

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:**

Нейтронная ядерная физика

---

**Уровень высшего образования:**

Магистратура

---

**Направление подготовки:**

03.04.02 Физика

---

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Физика элементарных частиц

---

**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, Ской Вадим Рудольфович, почасовик МГУ

Руководитель магистерской программы:

Доктор физ.-мат. наук, профессор академик РАН В.А. Матвеев, заведующий кафедрой физического факультета МГУ

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины «Нейтронная ядерная физика»**

В курсе рассматриваются теоретические основы нейтронной спектроскопии ядер, методы изучения ядерных реакций и практические приложения нейтронной ядерной физики. Целью курса является освоение студентами теоретических основ и методов, используемых для анализа ядерных реакций с участием нейтронов, ознакомление с областями применения ядерной физики в энергетике и промышленности.

### **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 «Нейтронная ядерная физика» реализуется на 1-ом курсе во 2-ом семестре магистратуры и входит в состав 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-2</b> Способен ставить, формализовать и решать задачи в области физики элементарных частиц	<b>ИМПК-2.3</b> Знает основные и перспективные направления физики элементарных частиц	<b>З-1</b> Знать: характеристики нейтрона и процессов, в которых он участвует, методы его регистрации <b>У-1</b> Уметь: математически описывать основные процессы с нейтронами <b>В-1</b> Владеть: знаниями о практическом использовании атомных ядер и особенностях такого использования, связанных с нейтронами

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

*Тема 1. Нейтрон и источники нейтронов, динамика замедлителей нейтронов.*

Свойства нейтрона. Нейтрон как объект изучения. Нейтрон как инструмент исследований. Электрический заряд нейтрона. Поляризуемость нейтрона. Аномальный магнитный момент нейтрона. Особенности взаимодействия нейтронов с ядрами. Нейтронная ядерная физика. Ядерные силы. Дейтрон. Альфа-распад. Лабораторные источники. Ядерный реактор как источник нейтронов. Импульсные реакторы. ИБР-2. Аperiodические импульсные реакторы. Нейтроны из мишеней электронных ускорителей. Протонные источники нейтронов. Источники моноэнергетических нейтронов. Нейтронный генератор. Метод меченых нейтронов. Генератор Ван-де-Граафа. Упругое рассеяние нейтрона. Замедление нейтронов. Холодные нейтроны. Холодный замедлитель комплекса ИБР-2. Макроскопическое сечение.

Средняя длина пробега нейтрона в произвольном объеме. Биологическая защита и защита детекторов.

*Тема 2. Методы регистрации нейтронов. Поляризованные нейтроны и ядра.*

Детекторы медленных нейтронов. Реакция захвата медленных нейтронов на  $^{157}\text{Gd}$ . Конструкция пропорционального нейтронного счетчика на основе  $^{10}\text{BF}_3$  и  $^3\text{He}$ . Сцинтилляционные детекторы нейтронов. Детекторы нейтронов, основанные на реакциях деления. Позиционно-чувствительные детекторы. Прикладные методики, основанные на захвате нейтронов легкими ядрами. Поляризация. Основные методы получения поляризованных нейтронов. Отражение медленных нейтронов от магнитных зеркал. Отражение медленных нейтронов от магнитных монокристаллов. Поляризация нейтронов методом пропускания через поляризованные мишени. Методы поляризации ядер. Динамическая поляризация ядер. Оптическая поляризация ядер  $^3\text{He}$ .

*Тема 3.  $\beta$ -распад нейтрона и метод времени пролета.*

Связь времени жизни нейтрона с параметрами Стандартной Модели. Проверка временной инвариантности в  $\beta$  -распаде поляризованных нейтронов. Связь  $\beta$  -распада нейтрона с процессами нуклеосинтеза в ранней Вселенной. Эксперименты по измерению времени жизни нейтрона. Двойной  $\beta$  -распад нейтрона Метод времени пролета. Основные соотношения методики времени пролета. Скорость счета нейтронов в установке, работающей по времени пролета. Измерение трансмиссии. Оптимальная толщина образца. Доплеровское уширение резонансных линий. Функция разрешения нейтронного источника. Модулирование нейтронного источника с помощью механического селектора.

*Тема 4. Ядерные модели и фундаментальные симметрии.*

Ядерные модели. Капельная модель ядра. Уровни ядра. Прямые ядерные реакции. Реакции с образованием составного ядра. Формула Брейта - Вигера. Энергетическая зависимость нейтронной ширины. Оптическая теорема. Модель составного ядра при высоких энергиях. Оптическая модель ядерных реакций. Нарушение пространственной четности в ядерных взаимодействиях. Обзор экспериментов. Варианты нарушения временной инвариантности в нейтрон - ядерных взаимодействиях. Аномальный дипольный момент нейтрона.

*Тема 5. Деление ядер и ядерные реакторы.*

Цепная реакция деления. Отражение и замедление нейтронов в активной зоне реактора. Простейший ядерный реактор. Запаздывающие нейтроны. Формула четырех сомножителей. Замедлители. Гетерогенный реактор. Гомогенные реакторы. Водо-водяной энергетический реактор. Водо-графитовый реактор. Воспроизводство ядерного топлива. Реакторы на быстрых нейтронах. Природный реактор Окло.

**7. Объем дисциплины**

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетны	объем учебной нагрузки в ак. часах		
		Общая	в том числе ауд.занятий	Самост

	х единица х	трудое мкость	Общая аудио рная нагруз ка	Ле кц ий	Се ми нар ов	Учебн о- практи ческие заняти я	оательн ая работа студент ов
Нейтронная ядерная физика	2	72	34	17	17		38

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

Изучение курса «Нейтронная ядерная физика» 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.

№ тем ы		Виды учебной нагрузки и их трудоёмкость, часы					Са мо ст оя те ль на я ра бо та	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Вс его ча со в	Л е к ц и и	С е м и на р ы	Учебно- практичес кие занятия (лаборато рные или практичес кие занятия)			
1	Нейтрон и источники нейтронов, динамика замедлителей нейтронов	12	3	3		6	Оп	
2	Методы регистрации нейтронов. Поляризованные нейтроны и ядра	12	3	3		6	Оп	
3	$\beta$ -распад нейтрона и метод времени пролета	12	3	3		6	Оп	
4	Ядерные модели и фундаментальные симметрии	14	4	4		6	Оп	
5	Деление ядер и ядерные реакторы	16	4	4		8	Оп	

	Промежуточная аттестация	6			6	экзамен
<b>ИТОГО:</b>		72	1 7	1 7	38	

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

### 9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Нейтронная ядерная физика» 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 «Нейтронная ядерная физика» проводится во втором семестре в форме экзамена.

Результаты сдачи экзамена оцениваются по шкале «неудовлетворительно», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично». Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение промежуточной аттестации.

### 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 к экзамену

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/ неудовлетворительно	3/ удовлетворительно	4/ хорошо	5/ отлично
ЗНАТЬ: характеристики нейтрона и процессов, в которых он участвует, методы его регистрации ИМПК-2.3	Отсутствие знаний характеристик нейтрона и процессов, в которых он участвует, методов его регистрации	В целом успешные, но не систематические знания характеристик нейтрона и процессов, в которых он участвует, методов его регистрации	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы знания характеристик нейтрона и процессов, в которых он участвует, методов его регистрации	Успешные и систематические знания характеристик нейтрона и процессов, в которых он участвует, методов его регистрации
УМЕТЬ: математически описывать основные процессы с нейтронами ИМПК-2.3	Отсутствие умения математически описывать основные процессы с нейтронами	В целом успешное, но не систематическое умение математически описывать основные процессы с нейтронами	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение математически описывать основные процессы с нейтронами	Успешное и систематическое умение математически описывать основные процессы с нейтронами
ВЛАДЕТЬ: знаниями о практическом использовании атомных ядер и особенностях такого использования, связанных с нейтронами ИМПК-2.3	Отсутствие/фрагментарное владение знаниями о практическом использовании атомных ядер и особенностях такого использования, связанных с нейтронами	В целом успешное, но не систематическое владение знаниями о практическом использовании атомных ядер и особенностях такого использования, связанных с нейтронами	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы владение знаниями о практическом использовании атомных ядер и особенностях такого использования, связанных с нейтронами	Успешное и систематическое владение знаниями о практическом использовании атомных ядер и особенностях такого использования, связанных с нейтронами

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

### *Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся*

#### **Пример:**

1. Методы детектирования нейтронов Природа взаимодействия медленных нейтронов с веществом.



2. Нейтронно-оптические явления. Когерентные и некогерентные амплитуды рассеяния.
3. Формула Брейта-Вигнера.
4. Модель составного ядра.
5. Метод времени пролета.
6. Цепная реакция деления

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

Экзамен проводится в виде письменной работы с последующим собеседованием по изучаемым темам.

#### *Материалы промежуточной аттестации обучающихся*

##### Вопросы к экзамену:

1. Свойства нейтрона. Спин, магнитный момент, электрический заряд, нейтрон в гравитационном поле.
2. Природа взаимодействия медленных нейтронов с веществом.
3. Нейтронно-оптические явления. Когерентные и некогерентные амплитуды рассеяния.
4. Формула Брейта-Вигнера.
5. Модель составного ядра.
6. Амплитуды рассеяния нейтронов на ядрах.
7. Получение медленных нейтронов. Монохроматизация.
8. Метод времени пролета.
9. Методы получения поляризованных медленных нейтронов.
10. Методы детектирования нейтронов
11. Несохранение пространственной четности в нейтрон-ядерных взаимодействиях.
12. Ультрахолодные нейтроны.
13. Дипольный момент нейтрона.
14. Распад нейтрона.
15. Ядерный реакторы как источник энергии

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

#### Основная литература

1. О.А. Барсуков, "Основы физики атомного ядра. Ядерные технологии", М. Физматлит, 2011.
2. А.И. Абрамов, Ю.А. Казанский, Е.С. Матусевич, "Основы экспериментальных методов ядерной физики", изд. 3, М. Атомиздат 1985.
3. К.Н. Мухин, "Экспериментальная ядерная физика", книга 1, М. Энергоатомиздат, 1993.
4. Ю.А. Александров, "Фундаментальные свойства нейтрона", М. Атомиздат, 1976.

#### Дополнительная литература

1. Ю.М. Широков, Н.П. Юдин, "Ядерная физика", М. Наука, 1980.

2. В.И. Гольданский, А.В. Куценко, М.И. Подгорецкий, "Статистика отсчетов при регистрации ядерных частиц", М. Физматлит, 1959.
3. Ю.Г. Абов, А. Д. Гулько, П. А. Крупчицкий, "Поляризованные медленные нейтроны", М. Атомиздат, 1966.
4. Л.В. Матвеев, А.П. Рудик, "Почти все о ядерном реакторе", М. Энергоатомиздат, 1990.
5. И.А. Науменко, "Атомные силовые установки", М. Воениздат. 1959.
6. Ю.Г. Демянко и др. "Ядерные ракетные двигатели", М. Норма-Информ, 2001.
7. Л.Б. Пикельнер, Ю.П. Попов, Э.И. Шарапов, УФН, т.137, вып.1, 1982, с.39.
8. Ф.Л. Шапиро, УФН, т.95, вып.1, 1968, с. 145.
9. В.П. Алфименков, УФН, т.144, вып.3, 1984, с. 361.
10. И.М. Франк, УФН, т.161, №1, 1991, с. 109.
11. В.К. Игнатович, УФН, т.166, №3, 1996, с. 303.
12. А.В. Стрелков, УФН, т.174, №5, 2004, с.565.
13. В.В. Несвижевский, УФН, т.180, №7, 2010, с.673.
14. А.П. Серебров, УФН, т.179, №9, 2005, с.904.
15. В.Л. Аксенов, УФН, т.179, №4, 2009, с.434.
16. Ю.Я. Стависский, УФН, т.177, №11, 2007, с.1241.
17. A.L. Varabanov, et al., Phys. Rev. Lett. 70(9), 1993, p.1216.
18. R. Golub, S.K. Lamoreaux, Phys. Rev. D 50, 1994, p.5632.
19. V.R. Skoy, Phys. Rev. D 53, 1996, 4070.
20. T.E. Chupp, et al, Phys. Rev. C 36, 1987, p. 2244.
21. Н.Н. Колачевский, и др., "Квантовая электроника", 33, №1, 2003, с.18.
22. T.Ino, et al., Physica B, 356, 2005, p.109

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

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

Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

1. <http://www.edu.ru> – портал Министерства образования и науки РФ
2. <http://www.ict.edu.ru> – система федеральных образовательных порталов «ИКТ в образовании»
3. <http://www.openet.ru> - Российский портал открытого образования
4. <http://www.mon.gov.ru> - Министерство образования и науки Российской Федерации
5. <http://www.fasi.gov.ru> - Федеральное агентство по науке и инновациям

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

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