

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского»

УТВЕРЖДЕНО  
решением ученого совета ННГУ  
протокол от"    " \_\_\_\_\_ 2024 г. №

Рабочая программа дисциплины  
Актуальные проблемы рентгеновской кристаллографии и роста кристаллов

Уровень высшего образования  
Подготовка научных и научно-педагогических кадров

Программа аспирантуры  
1.3.8 «Физика конденсированного состояния»

Научная специальность  
03.06.01 ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

Форма обучения  
Очная

Нижний Новгород  
2024 год

### 1. Место и цель дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Актуальные проблемы рентгеновской кристаллографии и роста кристаллов» относится к числу элективных дисциплин образовательного компонента программы аспирантуры и изучается на 2 году обучения в 3,4 семестрах.

Цель дисциплины –

- изучение одного из важных разделов прикладной оптики посвященной процессам распространения рентгеновских лучей в средах, разработке элементов для рентгеновских приборов на основе амплитудной модуляции рентгеновских пучков, фокусировки рентгеновского излучения, управления сходимостью рентгеновских пучков, френелевская и брэгг-френелевская оптика, рентгеновские зеркала, капиллярная оптика и.д.
- освоение современной аппаратуры рентгенофлуоресцентного элементного анализа
- углубленное изучение теории симметрии кристаллов и кристаллохимии.
- изучение теоретических основы flux метода выращивания кристаллов из высокотемпературных растворов
- практическое изучение ряда базовых методов оптической спектроскопии

Планируемые результаты обучения по дисциплине

Выпускник, освоивший программу, должен

Знать:

- теоретические основы методов рентгеновской оптики, рентгенофлуоресцентного элементного анализа, оптической спектроскопии материалов, важнейшие принципиальные и технические характеристики современных спектральных приборов и их ключевых элементов, принципиальные и технические характеристики ряда других элементов, используемых для анализа оптического излучения, методы сбора, анализа и обработки спектроскопических данных.
- актуальные представления теории симметрии кристаллов и кристаллохимии.
- теоретические основы flux метода выращивания кристаллов из высокотемпературных растворов

Уметь:

- выбирать методы и оборудование для оптической спектроскопии, рентгенофлуоресцентного элементного анализа адекватные особенностям исследуемых материалов и целям их исследования, формулировать цели и задачи конкретного спектроскопического эксперимента, модифицировать схему эксперимента или развивать метод исследования с учетом нестандартных ситуаций или результатов.
- применять представления теории симметрии кристаллов и кристаллохимии

Владеть:

- навыками физического эксперимента, навыками сборки и юстировки оптических и рентгенооптических схем, включающих спектроскопическое и иное вспомогательное и измерительное оборудование, навыками сбора, визуализации, анализа и обработки экспериментальных данных с использованием современных средств.

### 3. Структура и содержание дисциплины.

Объем дисциплины (модуля) составляет 5 з.е., всего - 180 часов, из которых 108 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (занятия лекционного типа – 72 часа, 36 часов – лабораторные работы), 72 часа составляет самостоятельная работа обучающегося.

Таблица 2

## Структура дисциплины

Наименование раздела дисциплины	Всего, часов	В том числе					
		Контактная работа, часов					Самостоятельная работа обучающегося, часов
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
Современные методы рентгеновской оптики	39	16					23
Современные методы оптической спектроскопии твердотельных структур и объёмных материалов	35	14		10			11
Современные методы рентгенофлуоресцентного элементного анализа	39	16		18			5
Выращивание кристаллов из высокотемпературных растворов (FLUX метод)	35	14					21
Актуальные проблемы кристаллографии и теория псевдосимметрии	32	12		8			12
Промежуточная аттестация:	Зачет						
Итого	180	72		36			72

Таблица 3

## Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Форма проведения занятия	Форма текущего контроля*
	<b>Современные методы рентгеновской оптики</b>			
1	Брэгг-Френелевские линзы на кристаллах и на многослойных зеркалах. Зонные пластинки скользящего падения. Капиллярная оптика.	Брэгг-Френелевские линзы (БФЛ) на кристаллах.. БФЛ с фазосдвигающим слоем. Проблемы и перспективы. Фокусировка зонными пластинками скользящего падения. Фокусировка рентгеновского излучения с использованием капиллярной оптики.	лекции	опрос
2	Оптика скользящего падения. Многослойная рентгеновская оптика.	Основные понятия рентгеновской оптики преломления, формы преломляющего профиля, составные преломляющие Х-линзы из кремния,	лекции	опрос

		методы создания элементов преломляющей оптики Примеры использования многослойной рентгеновской оптики и современное состояние		
3	Влияние внешних воздействий на параметры дифракционных максимумов кристаллов. Способы формирования пространственной структуры рентгеновских пучков.	Принципы формирования рентгеновских изображений (РИ) воздействием оптического изображения на дифрагирующие кристаллы и от чего зависит разрешающая способность РИ?	лекции	Опрос
4	Управление сходимостью рентгеновских пучков с использованием теплового воздействия света на поверхность кристалла. Управление дисперсионными свойствами кристаллов.	Управление сходимостью рентгеновских пучков с использованием теплового воздействия света на поверхность кристалла. Управление дисперсионными свойствами кристаллов.	лекции	Отчет
5	Методы рентгеновской рефлектометрии и высокоразрешающей дифрактометрии в исследовании эпитаксиальных слоев.	Физические основы рентгеновской рефлектометрии и дифрактометрии в исследовании эпитаксиальных слоев.	лекции	Опрос
	<b>Современные методы оптической спектроскопии твердотельных структур и объёмных материалов</b>			
6	Принципы и теоретические основы оптической спектроскопии	Принципиальные методы исследования спектрального состава излучения. Общие принципиальные характеристики спектральных приборов. Базы данных длин волн спектральных линий химических элементов.	Лекции	Опрос (собеседование)
7	Аппаратурная и приборная база оптической спектроскопии	Характеристики некоторых оптических сред и материалов. Просветляющие и зеркальные покрытия. Фильтрация и модуляция излучения. Источники теплового излучения. Источники нетеплового излучения (газоразрядные, светодиодные, лазерные и др.). Приёмники оптического излучения. Матричные приёмники излучения. Особенности спектральных приборов различных типов.	Лекции, лабораторные работы	Опрос (собеседование)

		Диспергирующие и недиспергирующие спектральные приборы, эшелле-спектрометры, интерференционные спектральные приборы, фурье-спектрометры. Щелевые и бесщелевые спектрометры. Оптика диспергирующих призм и дифракционных решёток, их основные особенности, типы и характеристики. Монохроматоры, спектрометры, спектрографы. Метод синхронного детектирования слабых сигналов, селективные усилители с синхронным детектированием. Сопряжение спектральной установки с компьютером, оцифровка, визуализация, анализ и обработка спектральных данных.		
	<b>Современные методы рентгенофлуоресцентного элементного анализа</b>			
8	Аппаратура для рентгеновского фазового анализа.	Источники рентгеновского излучения. Детекторы рентгеновских лучей Подготовка образцов для рентгеновского фазового анализа. Рентгеооптические схемы и элементы.	семинар	Опрос
9	Рентгеновский фазовый анализ поликристаллических материалов	Основные характеристики рентгеновского фазового анализа, чувствительность метода. Индицирование рентгенограмм. Погрешности метода	лабораторная работа	Отчет
10	Методы количественного анализа многофазных поликристаллических материалов.	Методы внутреннего стандарта, корундовых чисел, разбавления Достоверность количественного фазового анализа. Основные погрешности метода.	лабораторная работа	Отчет
	<b>Выращивание кристаллов из высокотемпературных растворов (FLUX метод)</b>			
11	Высокотемпературные методы выращивания кристаллов.	Обзор высокотемпературных методов выращивания кристаллов. Зарождение, становление и современное состояние	лекции	Опрос

12	Область применения метода выращивания кристаллов из высокотемпературных растворов (flux метод).	Место метода выращивания кристаллов из бвысокотемпературных растворов (flux метод) среди всех высокотемпературных методов выращивания. Преимущества и недостатки flux метода. Критерии выбора метода для выращивания кристаллов.	лекции	Отчет
13	Подготовка шихты для выращивания кристаллов flux методом	Теоретические основы выбора компонент шихты. Методики расчёта состава шихты. Методики смешивания.	лекции	Опрос
14	Выращивание кристаллов flux методом способом спонтанной кристаллизации.	Теоретические основы выращивания кристаллов flux методом способом спонтанной кристаллизации. Методики создания условий, необходимых для выращивания	лекции	Опрос
15	Выращивание кристаллов flux методом на затравочный кристалл.	Теоретические основы выращивания кристаллов flux методом на затравочный кристалл.	лекции	Отчет
16	Оптимизация использования материальных ресурсов при выращивании кристаллов flux методом.	Принципы, позволяющие оптимизировать использование материальных ресурсов при выращивании кристаллов flux методом	лекции	Опрос
	<b>Актуальные проблемы кристаллографии и теория псевдосимметрии</b>			
17	Псевдосимметрия в природе	Понятие псевдосимметрии, псевдосимметрия кристаллов; виды псевдосимметрии кристаллов; влияние псевдосимметрии кристалла на дифракционную картину; особенности рентгеноструктурного анализа псевдосимметричных кристаллов; псевдосимметрия и физические свойства кристалла; псевдосимметрия в живой природе	Лекционные	текущий контроль успеваемости
18	Методы количественной оценки псевдосимметрии	Обзор методы количественного описания псевдосимметрии кристаллов;	Лекционные	текущий контроль успеваемости
19	Современные подходы к кристаллохимическому описанию координационных соединений	Обзор методов современного кристаллохимического описания координационных соединений; программное обеспечение ЭВМ, используемое для исследования псевдосимметрии кристаллов и кристаллохимического анализа	Лабораторные работы	Письменные отчеты

#### 4. Формы организации и контроля самостоятельной работы обучающихся

##### **Современные методы рентгеновской оптики**

В ходе семестра осуществляется подготовка реферата. Тема реферата должна удовлетворять двум требованиям:

1. определяться сферой научных интересов аспиранта;
2. соответствовать содержанию изучаемого курса.

Тема реферата формулируется на консультации аспиранта со своим научным руководителем, рассматривается и утверждается руководителем практических занятий, который также осуществляет постоянное консультирование в ходе подготовки реферата

Реферат – письменная работа объемом 15-20 печатных страниц, который будучи связанной с темой диссертационного исследования, позволяет аспиранту осознать свою профессиональную работу в более широком контексте научных исследований.

Структура реферата:

1. Титульный лист.
  2. На отдельной странице следует оглавление (содержание), в котором указаны названия всех разделов (пунктов плана) реферата и номера страниц, указывающие начало этих разделов в тексте реферата.
  3. Введение объемом 1 страницу.
  4. Основная часть реферата одна или несколько глав (подпунктов, разделов) предполагает осмысленное и логичное изложение главных положений и идей, их актуальность, общенаучная значимость, новизна, способность влиять на исследовательские традиции. В тексте обязательны ссылки на первоисточники цитирования.
  5. Реферат заканчивается краткими выводами, в которых отмечается, как выполнены задачи и достигнуты цели, сформулированные в постановке задачи.
  6. Приложения могут содержать графики, таблицы, расчеты.
  7. Библиография (список литературы), указывается использованная для написания реферата литература. Список составляется согласно правилам библиографического описания.
- Защита реферата сопровождается выступлением по теме реферата, презентацией и дискуссией, модератором которой является преподаватель.

##### **Современные методы оптической спектроскопии твердотельных структур и объёмных материалов**

В ходе освоения дисциплины может осуществляться подготовка реферата. Тема реферата должна удовлетворять двум требованиям:

1. определяться сферой научных интересов аспиранта;
2. соответствовать содержанию изучаемого курса.

Тема реферата формулируется на консультации аспиранта со своим научным руководителем, рассматривается и утверждается руководителем практических занятий, который также осуществляет постоянное консультирование в ходе подготовки реферата.

Реферат – письменная работа объемом 15-20 печатных страниц, связанная с темой диссертационного исследования и позволяющая аспиранту осознать свою профессиональную работу в более широком контексте научных исследований.

Структура реферата:

1. Титульный лист.
2. На отдельной странице следует оглавление (содержание), в котором указаны названия всех разделов (пунктов плана) реферата и номера страниц, указывающие начало этих разделов в тексте реферата.
3. Введение объемом в 1 страницу.
4. Основная часть реферата - одна или несколько глав (подпунктов, разделов) - предполагает осмысленное и логичное изложение главных положений и идей, их актуальности, общенаучной

значимости, новизны, способности влиять на исследовательские традиции. В тексте обязательны ссылки на первоисточники цитирования.

5. Реферат заканчивается краткими выводами, в которых отмечается, как выполнены задачи и достигнуты поставленные цели.

6. Приложения могут содержать графики, таблицы, расчеты и другие необходимые для целостности реферата вспомогательные материалы.

7. Библиография (список литературы): указывается использованная для написания реферата литература. Список составляется согласно правилам библиографического описания.

Защита реферата сопровождается выступлением по теме реферата, презентацией и дискуссией, модератором которой является преподаватель.

#### Примеры тем рефератов:

1. Спектральный анализ как мощный метод исследования вещества - обзор методов.
2. Спектральный анализ как мощный метод исследования вещества - обзор приложений.
3. Спектроскопия активных ионов в кристаллах (ионы переходных металлов, редкоземельные ионы).
4. Оптико-эмиссионный спектральный анализ для исследования элементного состава вещества.
5. Спектроскопия твердотельных наноструктур.
6. Рамановская спектроскопия.
7. Решеточные спектрометры: типы, конструкции, параметры, особенности применения.
8. Фурье-спектроскопия и фурье-спектрометры.
9. Эшелле-спектрометры.
10. Спектроскопические методы в астрофизике.

#### **Современные методы рентгенофлуоресцентного элементного анализа**

Самостоятельная разработка обучающимися

Темы рефератов:

- 1) Синхротронный механизм генерации рентгеновского излучения
- 2) Когерентное и некогерентное рассеяние рентгеновских лучей на атомах
- 3) Влияние матрицы на интенсивность характеристических спектральных линий

#### **Выращивание кристаллов из высокотемпературных растворов (FLUX метод)**

В ходе семестра семестре по итогам лекций производится опрос аспирантов.

#### **Актуальные проблемы кристаллографии и теория псевдосимметрии**

Контроль успеваемости аспиранта предполагается вести на основе письменных отчетов о проделанной работе. В течение периода обучения аспиранту предлагается выполнить ряд самостоятельных практических заданий по теме курса (примерный перечень см. Приложение 1). По каждому заданию аспирант пишет отчет, содержащий следующие обязательные разделы:

1. Титульный лист.
2. Цель работы.
3. Краткое изложение теории по теме задания (1-5 стр.).
4. Практическая часть.
  - 4.1. Плана проведения работы. Обоснование выбранных методов решения прославленной задачи.
  - 4.2. Ход выполнения работы. Описываются промежуточные результаты и нештатные ситуации, возникшие в ходе выполнения задания.
  - 4.3. Результаты проведенной работы и их обсуждение.
5. Выводы, отмечается, как выполнены задачи и достигнуты ли цели.
6. Приложение может включать графики, таблицы.
7. Библиография. Список источников информации: литература, электронные ресурсы, базы данных и т.д.

5. Фонд оценочных средств для аттестации по дисциплине



### 5.1. Критерии и процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

При выполнении всех работ учитываются следующие основные критерии:

- уровень теоретических знаний (подразумевается не только формальное воспроизведение информации, но и понимание предмета, которое подтверждается правильными ответами на дополнительные, уточняющие вопросы, заданные членами комиссии);
- умение использовать теоретические знания при анализе конкретных проблем, ситуаций;
- качество изложения материала, то есть обоснованность, четкость, логичность ответа, а также его полнота (то есть содержательность, не исключающая сжатости);
- способность устанавливать внутри- и межпредметные связи,
- оригинальность мышления, знакомство с дополнительной литературой и другие факторы.

#### Описание шкалы оценивания на промежуточной аттестации в форме зачета

Оценка	Уровень подготовленности, характеризуемый оценкой
<i>Зачтено</i>	владение программным материалом, понимание сущности рассматриваемых процессов и явлений, умение самостоятельно обозначить проблемные ситуации в организации научных исследований, способность критически анализировать и сравнивать существующие подходы и методы к оценке результативности научной деятельности, свободное владение источниками, умение четко и ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.
<i>Не зачтено</i>	непонимание смысла ключевых проблем, недостаточное владение науковедческой терминологией, неумение самостоятельно обозначить проблемные ситуации, неспособность анализировать и сравнивать существующие концепции, подходы и методы, неумение ясно излагать результаты собственной работы, следовать нормам, принятым в научных дискуссиях.

### 5.2. Примеры типовых контрольных заданий или иных материалов, используемых для оценивания результатов обучения по дисциплине

#### **Современные методы рентгеновской оптики**

Формирование Брэгг-Френелевских линз (БФЛ) на кристаллах и многослойных рентгеновских зеркалах. Где используются Брэгг- Френелевские линзы. Как рассчитывается оптимальная высота их рельефа.

- Примеры использования многослойной рентгеновской оптики и современное состояние
- Рентгенооптические схемы фокусировки рентгеновского излучения. Каким образом осуществляется фокусировка с использованием кристаллов, многослойных структур, преломляющей оптики.

#### **Современные методы оптической спектроскопии твердотельных структур и объёмных материалов**

1. Перечислить и кратко охарактеризовать основные процессы взаимодействия излучений с твердыми телами.
2. Перечислить основные параметры, характеризующие работу спектральной оптической системы.
3. Изобразить принципиальную оптическую схему спектрального прибора (какого-либо типа), использующего: дифракционную решётку, диспергирующую призму.
4. Предложить вариант(ы) оптической схемы и методики, пригодной для проведения спектроскопического эксперимента по исследованию заданной спектральной характеристики некоторого материала (по выбору преподавателя).

#### **Современные методы рентгенофлуоресцентного элементного анализа**

- 1) Описать различные физические методы генерирования рентгеновских лучей
- 2) Перечислить методы детектирования и спектрометрии рентгеновского излучения

3) Объяснить связь интенсивности характеристических спектральных линий с концентрацией определенного химического элемента в исследуемом образце.

#### **Выращивание кристаллов из высокотемпературных растворов (FLUX метод)**

- Определите состав шихты для выращивания кристаллов КТР из расчёта на 7 грамм смеси оксидов (малый тигель).
- Определите состав шихты для выращивания кристаллов КТР из расчёта на 100 грамм смеси оксидов (средний тигель).
- Как экспериментально определять температуру насыщения (начала кристаллизации)?
- Необходима ли кристаллическая затравка для выращивания кристаллов методом спонтанной кристаллизации?
- С какой скоростью рекомендуется понижать температуру печи в первые 24 часа роста кристалла КТР flux методом на затравочный кристалл?

#### **Актуальные проблемы кристаллографии и теория псевдосимметрии**

Задание №1. Провести анализ возможного повышения симметрии в кристаллах структурного типа NaCl.

Задание №2. Определить федоровские надгруппы групп симметрии моноклинной сингонии.

Задание №3. Используя точечную модель атомов оценить степень инвариантности электронной плотности кристаллов структурного типа NaCl (по выбору преподавателя) относительно различных операторов преобразования.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.

#### **Современные методы рентгеновской оптики**

а) основная литература:

1. Е.В. Чупрунов, М.А. Фаддеев, Е.В. Алексеев. Рентгеновские методы исследования твердых тел. Учебно-методические материалы по программе повышения квалификации «Физико-химические основы нанотехнологий». Нижний Новгород 2007.  
(<http://lab27.ma52.ru/docs/%D0%95.%D0%92.%D0%A7%D1%83%D0%BF%D1%80%D1%83%D0%BD%D0%BE%D0%B2.%20%D0%9C.%D0%90.%D0%A4%D0%B0%D0%B4%D0%B4%D0%B5%D0%B5%D0%B2.%20%D0%95.%D0%92.%D0%90%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B5%D0%B5%D0%B2.%20%D0%A0%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8B%20%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D1%82%D0%B2%D1%91%D1%80%D0%B4%D1%8B%D1%85%20%D1%82%D0%B5%D0%BB.pdf>).
2. Д. К. Боуэн, Б. К. Таннер Высокоразрешающая рентгеновская дифрактометрия и топография. С-Пб.: Наука, 2002, 274 с.  
(<http://lab27.ma52.ru/docs/%D0%91%D0%BE%D1%83%D1%8D%D0%BD%20%D0%94.%D0%9A.%20%D0%A2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D0%B5%D1%80%20%D0%91.%D0%9A.%20%D0%92%D1%8B%D1%81%D0%BE%D0%BA%D0%BE%D1%80%D0%B0%D0%B7%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B0%D1%8F%20%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B3%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F%20%D0%B4%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%8F%20%D0%B8%20%D1%82%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D0%B8%D1%8F.pdf>).
3. Аристов В.В., Ерко А.И. Рентгеновская оптика. – М.: Наука, 1991 – 150 с.  
(<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=321484> – каталог 1 экз).
4. Русаков А.А. Рентгенография металлов. – М.: Атомиздат, 1977. – 480 с.  
(<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=373858> – каталог 4 экз).

5. Pecharsky V.K., Zavalij P.Y. Fundamentals of Powder Diffraction and Structural Characterization of Materials. Springer, 2005. – 713 p.  
(<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F978-0-387-09579-0.pdf> - источник).
6. Мишкетт А. // Оптика мягкого рентгеновского излучения: Пер. с англ. М.: Мир, 1989. с.351.  
(<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=71298> – каталог 2 экз)
7. А.В. Виноградов, И.А.Бритов, А.Я. Грудский и др. Рентгеновская зеркальная оптика. Ленинград: Машиностроение. 1989. с.463.  
(<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=385753> – каталог 1 экз)

б) дополнительная литература:

8. Е.В. Зайцева, М.А. Фаддеев, Е.В. Чупрунов. Динамическая теория дифракции рентгеновских лучей в кристаллах.- Изд - во ННГУ, 1999. - 131 с.
9. (<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=43509> – каталог 4 экз).
10. В.Н. Трушин, А.А. Жолудев, А.С. Маркелов, Е.В.Чупрунов. Термоиндуцированное изменение параметров рентгеновских дифракционных максимумов кристаллов кальцита с блочной структурой.// Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтронные исслед. 2005. №2, стр.84-86.(<https://elibrary.ru/item.asp?id=9745051> – источник)
11. В.В. Аристов, Л.Г. Шабельников, В.В.Старков, М.В. //Нанотехника 2005, №4 – с.5-20.  
(<https://elibrary.ru/item.asp?id=11804754> – источник)
12. В.Н. Трушин, А.С. Маркелов, Е.В. Чупрунов. Рентгеновский кристалл-монокроматор с управляемой полушириной кривой качания.// Поверхность. Рентген., синхротр. и нейтронные исслед. 2015. №.2, стр.110-117. (<https://elibrary.ru/item.asp?id=25343291> - источник)
13. В.Н. Трушин, А.С. Маркелов, Е.В.Чупрунов А.А. Жолудев//Термоиндуцированное управление дифракционными спектрами. Письма в Журнал технической физики. 2006. Т. 32. № 11. С. 28-31. (<https://elibrary.ru/item.asp?id=20338567> - источник)

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение по лабораторному практикуму содержится в программах XRD Commander (<http://lab27.ma52.ru/docs/XRD%20Commander%20User%20Manual%20RUS.pdf>), DIFFRACplus Evaluation Package (EVA) (<http://lab27.ma52.ru/docs/Eva%20RUS.pdf>), ABSORBDX (<http://lab27.ma52.ru/docs/AbsorbDX%20RUS.pdf>)

## **Современные методы оптической спектроскопии твердотельных структур и объёмных материалов**

### Основная литература:

1. Практическое руководство по оптической спектроскопии твердотельных наноструктур и объёмных материалов. / А.П. Горшков, М.О. Марычев / Электронное уч. пособие. ННГУ, Нижний Новгород. 2007. <http://www.unn.ru/pages/e-library/aids/2007/80.pdf>
2. Лебедева В.В. Техника оптической спектроскопии. М., Изд-во Моск. ун-та, 1977.  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=81327> 2 экз  
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=81348> 2 экз

### Дополнительная литература:

1. Толстой В.П. Введение в оптическую абсорбционную спектроскопию наноразмерных материалов. СПб.: Изд-во “СОЛО“, 2014. – 187 с.  
<https://dspace.spbu.ru/bitstream/11701/2275/1/ТолстойВП-Введение%20в%20оптическую%20спектроскопию...pdf>
2. Тимофеев В.Б. Оптическая спектроскопия объёмных полупроводников и наноструктур: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2014. — 512 с.  
[http://www.issp.ac.ru/ebooks/books/open/Timofeev\\_Optic\\_sp.pdf](http://www.issp.ac.ru/ebooks/books/open/Timofeev_Optic_sp.pdf)
3. Милославский В.К. Спектроскопия твердого тела: учебное пособие для студентов старших курсов, аспирантов и научных работников. /В.К. Милославский, Л.А. Агеев. – Харьков: Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, 2013 г. – 276 с.  
[http://dspace.univer.kharkov.ua/bitstream/123456789/9698/2/Miloslavsky\\_Ageev\\_Spektroskopiya\\_tverdogo\\_tela.pdf](http://dspace.univer.kharkov.ua/bitstream/123456789/9698/2/Miloslavsky_Ageev_Spektroskopiya_tverdogo_tela.pdf)

4. Сизых А.Г., Герасимова М.А. Оптическая спектроскопия. – 244 с. Научная библиотека Сибирского федерального университета. [http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/127/u\\_course.pdf](http://files.lib.sfu-kras.ru/ebibl/umkd/127/u_course.pdf)
5. А.М. Ефимов, Е.С. Постников. Физические основы и формализм оптики и спектроскопии оптических материалов. Учеб. пособие. – СПб: Университет ИТМО, 2015. – 111 с. <http://books.ifmo.ru/file/pdf/1712.pdf>

*Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины:*

1. <https://www.nist.gov/pml/productsservices/physical-reference-data> - Physical Reference Data

### **Современные методы рентгенофлуоресцентного элементного анализа**

а) основная литература:

1. Павлинский Г.В. Основы физики рентгеновского излучения. М.: Физматлит. 2007. 240с. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=248861> 1 экз

б) дополнительная литература:

1. Иверонова В.И., Ревкевич Г.П.. Теория рассеяния рентгеновских лучей. М.: Изд-во МГУ, 1972. 277с. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=81761> 3 экз
2. Вольдсет Р. Прикладная спектрометрия рентгеновского излучения. М.: Атомиздат. 1977. 192с. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=80119> 2 экз
3. Фаддеев М.А. Чупрунов Е.В., Физика атомов и молекул. Н.Новгород: Изд-во ННГУ. 2007. 314с. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=466681> 2 экз

### **Выращивание кристаллов из высокотемпературных растворов (FLUX метод)**

а) основная литература:

1. Вайнштейн Б.К. Современная кристаллография. Том 3. М.: Наука, 1980. 408 с. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=100138> 2 экз
2. V.A. Ivanov, M.O. Marychev, P.V. Andreev, I. Koseva, P. Tzvetkov, V. Nikolov Novel solvents for the single crystal growth of germanate phases by the flux method // Journal of Crystal Growth 426 (2015) 25–32. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022024815003371>

б) дополнительная литература:

1. Мюллер Г. Выращивание кристаллов из расплава. Конвекция и неоднородности. Пер. с англ. М.: Мир, 1991. 143 с. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=310609> 1 экз
2. Арсеньев П. А., Багдасаров Х. С., Курбанов Х. М., Фенин В. В. Выращивание диэлектрических лазерных кристаллов. Душанбе: Дониш, 1986. 253с. <http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=315280> 1 экз

### **Актуальные проблемы кристаллографии и теория псевдосимметрии**

а) основная литература:

- Задачи по кристаллографии: учеб. пособие для вузов по физ. и хим. специальностям./Головачев В. П., Сафьянов Ю. Н., Чупрунов Е. В., Фадеев М. А., Хохлов А. Ф. - М.: Физматлит, 2003. - 208 с. [<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=59115&DB=1>]; 10 шт.
- Чупрунов Е. В., Хохлов А. Ф., Фадеев М. А. - Основы кристаллографии: учеб. для вузов. - М.: Физматлит, 2004. - 500 с. [<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=59410&DB=1>]; 3 шт.
- Чупрунов Е. В. - Симметрия и псевдосимметрия кристаллов. - Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2015. - 658 с. [<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=467290&DB=1>]; 15 шт.
- Сомов Н.В. Псевдосимметрия кристаллов//Учебное пособие / Под редакцией проф. Е.В. Чупрунова. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет. 2014. С. 62

б) дополнительная литература:

- Псевдосимметрия в живой природе: монография. /Гелашвили Д. Б., Чупрунов Е. В., Сомов Н. В., Марычев М. О., Нижегородцев А. А., Маркелов И. Н., Якимов В. Н. - Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 2016. - 363 с. [<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=489390&DB=1>]; 3 шт.
- Сомов Н. В. Расчетные методы исследования Федоровской псевдосимметрии кристаллов: дис. канд. физ.-мат. наук : 01.04.07. - Н. Новгород, 2011. - 170 с. [<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=413921&DB=1>], 1 шт.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

- Кристаллохимический комплекс программ **PseudoSymmetry** для исследования псевдосимметрии кристаллов. <http://phys.unn.ru/ps/> (Дата обращения 09.02.2018)
- Кристаллографический сервер Бильбао. <http://www.cryst.ehu.es> (Дата обращения 09.02.2018)
- Международный союз кристаллографов. <http://iucr.org> (Дата обращения 09.02.2018)
- База данных неорганических кристаллов Inorganic Crystal Structure Database (ICSD).
- База данных органически кристаллов Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC).

а) Основная литература

б) Дополнительная литература

в) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

#### 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

- помещения для проведения занятий: лекционного типа, семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для хранения и профилактического обслуживания оборудования и помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду ННГУ;
  - материально-техническое обеспечение, необходимое для реализации дисциплины, включая лабораторное оборудование;
  - лицензионное программное обеспечение: *Windows, Microsoft Office*;
  - обучающиеся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья обеспечиваются электронными и (или) печатными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья.
- ресурсам.

Рабочая программа учебной дисциплины составлена в соответствии с учебным планом, Положением о подготовке научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2122), Федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре) (Приказ Минобрнауки РФ от 20.10.2021 № 951).

Авторы:

Авторы: Трушин В.Н., Марычев М.О., Фаддеев М.А., Иванов В.А., Сомов Н.В.

Рецензент(ы): А.П. Горшков

Заведующий кафедрой: Чупрунов Е.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии физического факультета от  
\_\_\_\_\_2022 года, протокол № б/н