллов за ответы на вопросы экзаменационного билета с учетом ответов на дополнительные ситуационные вопросы. Результат округляется до целого числа.

Вопросы экзаменационных билетов и типы дополнительных ситуационных вопросов приведены в фонде оценочных средств (Приложение 2)

## 8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Основная литература:

1. Илюшин А.С., Орешко А.П. Дифракционный структурный анализ. М.: физический ф-т МГУ ООИ Изд. дом «Крепостновъ», 2013. 616 с. ISBN 978-5-85271-503-62.
2. Русаков А.А. Рентгенография металлов. М.: Атомиздат, 1977, 480 с.
3. Физическое материаловедение : учебник для вузов : в 6-х т. / под ред. Б.А. Калин. - М. : МИФИ, 2008. - Т. 3. Методы исследования структурно-фазового состояния материалов. - 808 с. - ISBN 978-5-7262-0977-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=237979> (11.11.2015).
4. Созинов, С.А. Структурные методы исследования кристаллов : учебное пособие / С.А. Созинов, Л.В. Колесников. - Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2012. - 108 с. - ISBN 978-5-8353-1284-9 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=232740> (11.11.2015).
5. С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. Рентгенографический и электронно-оптический анализ, М.: МИСИС, 1994.
6. Вознесенский Э.Ф. Методы структурных исследований материалов. Методы микроскопии : учебное пособие / Э.Ф. Вознесенский, Ф.С. Шарифуллин, И.Ш. Абдуллин ; Министерство образования и науки России, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет». - Казань : Издательство КНИТУ, 2014. - 184 с. : табл., ил. - Библиогр. в кн. - ISBN 978-5-7882-1545-7 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428294> (20.01.2016).

### Дополнительная литература:

1. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: Издательство МГУ, 1972. 247 с.
2. Фетисов, Г.В. Синхротронное излучение. Методы исследования структуры веществ : учебное пособие / Г.В. Фетисов ; под ред. Л.А. Асланов. - М. : Физматлит, 2007. - 673 с. - ISBN 978-5-9221-0805-8 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=76647> (11.11.2015).
3. Д.И. Свергун, Л.А. Фейгин -Рентгеновское и нейтронное малоугловое рассеяние. - М.:Наука.Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.
4. Эндрюс, Д. Дайсон, С. Киоун Электронограммы и их интерпретация, "Мир", М., 1971.
- 5. Дж. Спенс Экспериментальная электронная микроскопия высокого разрешения, М., "Наука", 1986.



Основная профессиональная образовательная программа  
03.04.02 Физика  
(Физика функциональных материалов и наноматериалов)

**Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:**

Система электронной поддержки образовательного процесса «Мой университет»  
<https://uni.ivanovo.ac.ru>

Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

ЭБС «Университетская библиотека онлайн» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru);

<http://lib.ivanovo.ac.ru/index.php/polnotekstovye-resursy/ebs-universitetskaya-biblioteka>

Электронная библиотека ИвГУ <http://lib.ivanovo.ac.ru/index.php/polnotekstovye-resursy/elibnew>

Электронный каталог НБ ИвГУ <http://lib.ivanovo.ac.ru/index.php/ek>

**Программное обеспечение:** операционная система Microsoft Windows, пакет офисных программ Microsoft Office и(или) LibreOffice, интернет-браузер Microsoft Edge и(или) Yandex Browser.

**9. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Учебные аудитории:

- для проведения занятий лекционного типа с комплектом специализированной учебной мебели и техническими средствами обучения, служащими для предоставления учебной информации большой аудитории;

- для проведения занятий семинарского типа, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации с комплектом специализированной учебной мебели и техническими средствами обучения;

- для проведения занятий семинарского типа, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, выполнения курсовых работ (проектов) с комплектом специализированной учебной мебели и техническими средствами обучения.

Лаборатория, оснащенная лабораторным оборудованием, комплектом специализированной учебной мебели и техническими средствами обучения.

Помещение для самостоятельной работы, оснащенное комплектом специализированной учебной мебели, компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в ЭИОС.

Демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия для занятий лекционного типа, обеспечивающие тематические иллюстрации: персональный компьютер, проектор, экран.

**Автор рабочей программы дисциплины:** профессор кафедры фундаментальной физики и нанотехнологий, доктор физ.-мат. наук, доцент Александров А.И.

Программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры фундаментальной физики и нанотехнологий 31 августа 2026 года, протокол № 1

Программа обновлена

протокол заседания кафедры № \_\_ от «\_\_» \_\_\_\_\_ г.

Согласовано:

Руководитель ОП \_\_\_\_\_ /

**Приложение 1. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

**Приложение 2. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.**