

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ имени М.Н. Михеева  
Уральского отделения Российской академии наук

СОГЛАСОВАНО:  
зам. директора института  
по научной работе  
доктор физ.-мат. наук

 М.А. Короткин

« 01 » сентября 2025 г.



УТВЕРЖДАЮ  
Директор института  
академик РАН



Н.В. Мушников

« 02 » сентября 2025 г.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА-МИНИМУМ  
кандидатского экзамена по специальностям  
**1.3.8. Физика конденсированного состояния**  
**1.3.12. Физика магнитных явлений**  
по физико-математическим наукам

Специализация: **Нейтроннография и радиационная физика**

Екатеринбург  
2025

## 1. Получение и модерация медленных нейтронов.

Открытие нейтрона и свойства нейтронного излучения

Источники нейтронов. Классификация нейтронного излучения по энергиям.

Модерация нейтронного излучения. Источник холодных нейтронов. Источник горячих нейтронов.

Монохроматизация нейтронного пучка.

## 2. Нейтронные инструменты для исследований в физике конденсированного состояния.

Системы транспорта нейтронных пучков и элементы нейтронной оптики (*горизонтальные экспериментальные каналы, нейтронные зеркала, нейтронные суперзеркала, нейтронноводы*)

Нейтронные инструменты на монохроматических пучках. Времяпролетная нейтронография

Нейтронные исследования на пучках поляризованных нейтронов

Методы детектирования нейтронов

## 3. Взаимодействие медленных нейтронов с веществом.

Плотность потока нейтронов. Дифференциальное сечение рассеяния. Двойное дифференциальное сечение рассеяния.

Взаимодействие медленных нейтронов с веществом. Потенциальное и резонансное рассеяние. Поглощение нейтронов. Закон Брейта-Вигнера.

Квантовомеханическое рассмотрение рассеяния нейтронов. Первое Борновское приближение (кинематическая теория рассеяния). Приближение Фраунгофера.

Когерентное и некогерентное рассеяние нейтронов. Сечение когерентного рассеяния, структурный фактор.

Проблема фаз. Функция Паттерсона (стационарная парная корреляционная функция). Закон рассеяния по ван Хову и пространственно-временная парная корреляционная функция. Упругое рассеяние как Фурье-преобразование структуры.

Рассеяние нейтронов на трехмерной периодической решетке с жестко закрепленными ядрами. Закон Вульфа-Брэггов. Интерференционная функция Лауэ. Обратная решетка кристалла и построения Эвальда.

Фактор Дебая-Уоллера. Тепловое диффузное рассеяние.

Упругое, квазиупругое и неупругое рассеяние нейтронов.

#### **4. Магнитное рассеяние нейтронов**

Магнитный момент нейтрона. Сечение упругого когерентного магнитного рассеяния нейтронов. Амплитуда магнитного рассеяния неполяризованных нейтронов. Магнитный форм-фактор.

Формализм волнового вектора. Построения Эвальда для случая простейшего ферромагнетика, простейшего антиферромагнетика, магнетика с несоизмеримой магнитной структурой, магнетика с мульти-k структурой.

Представленческий анализ магнитных структур в рамках концепции одного неприводимого представления Ландау (*общие принципы*).

Формализм Шубниковских групп магнитной симметрии. Сильные и слабые стороны подхода Шубниковских групп и представленческого подхода к описанию магнитных структур.

Современная магнитная кристаллография. Унифицированные символы групп магнитной симметрии (UNI). База данных магнитных структур MAGNDATA. Симметричный анализ эффектов магнитного упорядочения в твердых телах при помощи платформы ISODISTORT.

#### **5. Определение динамики кристаллической решетки.**

Методика измерения однофононного когерентного рассеяния нейтронов.

Определение частот, поляризаций и затухания фононов из результатов экспериментов по однофононному когерентному рассеянию нейтронов.

Определение фононного спектра кристаллов в когерентно и некогерентно рассеивающих образцах.

Исследование магнитной динамики.

#### **6. Радиационные дефекты в металлах, сплавах и соединениях.**

Экспериментальные методики облучений при различных температурах на реакторе и ускорителях.

Методы классификации и исследования радиационных дефектов в металлах, сплавах, соединениях и их возможности.

Особенности взаимодействия различных ионизирующих излучений с твердым телом (заряженные частицы, гамма-кванты, нейтроны).

Типы радиационных дефектов в простых металлах, энергия активации, спектры отжига.

Современные представления о развитии и структуре каскада столкновений.

## Основная литература

1. **А.М. Балагуров**

**Дифракция нейтронов для решения структурных и материаловедческих задач.**- Учебное пособие, Московский госуниверситет, физический факультет, 2017

2. **Нозик Ю.В., Озеров Р.П., Хенниг К.**

**Структурная нейтронография.** - М.: Атомиздат, 1979. - 343 с.: ил. -  
- (Нейтроны и твердое тело;Т.1).

3. **Изюмов Ю.А., Найш В.Е., Озеров Р.П.**

**Нейтронография магнетиков.**- М.: Атомиздат, 1981. - 311с. - ("Нейтроны и твердое тело"; Т.2).

4. **Изюмов Ю.А., Черноплеков Н.А.**

**Нейтронная спектроскопия.**- М.: Энергоатомиздат, 1983. - 328 с.:ил. - (  
"Нейтроны и твердое тело"; Т.3).

5. **Томпсон, Майкл Уорвик.**

**Дефекты и радиационные повреждения в металлах : пер. с англ. / под ред. В. Е. Юрасовой.** - Москва : Мир, 1971. - 367 с., 16 л. ил. : черт.; 22 см. Доп. тит. л.: Defects and radiation damage in metals. M.W. Thompson

## Дополнительная литература

1. **J. M. Carpenter, C.-K. Loong, ELEMENTS OF SLOW-NEUTRON SCATTERING,** Cambridge University Press, 2015

2. **G. E. BACON Neutron diffraction,** Monographs on the physics and chemistry of materials. 3rd ed. Oxford Univ. Press, 1975

3. **Марадудин А., Монтролл Э., Вейсс Дж.**

**Динамическая теория кристаллической решетки в гармоническом приближении/ Пер. с англ. И.В.Абаренкова и Е.Д.Трифорова; Под ред. М.И.Петрашень.** - М.: Мир, 1965. - 383 с.: ил.

4. **Шульце Г.**

**Металлофизика/ Пер. с нем.А.К.Натансона; Под ред.Я.С.Уманского.** - М.: Мир, 1971. - 503с.:ил.