



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

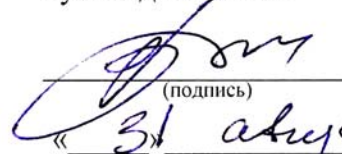
Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра фундаментальной физики и нанотехнологий

ОДОБРЕНО:

Руководитель ОП

 В.В. Новиков  
(подпись)  
« 31 августа » 20 23 г.

### Рабочая программа дисциплины

#### Методы структурного анализа

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



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

---

### 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 нанообъекты.

### 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)  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. Список вопросов, интересующих студента по содержанию дисциплины
2.	Рентгеноструктурный анализ.	1	8	8	Опорный конспект Отчет по лабораторной работе.
3	Электроннография.	1	4	4	Опорный конспект Отчет по лабораторной работе. по лабораторной работе.
4	Просвечивающая (дифракционная) электронная микроскопия	1	6	4	Опорный конспект 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 ООО 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 2023 года, протокол № 1

Программа обновлена

протокол заседания кафедры № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Согласовано:

Руководитель ОП \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

(подпись)

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

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