

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова  
ФИЛИАЛ МГУ В Г. ДУБНЕ



УТВЕРЖДАЮ  
И.о. директора  
филиала МГУ в г.Дубне

/ Э.Э. Боос /  
« 14 » 09 2022 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Наименование дисциплины:**

Неупругое рассеяние нейтронов

---

**Уровень высшего образования:**

Магистратура

---

**Направление подготовки:**

03.04.02 Физика

---

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Фундаментальная и прикладная ядерная физика

---

**Форма обучения:** Очная форма обучения

---

Дубна 2022 г.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки программы магистратуры 03.04.02 «Физика».

Год (годы) приема на обучение \_\_\_\_\_

**Авторы–составители:**

1. Кандидат физ.-мат. наук, Е.А. Горемычкин, почасовик МГУ

**Руководитель магистерской программы:**

Доктор физ.-мат. наук, академик РАН Г.В. Трубников, по совместительству заведующий кафедрой физического факультета МГУ

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Неупругое рассеяние нейтронов»**

Целью курса является изучение студентами практических и теоретических основ метода неупругого рассеяния и техники проведения нейтронных экспериментов в области исследования конденсированного состояния. В ходе данного курса студент должен: получить представление об основных экспериментальных подходах метода неупругого рассеяния нейтронов в решении задач исследования атомной и магнитной динамики конденсированного состояния вещества, ознакомится с основными методами исследования с помощью нейтронного неупругого рассеяния, получить информацию об основных компонентах приборно-методологической базы нейтронного эксперимента.

### **Разделы рабочей программы**

1. Место дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы высшего образования (ОПОП ВО).
2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (при наличии)
3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями
4. Формат обучения.
5. Язык обучения.
6. Содержание дисциплины.
7. Объем дисциплины
8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий
9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.
10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).
11. Шкала оценивания.
12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.
13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.
14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Неупругое рассеяние нейтронов» реализуется на 2-ом курсе в 3-ем семестре магистратуры и входит в состав профессионального блока вариативной части.

## 2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия

Базовые знания в области общей и теоретической физики в объеме классических университетских курсов.

## 3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с формируемыми компетенциями

В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора (индикаторов) достижения компетенции	Результаты обучения
<b>МПК-3</b> Способен самостоятельно (или) в составе научного коллектива применять математические методы для исследования физических явлений и процессов в области фундаментальной и прикладной ядерной физики при решении задач профессиональной деятельности	<b>ИМПК-3.3</b> Способен использовать численные методы в модельных расчетах свойств атомных ядер и сечений ядерных реакций, при моделировании работы экспериментальных установок и анализе экспериментальных данных	Знать: основы теории неупругого рассеяния нейтронов. Уметь: применять и составлять новые методы исследований явлений, связанных с неупругим рассеянием нейтронов. Владеть: математическими и экспериментальными навыками работы с установками и анализа результатов исследований.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

## 4. Содержание дисциплины

*Тема 1. Введение.*

Метод неупругого рассеяния нейтронов (НРН) в физике конденсированных сред (КС): история возникновения НРН, место среди других методов исследования КС, достоинства и недостатки. Круг задач, решаемых методом НРН.

*Тема 2. Элементы теории неупругого рассеяния нейтронов.*

Дважды дифференциальное сечение НРН, закон рассеяния. Обобщенная восприимчивость и её связь с законом рассеяния измеряемым методом НРН. Когерентное, некогерентное рассеяние нейтронов. Соотношение Крамерса — Кронига, связь макроскопических свойств КС с результатами измерений НРН.

*Тема 3. Принципы неупругого рассеяния нейтронов.*

Технологии измерения НРН: метод трёхосного спектрометра, метод по времени пролёта. Параметры спектрометров НРН: светосила, разрешение по энергии и по переданному импульсу. Окружение образца: низкие температуры, магнитные поля, высокое давление.

*Тема 4. Спектрометры нрн на стационарных источниках нейтронов.*

Трёхосные спектрометры (TAS): классические TAS инструменты, нетрадиционные спектрометры НРН - RITA, Flat Cone, LAGRANGE. НРН с анализом поляризации на TAS. Спектрометры по времени пролёта на стационарных источниках нейтронов.

*Тема 5. Спектрометры нрн на импульсных источниках нейтронов.*

Время-пролётные спектрометры на импульсных источниках нейтронов: прямая и обратная геометрии, факторы определяющие параметры спектрометра (интенсивность, разрешение, область покрытия по энергии и переданному импульсу). Эксперименты с порошковыми и монокристалльными образцами.

*Тема 6. Исследования динамики водород содержащих веществ.*

Физические причины исследования водород содержащих веществ: присутствие водорода в большом числе функциональных материалов, биологических объектах, фармакологических веществах и т.д. Особенности НРН с веществами, содержащими водород. Примеры использования НРН в исследованиях динамики водород содержащих материалов.

*Тема 7. Экспериментальные исследования атомной динамики кс.*

Измерения обобщенной плотности фононных состояний (ОПФС) порошковых образцов. Моделирование ОПФС, связь измеренных методом НРН динамики КС с их макроскопическими свойствами (теплоемкость, сверхпроводимость). Ограничения в исследованиях динамики КС на порошковых образцах. Исследования атомной динамики на монокристаллических образцах с применением трёхосных спектрометров. Примеры изучения атомной динамики на порошковых и монокристаллических образцах.

*Тема 8. Экспериментальные исследования магнитной динамики кс.*

Изучение магнитной динамики монокристаллических образцов на трёхосном спектрометре. Исследование магнитного отклика на порошковых образцах с использованием время-пролётных спектрометров на импульсных источниках нейтронов:

А) одно-ионные возбуждения: переходы между уровнями кристаллического поля, магнитная динамика соединений с переменной валентностью

Б) коллективные магнитные возбуждения: квантовые магнетики, высокотемпературные сверхпроводники

Магнитные возбуждения в монокристаллических образцах измеряемые методом время-пролётной спектрометрии на импульсных источниках нейтронов. Примеры изучения спиновой динамики систем с сильными электронными корреляциями.

*Тема 9. Тренды в развитии экспериментальной техники нрн.*

Спектрометры неупругого рассеяния нейтронов на создаваемых и планируемых импульсных источниках нейтронов, на примере европейского источника нейтронов (ESS) и Дубненского источника нейтронов (DNS).

**7. Объем дисциплины**

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоёмкость	объем учебной нагрузки в ак. часах
---------------------	--------------	------------------------------------

	в зачетных единицах	Общая трудоемкость	в том числе ауд.занятий				Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	Учебно-практические занятия	
Неупругое рассеяние нейтронов	2	72	36	18	18		36

**8. Структурированное по темам (разделам) содержание дисциплины (модуля) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий**

Изучение курса «Неупругое рассеяние нейтронов» включает в себя лекции, на которых рассматривается теоретическое содержание курса; семинарские занятия, предусматривающие углубленное изучение и обсуждение вопросов, обозначенных в темах дисциплины; самостоятельную работу, заключающуюся в подготовке к лекционным и семинарским занятиям. Темы, рассматриваемые на лекциях и изучаемые самостоятельно, закрепляются на семинарских занятиях, по вопросам, вызывающим затруднения, проводятся консультации.

№ темы	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы	Всего часов	Лекции	Семинары	Учебно-практические занятия (лабораторные или практические занятия)	Самостоятельная работа	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
1							
2							
3							
4							
	Промежуточная аттестация	4				4	зачет
<b>ИТОГО:</b>		72	18	18		36	

ДЗ- домашнее задание, Оп- опрос, КР- контрольная работа, Т- тестирование

## 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Неупругое рассеяние нейтронов» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и беседах по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Неупругое рассеяние нейтронов» проводится в форме зачета .

## 10. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю).

Перечень оценочных средств, применяемых на каждом этапе проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине, представлены в таблице

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
<b>Оценочные средства текущего контроля</b>		
Тематический опрос (в форме ответов на вопросы)	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Собеседование (в форме беседы, дискуссии по теме)	Средство контроля, организованное как свободная беседа, дискуссия по тематике изучаемой дисциплины, рассчитанное на выяснение объема знаний обучающегося по всем изученным разделам, темам; свободного использования терминологии для аргументированного выражения собственной позиции.	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины
Тестирование	Средство контроля, позволяющее получить оценку уровня фактических знаний аспиранта по изученной теме.	Образцы тестов
<b>Оценочные средства промежуточной аттестации</b>		
Письменная работа	Средство, позволяющее оценить сформированность систематических представлений о методах научно-исследовательской деятельности.	Перечень вопросов
Собеседование	Средство, позволяющее получить экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	Требования к порядку проведения собеседования

## 11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ Зачтено
ЗНАТЬ: основы теории неупругого рассеяния нейтронов	Отсутствие знаний основ теории неупругого рассеяния нейтронов	В целом успешные, но не систематические знания основ теории неупругого рассеяния нейтронов	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания основ теории неупругого рассеяния нейтронов	Успешные и систематические знания основ теории неупругого рассеяния нейтронов
УМЕТЬ: применять и составлять новые методы исследований явлений, связанных с неупругим рассеянием нейтронов	Отсутствие умения составлять новые методы исследований явлений, связанных с неупругим рассеянием нейтронов	В целом успешное, но не систематическое умение составлять новые методы исследований явлений, связанных с неупругим рассеянием нейтронов	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение составлять новые методы исследований явлений, связанных с неупругим рассеянием нейтронов	Успешное и систематическое умение составлять новые методы исследований явлений, связанных с неупругим рассеянием нейтронов
ВЛАДЕТЬ: математически и экспериментальными навыками работы с установками и анализа результатов исследований	Отсутствие/фрагментарное владение математически и экспериментальными навыками работы с установками и анализа результатов исследований	В целом успешное, но не систематическое владение математически и экспериментальными навыками работы с установками и анализа результатов исследований	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение математически и экспериментальными навыками работы с установками и анализа результатов исследований	Успешное и систематическое владение математическим и экспериментальными навыками работы с установками и анализа результатов исследований



## **12. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.**

### *Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

Задачи можно найти по адресу: <https://msu-dubna.ru/neutron>

#### **Пример:**

##### Вопросы по теории:

1. Метод неупругого рассеяния нейтронов
2. Метод трёхосного спектрометра
3. Метод по времени пролёта.
4. Параметры спектрометров неупругого рассеяния нейтронов: светосила.
5. Параметры спектрометров неупругого рассеяния нейтронов: разрешение по энергии и по переданному импульсу.
6. Окружение образца: низкие температуры, магнитные поля, высокое давление.

## **13. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.**

Зачет проводится в форме письменной работы.

Экзамен состоит из двух частей.

Первая письменная, в виде теста: студенты группы прежде чем получить билет должны в течение 10 мин экзамена ответить на 10 вопросов по материалу сдаваемого курса.

Вторая часть устная –ответ на вопросы.

### *Материалы промежуточной аттестации обучающихся*

##### Вопросы к зачету:

1. Метод неупругого рассеяния нейтронов
2. Когерентное, некогерентное рассеяние нейтронов.
3. Соотношение Крамерса — Кронига
4. Связь макроскопических свойств КС с результатами измерений неупругого рассеяния нейтронов .
5. Дважды дифференциальное сечение неупруге рассеяние нейтронов , закон рассеяния
6. Трёхосные спектрометры (TAS): классические TAS инструменты, нетрадиционные спектрометры

## **14. Материально-техническая база, информационные технологии, программное обеспечение и информационные справочные системы**

### Основная литература

1. Gen Shirane, Stephen M. Shapiro, and John M. Tranquada "Neutron Scattering with a Triple-Axis Spectrometer" Cambridge University Press, 2004
2. Parker, S. F. "Inelastic Neutron Scattering Spectroscopy" Handbook of Vibrational Spectroscopy. (2006). doi:10.1002/0470027320.s0607
3. Уиндзор К. "Рассеяние нейтронов от импульсных источников" М.: Энергоатомиздат, 1985. — 352 с.

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Операционная система Astra Linux ( <https://astralinux.ru/> ) или аналог, с офисным пакетом.

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. База данных РИНЦ (российский индекс научного цитирования)  
<http://www.elibrary.ru>

#### **Материально-техническое обеспечение**

В соответствии с требованиями п. 5.3. образовательного стандарта МГУ по направлению подготовки 03.04.02 «Физика», курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.