

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Введение в структурный анализ твердого тела

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Квантовая радиофизика и лазерная физика

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.07.03 Введение в структурный анализ твердого тела относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники при решении задач своей профессиональной деятельности	<p>ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач</p> <p>ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий</p>	<p>ПК-1.1:</p> <p>Знать основные дифракционные методы исследования твердых тел.</p> <p>Уметь пользоваться основными подходами для анализа структуры твердых тел.</p> <p>Владеть систематическими знаниями по классификации, областям применения структурного анализа твердого тела.</p> <p>ПК-1.2:</p> <p>Знать основные дифракционные методы исследования твердых тел.</p> <p>Уметь пользоваться основными подходами для анализа структуры твердых тел.</p> <p>Владеть систематическими знаниями по классификации, областям применения структурного анализа твердого тела.</p>	Задачи	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники, современные	ПК-2.1: Знать приемы построения обратного пространства для кристаллических объектов различного типа; способы перехода от картины в	Задачи	Зачёт: Контрольные вопросы

<p>отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты</p>	<p>подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники</p>	<p>обратном пространстве к дифракционной картине, регистрируемой прибором; способы анализа основных параметров кристаллической структуры и микроструктуры по дифракционной картине; виды искажений дифракционной картины в случае кристалла с дефектами.</p> <p>Уметь применять полученные знания для решения практических задач, описания физических эффектов в области, соответствующей тематике курса.</p> <p>Уметь ориентироваться в современной научной литературе по</p> <p>ПК-2.2:</p> <p>Знать приемы построения обратного пространства для кристаллических объектов различного типа; способы перехода от картины в обратном пространстве к дифракционной картине, регистрируемой прибором; способы анализа основных параметров кристаллической структуры и микроструктуры по дифракционной картине; виды искажений дифракционной картины в случае кристалла с дефектами.</p> <p>Уметь применять полученные знания для решения практических задач, описания физических эффектов в области, соответствующей тематике курса.</p> <p>Уметь ориентироваться в современной научной литературе по</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>Знать приемы построения обратного пространства для кристаллических объектов различного типа; способы</p>		
---	--	--	--	--

		<p>перехода от картины в обратном пространстве к дифракционной картине, регистрируемой прибором; способы анализа основных параметров кристаллической структуры и микроструктуры по дифракционной картине; виды искажений дифракционной картины в случае кристалла с дефектами.</p> <p>Уметь применять полученные знания для решения практических задач, описания физических эффектов в области, соответствующей тематике курса.</p> <p>Уметь ориентироваться в современной научной литературе по</p> <p>ПК-2.4:</p> <p>Знать приемы построения обратного пространства для кристаллических объектов различного типа; способы перехода от картины в обратном пространстве к дифракционной картине, регистрируемой прибором; способы анализа основных параметров кристаллической структуры и микроструктуры по дифракционной картине; виды искажений дифракционной картины в случае кристалла с дефектами.</p> <p>Уметь применять полученные знания для решения практических задач, описания физических эффектов в области, соответствующей тематике курса.</p> <p>Уметь ориентироваться в современной научной литературе по</p>		
--	--	---	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	1
самостоятельная работа	75
Промежуточная аттестация	0 Зачёт

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Тема 1. Предмет дифракционного структурного анализа. Структурный анализ как преобразование Фурье	12	4		4	8
Тема 2. Определение геометрии дифракционной картины с помощью фурье-образов рассеивающих объектов	12	4		4	8
Тема 3. Периодически модулированные структуры	10	2		2	8
Тема 4. Фазовая проблема и ее решение патерсоновскими и прямыми методами. Атомное строение некоторых кристаллов	10	2		2	8
Тема 5. Влияние симметрии кристалла на картину дифракции	8	2		2	6
Тема 6. Кристалл с дефектами	12	4		4	8
Тема 7. Особенности анализа поликристалла и осевой текстуры. Основные типы рентгеновской дифракционной аппаратуры. Особенности рентгеновского дифрактометра	12	4		4	8
Тема 8. Дифракционное исследование эпитаксиальных гетероструктур. Анализ мозаичной структуры	7	2		2	5
Тема 9. Измерение упругих деформаций и концентрации твердого раствора	6	2		2	4
Тема 10. Интенсивность отражения от кристаллической пластинки	6	2		2	4
Тема 11. Кинематическое и динамическое рассеяние. Графики Дю-Монда	6	2		2	4
Тема 12. Рекуррентная формула для многослойной структуры. Диагностика дефектов эпитаксиальных гетероструктур по кривым	6	2		2	4

качания					
Аттестация	0				
КСР	1			1	
Итого	108	32	0	33	75

Содержание разделов и тем дисциплины

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает:

Разбор решения задач различной степени сложности, проведение обсуждения рассматриваемых проблем в свете последних научных достижений в соответствующей области знаний. Студенты работают как индивидуально, так и коллективно.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП:

Применение знаний и умений при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности

- компетенций:

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Помимо ознакомления с рекомендованной литературой в процессе обучения самостоятельная работа обучающегося предполагает проработку контрольных вопросов.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

Задача 1.1

Гетероэпитаксиальная система состоит из подложки Si(001), толстого буферного слоя $\text{Ge}_{0.9}\text{Si}_{0.1}$ - х и тонкого слоя Si на поверхности, причем сопряжение верхнего слоя Si с буфером - бездефектное.

Экспериментально измерены: деформация решетки буфера относительно подложки в плоскости слоя $\epsilon_{xx}=0.01$ и по нормали к поверхности $\epsilon_{zz}=0.046$.

Определить: концентрацию x_{Ge} в буфере; упругие напряжения в буфере и слое Si; плотность дислокаций несоответствия в гетеропереходе между подложкой и буфером.

Использовать численные константы:

$(a_{Ge}-a_{Si})/a_{Si}=0,04$; $\epsilon_{elast} / \epsilon_{elast} = -0,8$; $x = \epsilon_{elast} \cdot 150$ [ГПа]; вектор Бюргерса в проекции на плоскость слоя $b_x=0,5$ нм.

Задача 1.2

Определить, являются ли две структуры А и Б гомометрическими, т.е. неразличимыми по интенсивности дифракционной картины. Структуры одномерные, содержат по 5 одинаковых атомов, период $a=10$. Координаты атомов: А- $x_i = 0, 3, 4, 5, 6$; Б- $x_i = 0, 1, 3, 4, 5$.

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Задача 2.1

Рассмотреть, чем должны различаться схемы сканирования обратного пространства при измерении на рентгеновском дифрактометре интегральной интенсивности брегговского отражения в случаях: 1- тонкая эпитаксиальная пленка совершенного кристалла; 2 - толстый эпитаксиальный слой мозаичного кристалла.

Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция

Оценка	Критерии оценивания
	сформирована на уровне «плохо»

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено			зачтено			
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

- 1) Предмет дифракционного структурного анализа. Структурный анализ как преобразование Фурье.
- 2) Прямая и обратная решетка кристалла. 4-х индексные обозначения.
- 3) Одномерный кристалл. Сфера Эвальда. Случаи малых длин волн, больших длин волн и средних длин волн.
- 4) Фурье-образы. Теорема свертки. Принцип взаимности
- 5) Двумерная дифракция. Кристалл конечной толщины и соотношение неопределенностей.
- 6) Одномерная кристаллическая сверхрешетка. Сверхрешетка на вицинальной поверхности. Двумерная модуляция.
- 7) Функция Патерсона. Гомометрические структуры.
- 8) Простейшие структурные типы и две плотнейшие упаковки.

9) Точечные группы симметрии кристалла, решетки Браве, пространственные группы симметрии.

10) Иерархия кристаллического совершенства вещества (аморфное тело, поликристалл, текстура, мозаичный монокристалл, идеальный монокристалл). Обратное пространство поликристалла. Осевая текстура. Прямая и обратная полюсные фигуры.

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

- 1) Дифракционное исследование эпитаксиальных гетероструктур. Анализ мозаичной структуры.
- 2) Твердые растворы замещения, коэффициент деформации решетки примесью.
- 3) Начальная, упругая и пластическая деформации в слое; их анализ по сдвигу дифракционных пиков.
- 4) Интенсивность отражения от кристаллической пластинки.
- 5) Кинематическое и динамическое рассеяние. Графики дэ- Монда.
- 6) Диагностика дефектов эпитаксиальных гетероструктур по кривым качания.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо» ИЛИ Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо» ИЛИ Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Чупрунов Евгений Владимирович. Основы кристаллографии : учеб. для вузов. - М. : Физматлит, 2004. - 500 с. - ISBN 5-94052-060-1 : 143.00., 86 экз.
2. Андреев Павел Валерьевич. Рентгеновский фазовый анализ поликристаллических материалов : учеб. пособие для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 011200 "Физика", 210100 "Электроника и нанoeлектроника", 210600 "Нанотехнология", 230400 "Информационные системы и технологии" и специальностям 210601 "Нанотехнология в электронике", 010701 "Физика" и 230201 "Информационные системы и технологии" / под ред. Е. Д. Чупрунова ; ННГУ. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2013. - 123 с. - ISBN 978-5-91326-3/2-4 : 70.00., 15 экз.
3. Жданов Герман Степанович. Дифракционный и резонансный структурный анализ : Рентгено-, электроно-, нейтроно-, мессбауэрография и мессбауэровская спектроскопия : [учеб. пособие для вузов] / под общ. ред. Г. С. Жданова. - М. : Наука, 1980. - 254 с. : ил. - 0.80., 5 экз.
4. Шаскольская Марианна Петровна. Кристаллография : [учеб. пособие для вузов]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Высшая школа, 1984. - 375 с., 4 л. ил. : ил. - 1.40., 96 экз.
5. Сиротин Юрий Исакович. Основы кристаллофизики : [учеб. пособие для физ. специальностей вузов]. - 2-е изд., перераб. - М. : Наука, 1979. - 639 с. : ил. - 1.80., 7 экз.
6. Берклеевский курс физики : [в 5 т.]. Т. 3. Волны / сжп/ Ф. Крауфорд ; пер. с англ. под ред. А. И. Шальникова, А. О. Вайсенберга. - 3-е изд., испр. - М. : Наука, 1984. - 511 с. : ил. - Изд. выходит с 1983 г. - 1.60., 7 экз.

Дополнительная литература:

1. Най Дж. Физические свойства кристаллов и их описание при помощи тензоров и матриц / пер. с англ. Л. А. Шувалова. - 2-е изд. - М. : Мир, 1967. - 385 с. : черт. - 1.70., 5 экз.
2. Каули Джон М. Физика дифракции / пер. с англ. А. С. Авилова, Л. И. Ман ; под ред. [и с предисл.] З. Г. Пинскера. - М. : Мир, 1979. - 431 с. : ил. - 2.90., 4 экз.
3. Зайцева Е. В. Динамическая теория дифракции рентгеновских лучей в кристаллах : учеб. пособие. Ч. 1 / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского. - Н. Новгород : Изд-во Нижегород. гос. ун-та, 1999. - 131 с. - ISBN 5-85746-446-3 : 28.00., 4 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

- 1) <http://pubs.acs.org/>
- 2) <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
- 3) <http://www.elementy.ru>
- 4) <http://eqworld.ipmnet.ru/>
- 5) <http://ibooks.ru/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Юнин Павел Андреевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Красильник Захарий Фишелевич, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023 г., протокол № 09/23.