

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



УТВЕРЖДАЮ
И.о. директора
филиала МГУ в г.Дубне
/ Э.Э. Боос /
« 14 » 09 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Современные источники 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. доктор физ.-мат. наук Киселев Михаил Алексеевич, по совместительству доцент физического факультета 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 «Современные источники нейтронов»

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 получают 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

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 «Современные источники нейтронов» реализуется на 1-ом курсе в 1-ом семестре магистратуры и входит в состав п 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: основные типы современных источников нейтронов, их особенности, области применения и требования к ним. Уметь: описывать в общем процессы и явления, связанные с испусканием нейтронов и их взаимодействиями. Владеть: знанием об актуальных источниках информации о существующих и разрабатываемых источниках нейтронах.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Нейтроны как инструмент для исследований.

Открытие нейтрона. Ядерные реакции с образованием нейтронов. Требования к современным источникам нейтронов. Реакторные источники нейтронов: Стационарные реакторы. Импульсные реакторы периодического действия. Импульсные самогасящиеся реакторы.

Тема 2. Источники нейтронов на основе ускорителей.

Источники с размножающей мишенью. Источники с неразмножающей мишенью. Формирование нейтронных пучков: Замедлители, монохроматоры, зеркальные нейтроноводы.

Тема 3. Российские источники нейтронов.

Реактор ИБР-2 и его комплекс спектрометров: Принцип работы реактора ИБР-2. Комплекс спектрометров. Исследования, проводимые на реакторе ИБР-2. Российские источники: ИРЕН, Источник ИН-6, Реактор ПИК. Проект нового источника нейтронов ИБР-3.

Тема 4. Ведущие зарубежные нейтронные центры.

Институт Лауэ-Ланжевена (реактор и спектрометры). Институт Пауля Шеррера (источник нейтронов, синхротрон, инструменты). Берлинский центр рассеяния нейтронов и берлинский синхротрон. Источник SNS в Оук Ридже. Проект европейского источника нейтронов ESS.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах					Самостоятельная работа студентов
		Общая трудоемкость	в том числе ауд.занятий			Учебно-практические занятия	
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров		
Современные источники 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 «Современные источники 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	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)	Са мо ст оя те ль на я ра бо та	
1	Нейтроны как инструмент для исследований	17	5	4		8	Оп
2	Источники нейтронов на основе ускорителей	17	5	4		8	КР
3	Российские источники нейтронов	17	4	5		8	КР
4	Ведущие зарубежные нейтронные центры	17	4	5		8	Оп
	Промежуточная аттестация	4				4	экзамен
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 «Современные источники нейтронов» осуществляется на лекциях и семинарских занятиях и заключается в оценке активности и качества участия в опросах и собеседованиях по проблемам, изучаемых в рамках тем лекционных занятий, аргументированности позиции; оценивается широта используемых теоретических знаний.

Промежуточная аттестация по дисциплине «Современные источники нейтронов» проводится в первом семестре в форме экзамен.

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
Оценочные средства текущего контроля		
Тематический опрос (в форме ответов на	Средство контроля, организованное как специальная беседа по тематике предыдущей	Перечень тем, изучаемых в

вопросы)	лекции и рассчитанное на выяснение объема и качества знаний, усвоенных обучающимися по определенному разделу, теме, проблеме.	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 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: основные типы современных источников нейтронов, их особенности, области применения и требования к ним	Отсутствие знаний основных типов современных источников нейтронов, их особенностей, областей применения и требований к ним	В целом успешные, но не систематически знания основных типов современных источников нейтронов, их особенностей, областей применения и требований к ним	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знания основных типов современных источников нейтронов, их особенностей, областей применения и требований к ним	Успешные и систематические знания основных типов современных источников нейтронов, их особенностей, областей применения и требований к ним
УМЕТЬ: описывать в общем процессы и явления,	Отсутствие умения описывать в общем процессы и	В целом успешное, но не систематическое умение	В целом успешно е, но содержащее отдельные	Успешное и систематическое умение описывать в общем процессы

связанные с испусканием нейтронов и их взаимодействиями	явления, связанные с испусканием нейтронов и их взаимодействиями	описывать в общем процессы и явления, связанные с испусканием нейтронов и их взаимодействиями	пробелы умение описывать в общем процессы и явления, связанные с испусканием нейтронов и их взаимодействиями	и явления, связанные с испусканием нейтронов и их взаимодействиями
ВЛАДЕТЬ: знанием об актуальных источниках информации о существующих и разрабатываемых источниках нейтронах	Отсутствие/фрагментарное владение знанием об актуальных источниках информации о существующих и разрабатываемых источниках нейтронах	В целом успешное, но не систематическое владение знанием об актуальных источниках информации о существующих и разрабатываемых источниках нейтронах	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение знанием об актуальных источниках информации о существующих и разрабатываемых источниках нейтронах	Успешное и систематическое владение знанием об актуальных источниках информации о существующих и разрабатываемых источниках нейтронах

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Пример:

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 0.01β .

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

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 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.

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

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.
4. . Гончаров. Исследовательские реакторы. Создание и развитие. Наука, 1986.

Дополнительная литература

1. И.И. Гуревич, Л.В. Тарасов. «Физика нейтронов низких энергий». Москва, Наука, 1965.
2. С. Глесстон, М. Эдлунд. «Основы теории ядерных реакторов». Иностранная литература, Москва, 1954.
3. В.Л. Аксенов. Современные источники нейтронов. Поверхность: рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования, 1 (1998) 131-139.
4. В.Л. Аксенов, М.В. Рязнин, Е.П. Шабалин. Исследовательские реакторы ОИЯИ: взгляд в будущее. Препринт ОИЯИ РЗ-2020-31 (2020).
5. В.Л. Аксенов. Импульсные реакторы для нейтронных исследований. Физика элементарных частиц и атомного ядра, 26 (1995) 1449-1474.
6. 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. 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 03.04.02 «Физика», курс может быть прочитан в поточной аудитории при наличии: работающих электрических розеток, компьютера, проектора, экрана, учебной доски.