


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:

Реакции с нейтронами и гамма-квантами

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, Лычагин Егор Валерьевич, 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 «Реакции с нейтронами и гамма-квантами»

Целью курса является изучение студентами практических и теоретических основ взаимодействия нейтронов и гамма-квантов с ядрами. В курсе рассматриваются основные типы ядерных реакций с нейтронами, нейтронная ядерная спектроскопия, нейтронно-активационный анализ, роль нейтронных реакций в астрофизике, источники фотонов для изучения фотоядерных реакций, гигантский дипольный резонанс, ядерная резонансная флюоресценция и применение фотоядерных реакций.

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 «Реакции с нейтронами и гамма-квантами» 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
МПК-2 Способен ставить, формализовать и решать задачи в области фундаментальной и прикладной ядерной физики	ИМПК-2.1 Способен ставить, формализовать и решать задачи в области фундаментальной и прикладной ядерной физики	Знать: основные типы и особенности реакций с нейтронами, а также виды и характеристики реакций с гамма-квантами. Уметь: описывать процессы в реакциях с нейтронами и гамма-квантами. Владеть: методами, применяемыми в экспериментальных исследованиях реакций с нейтронами и гамма-квантами, в том числе для анализа таких экспериментов.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. **Содержание дисциплины**

Тема 1. Введение в нейтронную ядерную физику.

Запись ядерной реакции. Законы сохранения в ядерных реакциях. Энергетический выход и порог реакции. Эффективное сечение, полные и дифференциальные сечения. Соотношение детального баланса. Наука «Нейтронная физика». История открытия нейтрона. Основные свойства нейтрона: масса, спин, магнитный и дипольный моменты. Бета-распад нейтрона. Длина волны и длина рассеяния нейтрона. Ультра-холодные нейтроны. Радиоизотопные нейтронные источники. Нейтронные источники на ускорителях заряженных частиц. Фото нейтронные источники на ускорителях электронов. Источники на ускорителях протонов с

энергией 1 ГэВ. Реакторы в качестве источников нейтронов. Международные нейтронные центры. Исследования в ЛНФ ОИЯИ.

Тема 2. Основные типы реакций с нейтронами.

Классификация нейтронов по их энергии. Формула Брейта-Вигнера для резонансных реакций. Радиационный захват нейтрона. Экзотермические реакции (n,p) и (n, α). Пороговые реакции на быстрых нейтронах. Резонансная реакция деления ядер нейтронами. Рассеяние тепловых нейтронов. Рассеяние резонансных нейтронов. Рассеяние быстрых нейтронов. Оптическая модель рассеяния. Потери энергии нейтронов при упругом рассеянии. Распространение нейтронов в среде. История открытия деления ядер. Баланс энергий в бинарном делении. Массовые и энергетические распределения осколков. Мгновенные и запаздывающие нейтроны деления. Барьер деления, промежуточная структура сечений.

Тема 3. Нейтронная ядерная спектроскопия.

Измерение параметров резонансов. Методика времени пролёта. Результаты для Γ_n и Γ_γ . Распределение интервалов между резонансами. Нейтронная силовая функция. Радиационная силовая функция.

Тема 4. Роль нейтронных реакций в астрофизике.

Ядерная астрофизика. Диаграмма Гертцшпрунга-Рассела. Распространенность элементов во Вселенной. Синтез легких элементов. Синтез тяжелых элементов, s-процесс. Синтез тяжелых элементов, r-процесс.

Тема 5. Нейтронно-активационный анализ.

История создания активационного анализа. Основное уравнение. Сечения активации тепловыми и быстрыми нейтронами. Технические средства. Пределы чувствительности.

Тема 6. Источники фотонов для изучения фотоядерных реакций.

Свойства фотонов. Фотоны радиоактивного распада ядер и ядерных реакций. Фотоны тормозного излучения электронов. Методы монохроматизации γ -излучения. Обратное комптоновское рассеяние. Синхротронное излучение как источник фотонов.

Тема 7. Гигантский дипольный резонанс.

Фоторасщепление дейтрона. Гигантский E1 резонанс в сечениях сферических ядер. Гигантский E1 резонанс деформированных ядер. Угловые распределения и спектры частиц. Аппроксимации зависимости сечения от энергии. Фото нейтронные сечения вблизи порога. Нестационарная теория возмущений. Разложение по мультиполям. Матричные элементы в длинноволновом приближении. Правило сумм Томаса-Райха-Куна для атомов. Эффективные заряды и правило сумм для ядер. Теоретические модели гигантского резонанса.

Тема 8. Ядерная резонансная флюоресценция.

Упругое рассеяние фотонов ядрами. Изучаемые характеристики уровней ядер: E0, J, B(E1), B(M1), ρ_1 . Радиационные силовые функции ниже порога фотопоглощения. Экзотические дипольные резонансы. Центры по исследованию ядерной резонансной флюоресценции.

Тема 9. Применение фотоядерных реакций.

Фотоядерный анализ состава вещества. История становления метода фотоядерного анализа, преимущества и ограничения метода, пороги определения элементов по фотонейтронам и по гамма-активности, анализ по изомерным состояниям ядер, приборное и техническое обеспечение, промышленные установки. Фотоядерные реакции в астрофизике p-процесс синтеза нейтроноизбыточных изотопов при звездных температурах.

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		
Реакции с нейтронами и гамма-квантами	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 «Реакции с нейтронами и гамма-квантами» 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					Само-стоя-тель-ная ра-бота	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации
		Всего часов	Лекции	Семинары	Учебно-практические занятия (лабораторные или практические занятия)	Само-стоя-тель-ная ра-бота		
1	Введение в нейтронную ядерную физику	7	2	2		3		
2	Основные типы реакций с нейтронами	7	2	2		3		
3	Нейтронная ядерная спектроскопия	7	2	2		3		

4	Роль нейтронных реакций в астрофизике	7	2	2		3	
5	Нейтронно-активационный анализ	8	2	2		4	
6	Источники фотонов для изучения фотоядерных реакций	8	2	2		4	
7	Гигантский дипольный резонанс	8	2	2		4	
8	Ядерная резонансная флюоресценция	8	2	2		4	
9	Применение фотоядерных реакций	8	1	1		4	
	Промежуточная аттестация	4				4	Зачет
ИТОГО:		72	17	17		38	

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

9. Текущий контроль и промежуточная аттестация.

Текущий контроль по дисциплине «Реакции с нейтронами и гамма-квантами» 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 «Реакции с нейтронами и гамма-квантами» 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	Перечень тем, изучаемых в рамках дисциплины

	аргументированного выражения собственной позиции.	
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 зачету
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 и особенности реакций с нейтронами, а также виды и характеристик и реакций с гамма-квантами	Отсутствие знаний основных типов и особенностей реакций с нейтронами, а также видов и характеристик реакций с гамма-квантами	В целом успешные, но не систематически знания основных типов и особенностей реакций с нейтронами, а также видов и характеристик реакций с гамма-квантами	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы знания основных типов и особенностей реакций с нейтронами, а также видов и характеристик реакций с гамма-квантами	Успешные и систематические знания основных типов и особенностей реакций с нейтронами, а также видов и характеристик реакций с гамма-квантами
УМЕТЬ: описывать процессы в реакциях с нейтронами и гамма-квантами	Отсутствие умения описывать процессы в реакциях с нейтронами и гамма-квантами	В целом успешное, но не систематическое умение описывать процессы в реакциях с нейтронами и гамма-квантами	В целом успешно е, но содержащее отдельные пробелы умение описывать процессы в реакциях с нейтронами и	Успешное и систематическое умение описывать процессы в реакциях с нейтронами и гамма-квантами

			гамма-квантами	
ВЛАДЕТЬ: методами, применяемыми в экспериментальных исследованиях реакций с нейтронами и гамма-квантами, в том числе для анализа таких экспериментов	Отсутствие/фрагментарное владение методами, применяемыми в экспериментальных исследованиях реакций с нейтронами и гамма-квантами, в том числе для анализа таких экспериментов	В целом успешное, но не систематическое владение методами, применяемыми в экспериментальных исследованиях реакций с нейтронами и гамма-квантами, в том числе для анализа таких экспериментов	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение методами, применяемыми в экспериментальных исследованиях реакций с нейтронами и гамма-квантами, в том числе для анализа таких экспериментов	Успешное и систематическое владение методами, применяемыми в экспериментальных исследованиях реакций с нейтронами и гамма-квантами, в том числе для анализа таких экспериментов

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

Задачи можно найти по адресу:

1. Особенности взаимодействия нейтронов разных энергий (какие реакции характерны для нейтронов каких энергий).
2. Деление ядер нейтронами.
3. Реакции, используемые для регистрации нейтронов.
4. Рассеяние тепловых и резонансных нейтронов.
5. Рассеяние быстрых нейтронов, оптическая модель.

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. Основные свойства нейтрона, особенности взаимодействия нейтрона с веществом.
2. Взаимодействие медленных нейтронов с веществом, ультрахолодные нейтроны.
3. Источники нейтронов (типы характеристики).
4. Особенности взаимодействия нейтронов разных энергий (какие реакции характерны для нейтронов каких энергий).

5. Деление ядер нейтронами.
6. Реакции, используемые для регистрации нейтронов.
7. Рассеяние тепловых и резонансных нейтронов.
8. Рассеяние быстрых нейтронов, оптическая модель.
9. Нейтрон-активационный анализ.
10. Распространенность элементов во вселенной, S и R процессы образования ядер.
11. Источники фотонов (типы, преимущества, недостатки).
12. ГДР, основные характеристики и зависимости
13. Длинноволновое приближение и его следствия (связь матричных элементов с моментами ядер, относительная вероятность переходов разной мультипольности).
14. Ядерная резонансная флюоресценция.

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

Основная литература

1. В.В. Федоров, Нейтронная физика, учебное пособие СПб.: Изд-во ПИЯФ, 2004. 334 стр.
2. К. Н. Мухин. «Курс теоретической физики. Книга 1. Часть 2. Ядерные взаимодействия.»
3. Мухин К. Н. Экспериментальная ядерная физика: Физика атомного ядра. Свойства нуклонов, ядер и радиоактивных излучений.
4. Н.А.Власов, Нейтроны, М.: Наука - 1971.
5. Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов. «Взаимодействие электромагнитного излучения с атомными ядрами.» М., Изд-во Моск. ун-та, 1979. 216 с 97 ил.

Дополнительная литература

1. Л.Д. Ландау, Е.М.Лифшиц, т.3 Квантовая механика, М. Наука - 1974
2. Дональд Дж. Юз «Нейтронные эффективные сечения» Изд. Иностранной литературы, Москва 1959
3. А.А.Лукьянов «Структура нейтронных сечений» Атомиздат, Москва 1978
4. А.Л.Барабанов «Симметрии и спин-угловые корреляции в реакциях и распадах» Москва Физматлит 2010

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.