

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 № 4 от 26.04.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах

Уровень высшего образования
Магистратура

Направление подготовки / специальность
28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника

Направленность образовательной программы
Квантовые и нейроморфные технологии

Форма обучения
очная

г. Нижний Новгород

2025 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.03.01 Динамическая теория рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах 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-2: Способен разрабатывать методики проведения исследований и измерений параметров и характеристик микро- и наносистем, изделий нанотехнологии и наноэлектроники, анализировать их результаты	ПК-2.1: Имеет представление о существующих методиках проведения исследований и измерений параметров и характеристик микро- и наносистем, изделий нанотехнологии и наноэлектроники, а также знаком с методами анализа результатов исследований и измерений ПК-2.2: Проводит исследования и измерения параметров и характеристик микро- и наносистем, изделий нанотехнологии и наноэлектроники, а также анализирует результаты исследований и измерений ПК-2.3: Разрабатывает методики проведения исследований и измерений характеристик микро- и наносистем, изделий нанотехнологии и наноэлектроники	ПК-2.1: Знать теорию Эвальда дифракции рентгеновских лучей в высокосоввершенных кристаллах. Уметь получать выражения для расчета кривых дифракционного отражения на основе рассматриваемых теорий. Владеть методами описания рентгеновской дифракции в высокосоввершенных кристаллах. ПК-2.2: Знать теорию Като дифракции рентгеновских лучей в высокосоввершенных кристаллах. Уметь решать практические задачи в области описания дифракции рентгеновских лучей в высокосоввершенных кристаллах. Владеть методами решения практических задач в области дифракции рентгеновских лучей в высокосоввершенных кристаллах.	Индивидуальное устное собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы

		<p>ПК-2.3:</p> <p>Знать теорию Такаги-Топена дифракции рентгеновских лучей в высокосоввершенных кристаллах..</p> <p>Уметь проводить лабораторные исследования высокосоввершенных кристаллов методами рентгеновской топографии на отражение.</p> <p>Владеть различными методами исследования кристаллов с помощью рентгеновской топографии.</p>		
--	--	--	--	--

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
Общая трудоемкость, з.е.	5
Часов по учебному плану	180
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32
- КСР	2
самостоятельная работа	60
Промежуточная аттестация	54
	Экзамен

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/ лабора- торные работы), часы	Всего	
	0	0	0	0	0

	Φ_0	Φ_0	Φ_0	Φ_0	Φ_0
Тема 1. Дифракция рентгеновских лучей в идеальных кристаллах без учета поглощения (теория Эвальда)	34	10	12	22	12
Тема 2. Дифракция рентгеновских лучей в идеальных поглощающих кристаллах (теория Эвальда)	32	10	10	20	12
Тема 3. Теория Като	20	4	4	8	12
Тема 4. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах бресталлах с малой плотностью дефектов (теория Такаги-Топена)	18	4	2	6	12
Тема 5. Практическое применение выводов теорий динамического рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах	20	4	4	8	12
Аттестация	54				
КСР	2			2	
Итого	180	32	32	66	60

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Дифракция рентгеновских лучей в идеальных кристаллах без учета поглощения (теория Эвальда). Основные постулаты динамической теории. Уравнение волнового поля в кристалле. Дисперсионные уравнения. Одноволновое приближение. Двухволновое приближение. Соотношения между амплитудами и фазами волн в двухволновом приближении. 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. Двухволновая дифракция Лауэ в полубесконечном кристалле. Амплитуды волновых полей в кристалле при двухволновой дифракции Лауэ. Маятниковое решение. Двухволновая дифракция Лауэ в тонкой плоскопараллельной пластине. Экспериментальное наблюдение полос маятникового решения и тонкой структуры коэффициентов отражения и прохождения в схеме Лауэ. Усредненные коэффициенты отражения и прохождения для геометрии Лауэ. Дисперсионная поверхность для полукристалла в случае Брэгга. Коэффициенты отражения и прохождения в случае Брэгга для плоскопараллельной пластинки.
2. Дифракция рентгеновских лучей в идеальных поглощающих кристаллах (теория Эвальда).
3. Теория Като.
4. Дифракция рентгеновских лучей в кристаллах бресталлах с малой плотностью дефектов (теория Такаги-Топена).
5. Практическое применение выводов теорий динамического рассеяния рентгеновских лучей в кристаллах. Монохроматизация рентгеновского излучения. Интерферометры. Рентгеновская топография. Многолучевая интерференция. Динамические методы исследования совершенства кристаллов. Динамическая дифракция при внешних воздействиях.

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.

Авторские презентации по материалам лекций.

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 - Индивидуальное устное собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Основные постулаты динамической теории. Уравнение волнового поля в кристалле. Дисперсионные уравнения.
2. Двухволновое приближение. Соотношения между амплитудами и фазами волн в двухволновом приближении.
3. Двухволновая дифракция Лауэ в полубесконечном кристалле. Амплитуды волновых полей в кристалле при двухволновой дифракции Лауэ.
4. Экспериментальное наблюдение полос маятникового решения и тонкой структуры коэффициентов отражения и прохождения в схеме Лауэ.
5. Дисперсионная поверхность для полукристалла в случае Брэгга.

Критерии оценивания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Исчерпывающее владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, твердое знание основных положений дисциплины, умение применять концептуальный аппарат при анализе актуальных проблем. Логически последовательные, содержательные, конкретные ответы на все вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, свободное владение источниками.
не зачтено	Грубые ошибки в ответах, полное непонимание смысла проблем, не достаточно полное владение терминологией.

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				
Знания	Отсутствие знаний теоретического	Уровень знаний ниже минимальных	Минимально допустимы	Уровень знаний в объеме,	Уровень знаний в объеме,	Уровень знаний в объеме,	Уровень знаний в объеме,

	материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	требований. Имели место грубые ошибки	й уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	соответству ющем программе подготовки . Допущено несколько негрубых ошибок	соответству ющем программе подготовки . Допущено несколько несуществе нных ошибок	соответств ующем программе подготовк и. Ошибок нет.	превышающе м 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	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продемонстрированы 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	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован 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-2

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.

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Отличная подготовка. Обучающийся отвечает полностью на вопросы билета и дополнительные вопросы (задания), выходящие за рамки изученного объема курса и изученных алгоритмов и подходов, проявляя инициативу и творческое мышление.
отлично	Отличная подготовка. Обучающийся отвечает полностью на вопросы билета в рамках изученных алгоритмов и подходов. При ответе на дополнительные вопросы допускаются незначительные неточности.
очень хорошо	Хорошая подготовка. Обучающийся показывает хороший уровень знания вопросов билета и отвечает с небольшими неточностями.
хорошо	Хорошая подготовка. Обучающийся показывает средний уровень знания вопросов билета и отвечает на некоторые дополнительные вопросы преподавателя (в рамках билета).
удовлетворительно	Удовлетворительная подготовка. Обучающийся показывает удовлетворительное знание вопросов билета и знание базовых понятий,

Оценка	Критерии оценивания
	отвечая с наводящими вопросами преподавателя.
неудовлетворительно	Обучающийся показывает неудовлетворительное знание основ курса и базовых понятий. Необходима дополнительная подготовка для успешного прохождения испытания.
плохо	Подготовка совершенно недостаточна. Последующая пересдача возможна только с комиссией.

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

Основная литература:

1. Дифракция электронов: структура и динамика свободных молекул и конденсированного состояния вещества / Ищенко А.А., Гиричев Г.В., Тарасов Ю.И. - Москва : Физматлит, 2013., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=646967&idb=0>.
2. Рентгеновское излучение : учебное пособие для вузов. - Воронеж : ВГУ, 2017. - 76 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции ВГУ - Физика., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=731018&idb=0>.
3. Стожаров В. М. Физика рентгеновского излучения : учебное пособие для вузов / Стожаров В. М. - 2-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2023. - 100 с. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-507-47076-1., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=863772&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Минкина Т.М. Синхротронное рентгеновское излучение и его применение для исследований почв и растений: возможности и перспективы : Учебное пособие. - Ростов-на-Дону : Издательство Южного федерального университета (ЮФУ), 2018. - 108 с. - ВО - Магистратура. - ISBN 978-5-9275-2437-2., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=627220&idb=0>.

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

- 1) Интернет-ресурс справочной и математической литературы со свободным доступом www.eqworld.ipmnet.ru;
- 2) интернет-ресурсы Фундаментальной библиотеки ННГУ <http://www.lib.unn.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 28.04.01 - Нанотехнологии и микросистемная техника.

Автор(ы): Зайцева Екатерина Владимировна, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Конаков Антон Алексеевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 15.04.2024, протокол № б/н.