

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:

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, Ской Вадим Рудольфович, 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 «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 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
МПК-1 Способен решать практические задачи профессиональной деятельности в области фундаментальной и прикладной ядерной физики на основе фундаментальных знаний	ИМПК-1.2 Знает основные разделы фундаментальной и прикладной ядерной физики: модели атомного ядра и ядерных реакций, основы нейтронной физики и физики конденсированного состояния, базовые установки и приборы ядерно-физического эксперимента	Знать: изучаемые объекты, их свойства, а также термины и модели в нейтронной и ядерной физике. Уметь: математически описывать процессы нейтронной физики и связанные с ними процессы ядерной физики. Владеть: подробным представлением о применении нейтронного излучения и реакций с нейтронами в фундаментальных исследованиях и практических приложениях.

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. Аперидические 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}Gd . Конструкция пропорционального нейтронного счетчика на основе $^{10}\text{BF}_3$ и ^3He . 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 ^3He .

Тема 3. β -распад нейтрона и метод времени пролета.

Связь времени жизни нейтрона с параметрами Стандартной Модели. Проверка временной инвариантности в β -распаде поляризованных нейтронов. Связь β -распада нейтрона с процессами нуклеосинтеза в ранней Вселенной. Эксперименты по измерению времени жизни нейтрона. Двойной β -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. Водородно-водяной энергетический реактор. Водородно-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	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 «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 трудоемкость, 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 н а р ы	Учебно- практичес кие занятия (лаборато рные или практичес кие занятия)			
1	Нейтрон и источники нейтронов, динамика замедлителей нейтронов	15	4	4		7	опрос	
2	Методы регистрации нейтронов. Поляризованные нейтроны и ядра	15	4	4		7	опрос	
3	β -распад нейтрона и метод времени пролета	14	4	4		6	опрос	
4	Ядерные модели и фундаментальные симметрии	15	4	4		7	опрос	
5	Деление ядер и ядерные реакторы	9	2	2		5	опрос	

	Промежуточная аттестация	4			4	зачет
ИТОГО:		72	18	18	36	

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

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 в форме зачета в виде письменной работы.

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
Оценочные средства текущего контроля		
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
Оценочные средства промежуточной аттестации		
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	Требования к порядку проведения собеседования

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
<p>ЗНАТЬ: изучаемые объекты, их свойства, а также термины и модели в нейтронной и ядерной физике. ИМПК-1.2 З-1</p>	Отсутствие знаний об изучаемых объектах, их свойствах, а также терминах и моделях в нейтронной и ядерной физике.	В целом успешные, но не систематические знания об изучаемых объектах, их свойствах, а также терминах и моделях в нейтронной и ядерной физике.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания об изучаемых объектах, их свойствах, а также терминах и моделях в нейтронной и ядерной физике.	Успешные и систематические знания об изучаемых объектах, их свойствах, а также терминах и моделях в нейтронной и ядерной физике.
<p>УМЕТЬ: математически описывать процессы нейтронной физики и связанные с ними процессы ядерной физики. ИМПК-1.2 У-1</p>	Отсутствие умения математически описывать процессы нейтронной физики и связанные с ними процессы ядерной физики.	В целом успешное, но не систематическое умение математически описывать процессы нейтронной физики и связанные с ними процессы ядерной физики.	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение математически описывать процессы нейтронной физики и связанные с ними процессы ядерной физики.	Успешное и систематическое умение математически описывать процессы нейтронной физики и связанные с ними процессы ядерной физики.
<p>ВЛАДЕТЬ: подробным представлением о применении нейтронного излучения и</p>	Отсутствии/фрагментарное владение подробным представлением о применении нейтронного	В целом успешное, но не систематическое владение подробным представлением	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение	Успешное и систематическое владение подробным представлением о применении нейтронного

реакций с нейтронами в фундаментальных исследованиях и практических приложениях. ИМПК-1.2 В-1	излучения и реакций с нейтронами в фундаментальных исследованиях и практических приложениях.	мо применении нейтронного излучения и реакций с нейтронами в фундаментальных исследованиях и практических приложениях.	подробным представлением о применении нейтронного излучения и реакций с нейтронами в фундаментальных исследованиях и практических приложениях.	излучения и реакций с нейтронами в фундаментальных исследованиях и практических приложениях.
---	--	--	--	--

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Задания можно найти по адресу:

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.

Зачет проводится в форме письменной работы.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к зачету:

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. Ставиский, 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.

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.