

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 /  
«01» сентября 2024 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

Источники нейтронных пучков

---

**Уровень высшего образования:**

Магистратура

---

**Направление подготовки:**

03.04.02 Физика

---

**Направленность (профиль) ОПОП:**

Фундаментальная и прикладная ядерная физика

---

**Форма обучения:** Очная форма обучения

---

Дубна 2024 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:**

доктор физ.-мат. наук Киселев Михаил Алексеевич, по совместительству доцент кафедры фундаментальных ядерных взаимодействий физического факультета МГУ

Заведующий кафедрой фундаментальных ядерных взаимодействий (по совместительству)

академик РАН, доцент, д.ф.-м.н. Трубников Г.В.

## **Аннотация к рабочей программе дисциплины**

В курсе содержатся базовые знания о принципах работы и конструкции современных реакторных и ускорительных источников нейтронов. В рамках курса студенты познакомятся с основными источниками нейтронов, работающими и проектируемыми в мире. Более детально будут изучены источники нейтронов действующие в Российских научных центрах. Студенты получат знания о современных источниках нейтронов, методах замедления и термализации нейтронов, методах формирования и вывода нейтронных пучков, методах монохроматизации нейтронного спектра, методе времени пролета. Будут изложены основные области применения нейтронов для исследовательских и прикладных задач

### 1. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина реализуется на 1-ом курсе в 1-ом семестре магистратуры и входит в состав профессионального блока вариативной части как дисциплина по выбору.

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

Курсы математического анализа, линейной алгебры и дифференциальных уравнений, методов математической физики, раздел оптика из курса общей физики, разделы теоретическая механика, электродинамика и квантовая механика из курса теоретической физики в объеме классических университетских курсов.

### 3. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников

Компетенции	Результаты обучения
ОПК-1	<p><u>Знать</u> основные законы, научные концепции и методы исследований в области современной ядерной физики</p> <p><u>Уметь</u> применять на практике результаты актуальных научных исследований в области современной ядерной физики</p> <p><u>Владеть</u> навыками применения современных научных принципов и методов исследования в области ядерной физики для решения профессиональных задач</p>
ПК-1	<p><u>Знать</u> разделы ядерной физики, необходимыми для решения поставленной научной задачи</p> <p><u>Уметь</u> применять экспериментальные и теоретические знания при решении поставленной научной задачи</p> <p><u>Владеть</u> экспериментальными и теоретическими методами исследования при решении научных задач в области современной ядерной физики</p>

МПК-1	<p><u>Знать</u> основные типы современных источников нейтронов, их особенности, области применения и требования к ним.</p> <p><u>Уметь</u> описывать в общем процессы и явления, связанные с испусканием нейтронов и их взаимодействиями.</p> <p><u>Владеть</u> знанием об актуальных источниках информации о существующих и разрабатываемых источниках нейтронах.</p>
-------	--

4. Объем дисциплины (модуля) составляет **2** з.е., в том числе: **36** академических часов, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, **36** академических часов, отведенных на самостоятельную работу обучающихся.

5. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

<p>Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),</p> <p>Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)</p>	<p>Всего (ак.ч.)</p>	<p>В том числе</p>		<p>Форма текущего контроля успеваемости, наименование</p>
		<p>Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) Виды контактной работы, академические часы<sup>1</sup></p>	<p>работа обучающегося, академические</p>	

<sup>1</sup>Текущий контроль успеваемости может быть реализован в рамках занятий лекционного и(или) семинарского типа.

		Занятия лекционного типа (лекции)	Занятия семинарского типа			Всего		
			Семинары	Лабораторные занятия*	Практические занятия*			
Нейтроны как инструмент для исследований	14	3	3			8	КР	
Источники нейтронов на основе ускорителей	18	5	5			8	ОП	
Российские источники нейтронов	18	5	5			8	ОП	
Ведущие зарубежные нейтронные центры	18	5	5			8	ОП	
Промежуточная аттестация	<b>4</b>					4	экзамен	
<b>Итого</b>	<b>72</b>		<b>36</b>			<b>36</b>		

\*Лабораторные занятия, практические занятия относятся к практической подготовке обучающихся.

## **6. Фонд оценочных средств для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)**

### **6.1. Типовые задания и иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения:**

#### Вопросы по теории:

1. Быстрые и медленные нейтроны. Плотность потока нейтронов.
2. Плотность длины рассеяния нейтронов на различных ядрах.
3. Метод времени пролета.
4. Монохроматизация нейтронов

#### Задачи:

1. Рассчитать полное макроскопическое сечение нейтрона в воде и тяжелой воде.
2. Рассчитать количество соударений необходимых для замедления быстрого нейтрона в воде, тяжелой воде и графите.
3. Рассчитать длину волны тепловых нейтронов при  $T=300\text{K}$
4. Рассчитать период разгона стационарного реактора на  $U^{235}$  при введении реактивности равной  $0.01\beta$ .

#### Вопросы к экзамену:

1. Энергия связи ядра. Формула Вейцеккера. Удельная энергия связи нуклона. Деление и синтез ядер.
2. Длина волны нейтрона. Спектр медленных нейтронов. Нейтроны как инструмент для исследований.
3. Ядерные реакции с образованием нейтронов.
4. Деления урана медленными нейтронами.
5. Применения ядерных реакторов. Реакторы как источники нейтронов для научных исследований.
6. Испарительные источники нейтронов.
7. Требования к современным источникам нейтронов.
8. Стационарные реакторы.
9. Импульсные реакторы периодического действия.
10. Импульсные самогасящиеся реакторы.
11. Источники нейтронов на основе ускорителей: Источники с размножающей мишенью.
12. Источники нейтронов на основе ускорителей: Источники с не размножающей мишенью.
13. Формирование нейтронных пучков: замедлители.
14. Формирование нейтронных пучков: монохроматоры.
15. Формирование нейтронных пучков: зеркальные нейтронороды
16. Принцип работы реактора ИБР-2.
17. Комплекс спектрометров реактора ИБР-2.
18. Исследования, проводимые на реакторе ИБР-2.
19. Источник ИРЕН.
20. Источник ИН-6.
21. Реактор ПИК.
22. Институт Лауэ-Ланжевена (реактор и спектрометры).
23. Институт Пауля Шеррера (источник нейтронов, синхротрон, инструменты).
24. Берлинский центр рассеяния нейтронов и берлинский синхротрон.
25. Источник SNS в Оук Ридже.
26. Проект европейского источника нейтронов ESS.

27. Проект нового источника нейтронов ИБР-3.
28. Замедление нейтронов. Теплоносители и замедлители ядерных реакторов.
29. Первый и второй контур охлаждения реактора ИБР-2.
30. Мгновенные и запаздывающие нейтроны деления. Роль запаздывающих нейтронов в процессе регулирования мощности реактора.
31. Тепловыделяющие элементы ядерного реактора. ТВЭЛы реактора ИБР-2.
32. Принципы модуляции реактивности реактора ИБР-2.
33. Понятие критичности для стационарного и импульсного реактора.
34. Реактор ИБР-2. Назначение, принцип работы и конструкция.
35. Понятия ядерной и радиационной аварии.
36. Особенности кинетики реактора ИБР-2. Разгон реактора при вводе положительной реактивности.
37. Деление плутония быстрыми нейтронами. Мощность фона реактора ИБР-2.
38. Формирование импульса мощности реактора ИБР-2. Одноточечная модель кинетики.
39. Критическое условие стационарного реактора. Критическое условие импульсного реактора.
40. Быстрые и медленные флуктуации реактивности реактора ИБР-2.
41. Тепловыделяющая сборка ИБР-2. Загрузка ТВС в зону. Набор критмассы. Экстраполяция на критичность.
42. Влияние обратных связей на реактивность реактора и флуктуации импульса мощности.
43. Линейные каналы контроля мощности реактора ИБР-2. Канал автоматического регулирования. Блок схема. Принцип временного усреднения мощности.
44. Пусковой канал реактора ИБР-2. Блок схема. Режимы работы канала. Назначение внешнего источника нейтронов для работы канала.
45. Конструкция корпуса реактора ИБР-2.
46. Основное оборудование реактора ИБР-2.
47. Органы управления и защиты реактора.
48. Водяные и криогенные замедлители реактора ИБР-2.

## **6.2. Шкала и критерии оценивания**

Результат освоения дисциплины	Критерии оценивания знаний, умений и навыков			
	2/ не зачтено	3/ зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
Знания	Отсутствие знаний	В целом успешные, но не систематическое знания	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания	Успешные и систематическое знания
Умения	Отсутствие умения применять знания фундаментальных и актуальных проблем.	В целом успешное, но не систематическое	В целом успешно, но содержащее	Успешное и систематическое умение применять

		е умение применять знания	отдельные пробелы умение применять знания	знания
Навыки	Отсутствие/фрагментарные навыки в решении задач	В целом успешные, но не систематические навыки в решении задач	В целом успешные, но содержащее отдельные пробелы навыки в решении задач	Успешные и систематические навыки в решении задач

## 7. Ресурсное обеспечение

### Основная литература

1. В.И. Владимиров. Физика ядерных реакторов. Практические задачи по их эксплуатации. Либроком, 2008.
2. Е.П. Шабалин. «Импульсные реакторы на быстрых нейтронах». М. Атомиздат, 1976.
3. К. Уиндзор. «Рассеяние нейтронов от импульсных источников», Москва, Энергоатомиздат, 1985.

### Дополнительная литература

1. И.И. Гуревич, Л.В. Тарасов. «Физика нейтронов низких энергий». Москва, Наука, 1965.
2. С. Глестон, М. Эдлунд. «Основы теории ядерных реакторов». Иностранная литература, Москва, 1954.
3. Гончаров. Исследовательские реакторы. Создание и развитие. Наука, 1986.
4. В.Л. Аксенов. Современные источники нейтронов. Поверхность: рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 1 (1998) 131-139.
5. В.Л. Аксенов, М.В. Рзянин, Е.П. Шабалин. Исследовательские реакторы ОИЯИ: взгляд в будущее. Препринт ОИЯИ РЗ-2020-31 (2020).
6. В.Л. Аксенов. Импульсные реакторы для нейтронных исследований. Физика элементарных частиц и атомного ядра, 26 (1995) 1449-1474.
7. В.Д. Ананьев и др. ИБР-2М - импульсный реактор периодического действия для нейтронных исследований. Препринт ОИЯИ РЗ-10888 (1977)

При реализации дисциплины может быть использовано следующее программное обеспечение:

1. Программный продукт Java 8 (64-bit) Oracle Corporation
2. Программный продукт Dev-C++ Bloodshed Software
3. Операционная система Microsoft Windows 10 Education академическая лицензия
4. Программный продукт Microsoft Project Professional 2013 академическая лицензия
5. Программный продукт Microsoft Visio Professional 2013 академическая лицензия
6. Программный продукт Microsoft Visual Studio Professional 2013 - RUS академическая лицензия

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 обычной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.

**8. Язык преподавания:** русский