

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Физический факультет

---

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

**Рабочая программа дисциплины**

Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
03.04.02 - Физика

---

Направленность образовательной программы  
магистерская программа «Физика конденсированного состояния»

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2023 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина дисциплины «Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах» относится к обязательным дисциплинам вариативной части профессионального цикла основной образовательной программы по направлению 03.04.02 – Физика, магистерской программы «Физика конденсированного состояния» и изучается на 1 году обучения в 1 семестре. Студенты должны быть готовы использовать полученные в этой области знания, как при изучении смежных дисциплин, так и в профессиональной деятельности по физической кристаллографии.

Для усвоения данного курса необходимо освоить некоторые модули (дисциплины) в рамках образовательной программы бакалавра по направлению Физика: общая физика (теория колебаний и волн, оптика); электродинамика; математические дисциплины в объёме, преподаваемом на физическом факультете университета (математический анализ, векторная и тензорная алгебра, линейная алгебра); кристаллография, рентгеноструктурный анализ.

**Цели** освоения дисциплины «Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах»

Целью освоения дисциплины «Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах» является изучение теорий рассеяния рентгеновских лучей высокосоввершенными кристаллами, а также экспериментальных методов, основанные на них.

Курс включает в себя такие теории, как динамическая теория Дарвина, теория Такаги, теория Като. В качестве практических приложений рассматриваются схемы монохроматизации рентгеновского излучения, методы рентгеновской топографии, рентгеновские интерферометры. Актуальность курса связана с возрастающим прикладным значением исследований, высокосоввершенных материалов с применением рентгеновской дифракции (тонких пленок, рентгеновских зеркал и т.д.), а также кристаллических материалов, подвергнутых неоднородным внешним воздействиям.

## 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-3.  Способен свободно владеть разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	<i>ПК-3.1. Знание основных законов физики</i> <i>ПК-3.2. Умение решать научно-инновационные задачи в своей инновационной и проектной деятельности</i> <i>ПК-3.3. Навыки применения результатов научных исследований в инновационной и проектной деятельности и зарубежного опыта</i>	(ПК-3) Знать основные подходы к описанию дифракции рентгеновских лучей в высокосоввершенных кристаллах: теория Эвальда, теория Като, теория Такаги-Топена;  (ПК-3) Уметь получать выражения для расчета кривых дифракционного отражения на основе рассматриваемых теорий. Решать практические задачи и проводить лабораторные исследования высокосоввершенных кристаллов методами рентгеновской топографии	Индивидуальные собеседования	Вопросы к экзамену

		на отражение; (ПК-3) Владеть методами описания рентгеновской дифракции в высокосоввершенных кристаллах, а также различными методами исследования кристаллов с помощью рентгеновской топографии.		
--	--	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>5</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>180</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	<b>66</b>
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
<b>самостоятельная работа</b>	<b>114</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>54</b> <b>экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

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

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),  форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)	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	Занятия лабораторного типа	Всего	
1 семестр, очное						
Дифракция рентгеновских лучей в идеальных кристаллах без учета поглощения (теория Эвальда)	34	10	12		22	12
Дифракция рентгеновских лучей в идеальных поглощающих кристаллах	32	10	10		20	12

(теория Эвальда)						
Теория Като	20	4	4		8	12
Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах бресталлах с малой плотностью дефектов (теория Такаги-Топена)	18	4	2		6	12
Практическое применение выводов теорий динамического рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах	20	4	4		8	12
Текущий контроль	2					
Промежуточная аттестация – экзамен						

#### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов предусматривает теоретическую подготовку к семинарским занятиям, изучение рекомендованной литературы и подготовку к экзамену. По результатам работы с периодическими изданиями студенты представляют презентации по конкретным темам.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя устный опрос на лабораторных занятиях, контроль протоколов лабораторных работ и отчётов по лабораторным работам.

Для проведения промежуточной аттестации по итогам освоения отдельных разделов дисциплины «Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах» используются контрольные вопросы.

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

##### 5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Экзамен	
Превосходно	Превосходная подготовка с очень незначительными погрешностями. Исчерпывающее и логически строгое изложение всех разделов дисциплины. Владение материалом позволяет быстро справиться с видоизмененным заданием. Успешное решение любых типов практических заданий.
Отлично	Подготовка, уровень которой существенно выше среднего с некоторыми ошибками. Твердое знание всех разделов дисциплины. Допускаются неточности, нарушения в последовательности изложения материала. Владение необходимыми приемами и способами решения практических заданий.

Очень хорошо	Хорошая подготовка с рядом заметных недочетов. Твердое знание основных разделов дисциплины. Владение необходимыми приемами и способами решения основных типов практических заданий.
Хорошо	В целом, хорошая подготовка, но со значительными ошибками. Твердое знание основных разделов дисциплины. Владение необходимыми приемами и способами решения практических заданий.
Удовлетворительно	Подготовка, удовлетворяющая минимальным требованиям. Знания основного содержания разделов дисциплины, допускаются грубые неточности, неправильные формулировки, нарушения в последовательности изложения материала. Имеющихся знаний достаточно для освоения дисциплин последующих курсов. Допускаются значительные ошибки при выполнении практических заданий.
Неудовлетворительно	Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания. Незнание значительной части основного содержания разделов дисциплины. Имеющихся знаний недостаточно для освоения дисциплин последующих курсов.
Плохо	Подготовка совершенно недостаточная. Отсутствуют знания большей части основного содержания разделов дисциплины. Имеющихся знаний совершенно недостаточно для освоения дисциплин последующих курсов.

## 6.2. Процедуры и критерии оценивания результатов обучения по дисциплине

**Для оценивания результатов обучения в виде знаний используются следующие процедуры и технологии:**

- индивидуальное собеседование
- письменные ответы на вопросы.

**Для оценивания результатов обучения в виде умений и владений используются следующие процедуры и технологии:** практические контрольные задания. Типы практических контрольных заданий:

- установление последовательности (описать алгоритм выполнения действия),
- указать возможное влияние факторов на последствия реализации умения и т.д.
- отчет

### **Критерии ответа студента на экзамене**

**Оценка «отлично»** – Ответ полный и правильный, на основании изученной теории; материал изложен в определенной логической последовательности, грамотный научный язык; ответ самостоятельный и полностью выполнены индивидуальные практические задания.

**Оценка «хорошо»** – Ответ полный и правильный, на основании изученной теории; материал изложен в определенной логической последовательности при этом допущены две–три незначительные ошибки, исправленные по требованию преподавателя и правильно; полностью выполнены индивидуальные практические задания.

**Оценка «удовлетворительно»** – Ответ полный, но при этом допущена существенная ошибка или неполный, несвязный ответ и выполнены индивидуальные практические задания.

*Оценка «неудовлетворительно»* – Ответ обнаруживает непонимание студентом основного содержания учебного материала или допущены существенные ошибки, которые не могут быть исправлены при наводящих вопросах преподавателя, не выполнены индивидуальные практические задания

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

*Теоретические вопросы* для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины:

1. Основные постулаты динамической теории. Уравнение волнового поля в кристалле. Дисперсионные уравнения.
2. Одноволновое приближение.
3. Двухволновое приближение. Соотношения между амплитудами и фазами волн в двухволновом приближении.
4. Схемы дифракции рентгеновских лучей в конечных кристаллах: геометрия Лауэ и геометрия Брэгга. Граничные условия для волновых векторов и амплитуд на входной поверхности полубесконечного кристалла в случае геометрии Лауэ.
5. Двухволновая дифракция Лауэ в полубесконечном кристалле. Амплитуды волновых полей в кристалле при двухволновой дифракции Лауэ.
6. Маятниковое решение. Двухволновая дифракция Лауэ в тонкой плоскопараллельной пластине.
7. Экспериментальное наблюдение полос маятникового решения и тонкой структуры коэффициентов отражения и прохождения в схеме Лауэ.
8. Усредненные коэффициенты отражения и прохождения для геометрии Лауэ.
9. Дисперсионная поверхность для полукристалла в случае Брэгга.
10. Коэффициенты отражения и прохождения в случае Брэгга для плоскопараллельной пластинки.
11. Комплексный вид атомного фактора, диэлектрической восприимчивости, структурной амплитуды в идеальном кристалле с учетом поглощения.
12. Двухволновая дифракция Лауэ в полубесконечном поглощающем кристалле.
13. Двухволновая дифракция Лауэ в тонкой поглощающей плоскопараллельной пластине.
14. Двухволновая Брэгг - дифракция в тонкой поглощающей плоскопараллельной пластине.
15. Коэффициенты отражения и прохождения в случае Брэгга для идеальной поглощающей плоскопараллельной пластинки.
16. Дисперсионные уравнения для рентгеновских волн в кристаллах с малой плотностью дефектов (общий вид).
17. Дисперсионные уравнения для рентгеновских волн в кристаллах с малой плотностью дефектов в случае линейного поля деформаций.
18. Дисперсионные уравнения для рентгеновских волн в кристаллах с малой плотностью дефектов в случае экспоненциального поля деформаций.
19. Монохроматоры
20. Рентгеновская топография
21. Многолучевая интерференция
22. Динамические методы исследования совершенства кристаллов
23. Динамическая дифракция при внешних воздействиях.

### 6.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Положение «О проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся в ННГУ», утвержденное приказом ректора ННГУ от 13.02.2014 г. №55-ОД,  
Положение о фонде оценочных средств, утвержденное приказом ректора ННГУ от 10.06.2015 №247-ОД.

#### **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

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 ВПО с учетом рекомендаций и ПрООП ВПО по направлению «03.04.02 – Физика», магистерская программа «Физика конденсированного состояния».

Автор(ы):

доцент кафедры КрЭФ, к.ф.-м.н. Е.В. Зайцева.

Зав. каф. кристаллографии и экспериментальной физики \_\_\_\_\_

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 17.11.2022, протокол № б/н.