

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 2022г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Наименование дисциплины:

Ядерные реакции с тяжелыми ионами

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 физико-математических наук, Карпов Александр Владимирович, 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 «Ядерные реакции с тяжелыми ионами»

Курс направлен на изучение основных процессов, происходящих при взаимодействии (столкновении) атомных ядер при низких энергиях, изучение экзотических состояний ядер и ядерной материи, синтез новых элементов и изотопов.

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 «Ядерные реакции с тяжелыми ионами» реализуется на 1-ом курсе в 1-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-1 Способен решать практические задачи профессиональной деятельности в области фундаментальной и прикладной ядерной физики на основе фундаментальных знаний	ИМПК-1.3 Умеет выполнять следующие операции в рамках решения задач профессиональной деятельности: модельные расчеты свойств атомных ядер и сечений ядерных реакций, моделирование экспериментальных установок, проведение измерений и анализ экспериментальных данных.	Знать: особенности реакций с тяжелыми ионами. Уметь: в общем описывать процессы и реакции с участием тяжелых ионов. Владеть: математическим и физическим аппаратом, необходимым для описания взаимодействий с тяжелыми ионами.

2. **Форма обучения:** очная.

3. **Язык обучения:** русский.

4. Содержание дисциплины

Тема 1. Введение.

Общие свойства ядер: энергия связи, размеры, деформация.

Тема 2. Взаимодействие ядер и общие закономерности ядерных реакций.

Нуклон-нуклонное и нуклон-ядерное взаимодействие, среднее поле ядра. Ядро-ядерное взаимодействие: фолдинг-потенциал, потенциал проксимити, феноменологические потенциалы. Ядерные реакции. Классификация по энергиям и основным механизмам. Постановка эксперимента по изучению ядерных реакций. Законы сохранения и кинематика ядерных реакций. Дифференциальные сечения ядерных реакций.

Тема 3. Упругое рассеяние нуклонов и тяжелых ионов.

Упругое рассеяние протонов и нейтронов атомными ядрами. Оптическая модель. Упругое рассеяние легких ионов. Применимость классической механики и траекторный анализ. Кулоновская и ядерная радуга, дифракционное рассеяние. Упругое рассеяние тяжелых ионов.

Тема 4. Квазиупругое рассеяние и реакции малонуклонных передач.

Прямые реакции малонуклонных передач. Метод искаженных волн для описания прямых процессов. Одночастичные и кластерные состояния в ядрах, спектроскопические факторы. Квазиупругое рассеяние нуклонов и тяжелых ионов. Изучение вибрационных и ротационных состояний ядер.

Тема 5. Глубоко неупругое рассеяние ядер.

Экспериментальные закономерности глубоко неупругого рассеяния ядер. Описание процессов глубоко неупругого рассеяния ядер. Многомерная поверхность потенциальной энергии тяжелой ядерной системы. Диабатический и адиабатический драйвинг-потенциал. Транспортные уравнения, используемые для описания глубоко неупругих столкновений атомных ядер, ядерные силы трения. Анализ закономерностей глубоко неупругого рассеяния с помощью многомерных уравнений Ланжевена. Перспективы использования реакций глубоко неупругих передач для получения новых изотопов и элементов.

Тема 6. Реакции слияния атомных ядер.

Слияние ядер при надбарьерных энергиях. Статистическая модель распада возбужденного составного ядра. Регистрация осколков деления и продуктов испарения составного ядра. Подбарьерное слияние ядер. Модель одномерного барьера, формула Хилла-Уиллера. Связь каналов, эмпирическое и квантовое описание процесса слияния. Функция распределения по барьерам. Роль нуклонных передач в процессах подбарьерного слияния. Слияние легких нейтронно-избыточных ядер. Синтез сверхтяжелых ядер в реакциях слияния. Процессы квази-деления.

Тема 7. Фрагментация ядер.

Процессы развала легких ионов. Реакции фрагментации ядер при промежуточных энергиях. Образование предравновесных легких частиц.

Тема 8. Реакции с участием радиоактивных ядер.

Карта ядер и границы ядерной стабильности. Экзотические свойства слабосвязанных ядер, нейтронное гало. Получение ядер вблизи границы ядерной стабильности, масс-сепараторы. Получение ускоренных пучков радиоактивных ядер. Упругое рассеяние и спектроскопия экзотических ядер. Фрагментация слабосвязанных ядер. Околобарьерное слияние слабосвязанных ядер.

7. Объем дисциплины

НАЗВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	Трудоемкость в зачетных единицах	объем учебной нагрузки в ак. часах				
		Общая трудоемкость	в том числе ауд. занятий			Самостоятельная работа студентов
			Общая аудиторная нагрузка	Лекций	Семинаров	

Ядерные реакции с тяжелыми ионами	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 «Ядерные реакции с тяжелыми ионами» 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 ег о ча со в	Л ек ц и и	Се м ин ар ы	Учебно-практические занятия (лабораторные или практические занятия)			
1	Введение	8	2	2		4		
2	Взаимодействие ядер и общие закономерности ядерных реакций	8	2	2		4		
3	Упругое рассеяние нуклонов и тяжелых ионов	8	2	2		4	КР	
4	Квазиупругое рассеяние и реакции малонуклонных передач	8	2	2		4		
5	Глубоко неупругое рассеяние ядер	8	2	2		4		
6	Реакции слияния атомных ядер	8	2	2		4		
7	Фрагментация ядер	8	2	2		4		
8	Реакции с участием радиоактивных ядер	12	4	4		4	КР	
	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 «Ядерные реакции с тяжелыми ионами» 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 «Ядерные реакции с тяжелыми ионами» проводится в первом 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
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	Требования к

	экспертную оценку знаний, умений и навыков по для оценивания и анализа различных фактов и явлений в своей профессиональной области.	порядку проведения собеседования
--	---	----------------------------------

11. Шкала оценивания.

Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения			
	2/ не зачтено	3/ Зачтено	4/ зачтено	5/ зачтено
ЗНАТЬ: особенности реакций с тяжелыми ионами	Отсутствие знаний особенностей реакций с тяжелыми ионами	В целом успешные, но не систематически знания особенностей реакций с тяжелыми ионами	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы знания особенностей реакций с тяжелыми ионами	Успешные и систематические знания особенностей реакций с тяжелыми ионами
УМЕТЬ: в общем описывать процессы и реакции с участием тяжелых ионов	Отсутствие умения в общем описывать процессы и реакции с участием тяжелых ионов	В целом успешное, но не систематическое умение в общем описывать процессы и реакции с участием тяжелых ионов	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы умение в общем описывать процессы и реакции с участием тяжелых ионов	Успешное и систематическое умение в общем описывать процессы и реакции с участием тяжелых ионов
ВЛАДЕТЬ: математически и физическим аппаратом, необходимым для описания взаимодействий с тяжелыми ионами	Отсутствие/фрагментарное владение математически и физическим аппаратом, необходимым для описания взаимодействий с тяжелыми ионами	В целом успешное, но не систематическое владение математически и физическим аппаратом, необходимым для описания взаимодействий с тяжелыми ионами	В целом успешно, но содержащее отдельные пробелы владение математически и физическим аппаратом, необходимым для описания взаимодействий с тяжелыми ионами	Успешное и систематическое владение математическим и физическим аппаратом, необходимым для описания взаимодействий с тяжелыми ионами

			й с тяжелыми ионами	
--	--	--	---------------------	--

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

Материалы текущего контроля успеваемости обучающихся

В семестре проводятся 2 контрольные работы. При подготовке к контрольной работе рекомендуется внимательно проанализировать условия и определить типы задач, сопоставив их с аналогичными задачами, выполненными на практическом занятии. Также, следует использовать в качестве образца аналогичные примеры, разобранные в соответствующих разделах задачника и учебника.

Контрольные работы

№	Тема работы	неделя
КР1	Контрольная работа по теме «Упругое рассеяние нуклонов и тяжелых ионов»	6
КР2	Контрольная работа по теме «Реакции с участием радиоактивных ядер»:	17

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

Список вопросов для подготовки к семинарам

1. Общие свойства ядер: энергия связи, размеры, деформация
2. Нуклон-нуклонное и нуклон-ядерное взаимодействие, среднее поле ядра
3. Ядро-ядерное взаимодействие: фолдинг-потенциал, потенциал проксимити, феноменологические потенциалы
4. Ядерные реакции. Классификация по энергиям и основным механизмам.
5. Постановка эксперимента по изучению ядерных реакций
6. Законы сохранения и кинематика ядерных реакций
7. Дифференциальные сечения ядерных реакций
8. Упругое рассеяние протонов и нейтронов атомными ядрами
9. Оптическая модель
10. Упругое рассеяние легких ионов
11. Применимость классической механики и траекторный анализ
12. Кулоновская и ядерная радуга, дифракционное рассеяние
13. Упругое рассеяние тяжелых ионов
14. Прямые реакции малонуклонных передач
15. Метод искаженных волн для описания прямых процессов
16. Одночастичные и кластерные состояния в ядрах, спектроскопические факторы
17. Квазиупругое рассеяние нуклонов и тяжелых ионов
18. Изучение вибрационных и ротационных состояний ядер
19. Экспериментальные закономерности глубоко неупругого рассеяния ядер

20. Описание процессов глубоко неупругого рассеяния ядер
21. Слияние ядер при надбарьерных энергиях
22. Слияние легких нейтронно-избыточных ядер
23. Синтез сверхтяжелых ядер в реакциях слияния
24. Процессы развала легких ионов
25. Экзотические свойства слабосвязанных ядер, нейтронное гало
26. Упругое рассеяние и спектроскопия экзотических ядер
27. Фрагментация слабосвязанных ядер

Экзамен проводится в письменной форме с последующим собеседованием.

Материалы промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену:

1. Нуклон-нуклонное и нуклон-ядерное взаимодействие, среднее поле ядра
2. Ядро-ядерное взаимодействие: фолдинг-потенциал, потенциал протоксими, феноменологические потенциалы
3. Ядерные реакции. Классификация по энергиям и основным механизмам.
4. Постановка эксперимента по изучению ядерных реакций
5. Законы сохранения и кинематика ядерных реакций
6. Дифференциальные сечения ядерных реакций
7. Упругое рассеяние протонов и нейтронов атомными ядрами
8. Оптическая модель
9. Упругое рассеяние легких ионов
10. Применимость классической механики и траекторный анализ
11. Кулоновская и ядерная радуга, дифракционное рассеяние
12. Упругое рассеяние тяжелых ионов
13. Прямые реакции малонуклонных передач
14. Метод искаженных волн для описания прямых процессов
15. Одночастичные и кластерные состояния в ядрах, спектроскопические факторы
16. Квазиупругое рассеяние нуклонов и тяжелых ионов
17. Изучение вибрационных и ротационных состояний ядер
18. Экспериментальные закономерности глубоко неупругого рассеяния ядер
19. Описание процессов глубоко неупругого рассеяния ядер
20. Многомерная поверхность потенциальной энергии тяжелой ядерной системы
21. Диабатический и адиабатический драйвинг-потенциал

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

Основная литература

1. Ишханов Б.С. Частицы и атомные ядра: Учебник для вузов / Ишханов Борис Саркисович, Капитонов Игорь Михайлович, Юдин Николай Прокофьевич. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Издательство ЛКИ, 2007. - 584с.
2. Деникин А.С. Квантовая теория рассеяния атомных ядер / Деникин А.С. - Дубна: Государственный университет "Дубна", 2017. - 196с.

Дополнительная литература

1. Загребав В.И. Ядерные реакции с тяжелыми ионами: Учебное пособие / Загребав Валерий Иванович, уч. изд. Издательство ОИЯИ, 2015. -184с.

2. Легар Ф. Феноменология и анализ данных по рассеянию нуклонов / Легар Франтишек, Строковский Евгений Афанасьевич; МГУ им. М.В. Ломоносова; Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельницына. - М.: Университетская книга, 2010. - 210с.
3. Строковский Е.А. Лекции по основам кинематики элементарных процессов / Строковский Евгений Афанасьевич; МГУ им. М.В. Ломоносова; Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельницына. - М.: Университетская книга, 2010. - 298с.

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
Электронно-библиотечные системы и базы данных

- ЭБС Университетская библиотека онлайн
- ЭБС Znanium.com
- Национальная электронная библиотека
- Электронная библиотека диссертаций РГБ
- Elibrary.ru. Научная электронная библиотека (РУНЭБ)

Научные поисковые системы

- Google Scholar
- ArXiv.org
- Math-Net.Ru

Профессиональные ресурсы сети «Интернет»

- <http://jinr.ru> –Объединенный институт ядерных исследований

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.