

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
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением
ученого совета ННГУ
протокол № 13 от 30.11.2022 г.

Рабочая программа дисциплины

Введение в структурный анализ твердого тела

(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования

магистратура

(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность

03.04.03 радиофизика

(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы

Квантовая радиофизика и лазерная физика

(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения

очная

(очная / очно-заочная / заочная)

Нижегород

2023 год

1. Место дисциплины в структуре ООП

№ варианта	Место дисциплины в учебном плане образовательной программы	Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД
2	Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений	Дисциплина Б1.В.ДВ.06.01, <i>введение в структурный анализ твердого тела</i> относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 <i>радиофизика</i> , формируемой участниками образовательных отношений.

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**	
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	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 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	<i>Знать</i> основные дифракционные методы исследования твердых тел. <i>Уметь</i> пользоваться основными подходами для анализа структуры твердых тел. <i>Владеть</i> систематическими знаниями по классификации, областям применения структурного анализа твердого тела.	<i>Собеседование, задача</i>
ПК-2. Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным	ПК-2.1. Анализирует современное состояние исследований в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники, современные подходы к описанию и	<i>Знать</i> 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	<i>Собеседование, задача</i>

разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области квантовой радиофизики, лазерной физики и фотоники и оформлять их результаты	<p>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>кристаллической структуры и микроструктуры по дифракционной картине; виды искажений дифракционной картины в случае кристалла с дефектами.</p> <p><i>Уметь</i> 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 форма обучения
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
самостоятельная работа	75
КСР	1
Промежуточная аттестация – зачет	

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				Самостоятельная работа
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Всего	
<u>Тема 1.</u> Предмет дифракционного структурного анализа. Структурный анализ как преобразование Фурье	14	4	4		8	6
<u>Тема 2.</u> Определение геометрии дифракционной картины с помощью фурье-образов рассеивающих объектов	14	4	4		8	6
<u>Тема 3.</u> Периодически модулированные структуры	10	2	2		4	6
<u>Тема 4.</u> Фазовая проблема и ее решение патерсоновскими и прямыми методами. Атомное строение некоторых кристаллов	10	2	2		4	6
<u>Тема 5.</u> Влияние симметрии кристалла на картину дифракции	8	2	2		4	4
<u>Тема 6.</u> Кристалл с дефектами	14	4	4		8	6
<u>Тема 7.</u> Особенности анализа поликристалла и осевой текстуры. Основные типы рентгеновской дифракционной аппаратуры. Особенности рентгеновского дифрактометра	14	4	4		8	6
<u>Тема 8.</u> Дифракционное исследование эпитаксиальных гетероструктур. Анализ мозаичной структуры	8	2	2		4	4
<u>Тема 9.</u> Измерение упругих деформаций и концентрации твердого раствора	8	2	2		4	4
<u>Тема 10.</u> Интенсивность отражения от кристаллической пластинки	8	2	2		4	4

Тема 11. Кинематическое и динамическое рассеяние. Графики Дю-Монда	8	2	2		4	4
Тема 12. Рекуррентная формула для многослойной структуры. Диагностика дефектов эпитаксиальных гетероструктур по кривым качания	8	2	2		4	4
Контроль самостоятельной работы	2				2	
Итоговая аттестация - зачет						

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

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Помимо ознакомления с рекомендованной литературой в процессе обучения самостоятельная работа обучающегося предполагает проработку контрольных вопросов. Текущий контроль успеваемости проводится во время занятий семинарского типа и научно-практических занятий.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности 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, без ошибок.	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 отдельными несущественным 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 владения материалом. Невозможность оценить	При решении стандартных задач не продемонстрированы	Имеется минимальный набор	Продemonстрированы базовые навыки	Продemonстрированы базовые навыки	Продemonстрированы навыки при решении	Продemonстрирован творческий подход к решению
	наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	нестандартных задач без ошибок и недочетов.	нестандартных задач

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
	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
зачтено	отлично	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»
	очень хорошо	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»
	хорошо	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»
	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», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

<i>вопросы</i>	<i>Код формируемой компетенции</i>
1) Предмет дифракционного структурного анализа. Структурный анализ как преобразование Фурье.	ПК-1
2) Прямая и обратная решетка кристалла. 4-х индексные обозначения.	ПК-1
3) Одномерный кристалл. Сфера Эвальда. Случаи малых длин волн, больших длин волн и средних длин волн.	ПК-1
4) Фурье-образы. Теорема свертки. Принцип взаимности	ПК-1
5) Двумерная дифракция. Кристалл конечной толщины и соотношение неопределенностей.	ПК-1
6) Одномерная кристаллическая сверхрешетка. Сверхрешетка на вицинальной поверхности. Двумерная модуляция.	ПК-1
7) Функция Патерсона. Гомометрические структуры.	ПК-1
8) Простейшие структурные типы и две плотнейшие упаковки.	ПК-1
9) Точечные группы симметрии кристалла, решетки Браве, пространственные группы симметрии.	ПК-1
10) Иерархия кристаллического совершенства вещества (аморфное тело, поликристалл, текстура, мозаичный монокристалл, идеальный монокристалл). Обратное пространство поликристалла. Осевая текстура. Прямая и обратная полюсные фигуры.	ПК-1
11) Дифракционное исследование эпитаксиальных гетероструктур. Анализ мозаичной структуры.	ПК-2
12) Твердые растворы замещения, коэффициент деформации решетки примесью.	ПК-2
13) Начальная, упругая и пластическая деформации в слое; их анализ по сдвигу дифракционных пиков.	ПК-2
14) Интенсивность отражения от кристаллической пластинки.	ПК-2
15) Кинематическое и динамическое рассеяние. Графики дю-Монда.	ПК-2
16) Диагностика дефектов эпитаксиальных гетероструктур по кривым качания.	ПК-2

5.2.3. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задача 1.1

Гетероэпитаксиальная система состоит из подложки Si(001), толстого буферного слоя $\text{Ge}_x\text{Si}_{1-x}$ и тонкого слоя Si на поверхности, причем сопряжение верхнего слоя Si с буфером - бездефектное. Экспериментально измерены: деформация решетки буфера относительно подложки в плоскости слоя $\varepsilon_x=0.01$ и по нормали к поверхности $\varepsilon_z=0.046$.

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:

$(a_{\text{Ge}}-a_{\text{Si}})/a_{\text{Si}}=0,04$; $\varepsilon^{\text{elast}}_z / \varepsilon^{\text{elast}}_x = -0,8$; $\sigma_x = \varepsilon^{\text{elast}}_x \times 150$ [ГПа]; вектор Бюргерса в проекции на плоскость слоя $b_x=0,5\text{нм}$.

5.2.4. Типовые задачи для оценки сформированности компетенции ПК-1

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.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Е.В.Чупрунов, А.Ф.Хохлов, М.А.Фаддеев. Основы кристаллографии. М.: Физматлит. 2004 г. – 86 экз.
2. П.В. Андреев, В.Н. Трушин, М.А. Фаддеев. Рентгеновский фазовый анализ поликристаллических материалов. Нижний Новгород. ННГУ. 2013. – 15 экз.
3. Г.С.Жданов, А.С.Илюшин, С.В.Никитина. Дифракционный и резонансный структурный анализ. М. Наука. 1980. – 5 экз.
4. М.П.Шаскольская. Кристаллография. М. 1984 г.- 96 экз.
5. Ю.Н.Сироткин, М.П.Шаскольская. Основы кристаллофизики. М. Наука, 1979 г. – 7 экз.
6. Берклеевский курс физики, том III. Ф. Крауфорд. Волны. М. Наука. 1984. – 7 экз.

б) дополнительная литература:

1. Най Дж. Физические свойства кристаллов /Дж. Най. - М.: Мир, 1967. - 385 с. – 5 экз.
2. Каули Дж. Физика дифракции. М. Мир, 1979. – 4 экз.
3. Е.В. Зайцева, М.А. Фаддеев, Е.В. Чупрунов. Динамическая теория дифракции рентгеновских лучей в кристаллах. ННГУ. 1999. – 4 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- 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

Для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории.

Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО – магистратура по направлению подготовки 03.04.03 Радиофизика, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 7 августа 2020 г. N 918.

Автор (ы) к ф.-м.н. с.н.с. П.А. Юнин

Заведующий кафедрой д.ф.-м.н. профессор М.И. Бакунов

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета «14» ноября 2022 года, протокол № 08/22.