

**“СОГЛАСОВАНО”**

Ректор *УрГУ*

\_\_\_\_\_ /Бугров Д.В. /

**Программа  
краткосрочного повышения квалификации преподавателей и научных  
работников высшей школы  
на базе учебного курса  
«Рентгеновские методы исследования наноматериалов»**

Цель: Овладение слушателями методиками определения размеров нанообъектов различной природы.

Категория слушателей: преподаватели и научные работники высшей школы

Срок обучения: 24 часа

Форма обучения: с частичным отрывом от работы

Режим занятий: 8 часов в день

*Целью данного курса* является выработка навыков правильного выбора методов исследования наноструктуры различных нанообъектов и решения прикладных задач с использованием компьютерных программ.

**Требования к уровню освоения учебного курса**

Преподаватели должны:

- Знать:
  - теорию дифракции рентгеновских лучей;
  - устройство и принцип работы дифрактометров;
  - метод полнопрофильного анализа.
- Иметь навыки:
  - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области рентгенографии;
  - включать приобретенные знания в уже имеющуюся систему знаний и применять эти знания в самостоятельных методических разработках;
  - переносить полученные знания на смежные предметные области и к использованию этих знаний для построения междисциплинарных методических разработок.

Научные работники должны:

- 1.Знать:
  - область применения рассеяния рентгеновских лучей;
  - устройство рентгеновских установок;
  - кинематическую теорию рассеяния рентгеновских лучей.

- 2. Иметь навыки:
  - сбора, систематизации и анализа научно-технической и другой профессиональной информации в области;
  - планирования и проведения исследований и экспериментов.
  -

Учебный курс «Рентгеновские методы исследования наноматериалов» состоит из дистанционной и очной частей.

Дистанционная часть учебного образовательного курса обеспечивает слушателя необходимым объёмом знаний по выбранной тематике, включая подготовку слушателя к проведению лабораторного практикума. Задача дистанционной составляющей учебного курса – подготовить слушателя к очному посещению лабораторий.

В дистанционной (теоретической) части учебного курса изложены физические основы методов определения размеров нанобъектов различной природы. Теоретическая часть учебного курса состоит из четырёх лекций:

**Лекция 1: Основы дифракционных методов исследования наноматериалов**

Особенности структуры наноматериалов. Интерференционное уравнение. Связь уширения дифракционных максимумов с формой и размерами узлов обратной решетки и с размерами областей когерентного рассеяния.

**Лекция 2: Метод полнопрофильного анализа**

Форма, ширина пиков на дифрактограмме. Аппроксимирующие функции. Уточнение методом наименьших квадратов.

**Лекция 3: Метод ППА**

Характеристики и работа программы FullProf

**Лекция 4: Метод гармонического анализа и МУР.**

Фурье синтез, особенности рассеяния рентгеновских лучей в малых углах,

Очная (экспериментальная) часть учебного курса заключается в изучении принципов работы рентгеновских дифрактометров. Получение дифракционных спектров. Обработка результатов с помощью пакета программ. Основные задания на лабораторный практикум:

- Провести эксперимент по получению дифракционных картин от нанобъектов;
- Провести расчеты размеров областей когерентного рассеяния, размеров кристаллитов и параметров сверхрешеток.

Слушателям предлагается выполнить 4-е лабораторные работы:

№1 Малоугловое рассеяние рентгеновских лучей (МУР).

№2 Определение толщины и количества слоев в многослойных наноматериалах (сверхрешетках).

№3 Метод гармонического анализа.

№4 Метод полнопрофильного анализа с использованием программы «FullProf».

## **Методические рекомендации по реализации учебной программы**

На дистанционную и очную части учебного курса отводится по 12 часов соответственно. Для контроля степени освоения теоретической части учебного курса (лекций) используются **тестовые вопросы** для самопроверки и **контрольные вопросы**.

### **Тестовые вопросы к курсу**

#### **«Рентгеновские методы исследования наноматериалов»**

#### **Лекция 1: Основы дифракционных методов исследования наноматериалов**

1. Отличительной чертой характеристического спектра является?

- А) постоянство длины волны  
Б) непрерывный набор длин волн  
В) наличие коротковолновой границы  
Г) получение большого числа длин волн

Ответ:

2. В результате какого механизма образуется характеристический спектр?

- А) торможение электронов  
Б) ионизация атомов анода  
В) торможение ионов  
Г) ионизация атомов катода

Ответ:

3. Ширина пика зависит ?

- А) От размеров кристаллитов  
Б) от ускоряющего напряжения  
В) От размеров и от количества кристаллитов  
Г) не зависит от размеров кристаллитов

Ответ:

4. Уравнение Вульфа-Брэггов является частным случаем?

- А) уравнения Лейбница  
Б) уравнения Бугера-Ламберта  
В) уравнения Дебая  
Г) уравнения Лауэ

Ответ:

### **Лекция 2,3: Метод полнопрофильного анализа**

1. Форма дифракционного максимума зависит от?

- А) анодного тока  
Б) постоянна  
В) ускоряющего напряжения  
Г) Брэгговского угла

Ответ:

2. Форма пика зависит от?

- А) величины кристаллитов  
Б) от числа уточняемых параметров  
В) количества узлов обратной решетки  
Г) постоянна

Ответ:

3. Интенсивность дифракционного максимума зависит от?

- А) постоянна  
Б) способа расчета  
В) атомной амплитуды  
Г) интенсивности фона

Ответ:

### **Лекция 4: Метод гармонического анализа, МУР.**

1. Метод гармонического анализа – это преобразование

- А) Фурье  
Б) Эйлера  
В) Коши  
Г) Шеррера

Ответ:

2. Малоугловое рассеяние зависит от?

- А) анодного тока  
Б) размеров кристаллитов  
В) ускоряющего напряжения  
Г) микронапряжений

Ответ:

3. Толщина слоя сверхрешеток определяется в

А) по всей рентгенограмме

Б) малых углах

В) средних углах

Г) больших углах

Ответ:

4. С ростом толщины пленки размеры кристаллитов?

А) Увеличиваются

Б) Уменьшаются

В) Остаются неизменными

Г) В зависимости от температуры

Ответ:

### **Контрольные вопросы для проверки материала в количестве 22 вопросов**

1. Определение «нанокристаллов», «нанопорошков». Перечень направлений исследований и потенциальных приложений нанотехнологий.
2. Особенности дифракционных методов исследования мелкодисперсных объектов.
3. Вывод интерференционного уравнения Лауэ
4. Факторы интенсивности дифрагированных лучей.
5. Вывод зависимости полуширины линии от мелкодисперсности (формула Шеррера-Селякова) и относительной деформации
6. Нахождение величины относительной среднеквадратичной деформации и размеров областей когерентного рассеяния наноматериалов методом Стокса.
7. Сравнительный анализ рентгенографических и нейтронографических методов исследования.
8. Основные положения нейтронографии.
9. Малоугловое рассеяние рентгеновских лучей
10. Влияние размеров кристаллитов на ширину дифракционных максимумов.
11. Выбор интервала разбиения в методе гармонического анализа.
12. Определение формы и размеров кристаллитов методом Фурье анализа.
13. Влияние формы и размеров узла обратной решетки на размытие дифракционных максимумов
14. Малоугловое рассеяние.
15. Определение толщины слоев в многослойных материалах.
16. Общая характеристика программы FullProf. Ее характерные особенности.
17. Метод полнопрофильного анализа
18. Описание форм и ширины пика в методе Ритвельда
19. Метод вычисления, факторы сходимости.
20. Структурный фактор для кристаллической и магнитной ячеек
21. Параметры метода наименьших квадратов, используемых в программе.
22. Связь между интегральными полуширинами дифракционных максимумов нанокристаллического образца и эталона.

В конце очной части учебного курса слушатели готовят отчеты по **темам контрольных рефератов**, которые используются для контроля степени усвоения всего учебного курса на базе экспериментальных результатов и их обработки с применением знаний из дистанционной части курса.

### **Темы контрольных рефератов по курсу «Рентгеновские методы исследования наноматериалов»**

1. Применение методов дифракции рентгеновских лучей для определения размеров кристаллитов.

2. Сравнение метода МУР и Рефлексометрии. .
3. Оборудование для дифракционных исследований.
4. Возможности применения программ ППА для определения размеров кристаллитов.

### Учебно-тематический план

№	Название учебного курса и лекций	Всего, час.	в том числе (указать часы)			Форма контроля
			Дистанционные лекции (самостоятельное изучение, дистанционное общение с преподавателем, вопросы-ответы через email, форум, чат и др.)	Самостоятельная работа. Подготовка ответов на контрольные вопросы	Очный практикум или другое практическое задание	
	«Рентгеновские методы исследования наноматериалов»	24 ч.	10 ч.	2 ч.	12 ч.	Контрольные вопросы (электронная зачётка)
1.	Лекция 1: Ὑθβγγυ Чάλ ηΣήν άγββυ μ ϖ Ω γΨΥ άθθί ΩΨΥΣβάι βΣβγϖ Σι ΩηάΣι γΥ		2,5 ч.	0,5 ч.		Реферат
2.	Лекция 2: 1 Ω γΨ ζγί βγζηγλ άί χβγΧ ΣβΣί άΨΣ		2,5 ч.	0,5 ч.		
3.	Лекция 3: Метод ППА		2,5 ч.	0,5 ч.		
4.	Лекция 4: 1 Ω γΨ ΧΣηϖ γβάξ ΩήγΧ ΣβΣί άΨΣ, 1 Δί .		2,5 ч.	0,5 ч.		
Итоговый контроль				Контрольные вопросы (электронная зачётка)	Реферат	

**Список литературы (основной и дополнительной),  
а также других видов учебно-методологических материалов и пособий,  
необходимых для изучения (конспектов лекций, видеолекций, лазерных  
дисков и др.).**

#### Список литературы

**и др. дополнительных источников информации в кол-ве – 8.**

1. Андриевский Н.А., Рагуля А.В. Наноструктурные материалы. – М.: Издательский центр «Академия», 2005, 192 с.
2. H.M.Rietveld «A Profile Refinement Method for Nuclear and Magnetic Structures» J. Appl. Cryst. (1969) 2, 65-71.
3. Klug & Alexander, 1959. X-ray Diffraction Procedures, 2<sup>nd</sup> ed. p. 251. New York: John Wiley
4. J. Rodríguez-Carvajal, M.T. Fernandez-Díaz and J.L. Martínez [8]), J. Phys: Condensed Matter 3, 3215 (1991), W. Stephens, J. Appl. Cryst. 32, 281 (1999)].
5. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М., 1978, с.123-160.
6. Шаскольская М.П. Кристаллография. М., 1984, с.143-148.
7. Русаков А.А. Рентгенография металлов. М., 1977, с. 284-344.

8. Kohn V.G. on the theory of reflectivity by an X-ray multilayer mirror.// Phys. stat. sol. (b), 1995, vol. 187, p. 61-70.