

**Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования Московской области
«Международный университет природы, общества и человека «Дубна»
(университет «Дубна»)**

Факультет естественных и инженерных наук

Кафедра «Ядерная физика»

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ

ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

направления 010700.68 «Физика»

Магистерская программа «Физика ядра и элементарных частиц»

Дубна, 2011 г.

УМК разработан (ученая степень, ученое звание, фамилия, имя, отчество разработчиков)
профессор кафедры «Ядерная физика», д.ф.-м.н. Загребаяев В.И.

Протокол заседания кафедры «Ядерная физика»

№ _____ от « ____ » _____ 201__ г.

Заведующий кафедрой _____ /Оганесян Ю.Ц./
(подпись)

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета _____ /Деникин А.С. /
(подпись)

« ____ » _____ 201__ г.

Проректор по учебной работе _____ /Моржухина С.В. /
(подпись)

« ____ » _____ 201__ г.

СОДЕРЖАНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	4
ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ	8
1. Выписка из ГОС ВПО	10
2. Аннотация	10
3. Цели и задачи дисциплины.....	10
4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.....	11
5. Объем дисциплины и виды учебной работы.....	11
6. Разделы дисциплины, виды и объем занятий	11
7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины	13
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины	14
9. Формы контроля и оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.....	14
Учебно-методические материалы	16
1. Учебно-методические материалы для студентов:.....	16
2. Методические рекомендации для преподавателей:.....	17
Материалы, устанавливающие содержание и порядок проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	19
1. Пример Билета для проведения экзамена:	19

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Целью курса «Ядерные реакции с тяжелыми ионами» является изучение студентами основных процессов, происходящих при взаимодействии (столкновении) атомных ядер при низких энергиях. Низкоэнергетические ядерные реакции являются основным инструментом исследования свойств атомных ядер и ядерной динамики, получения и изучения экзотических состояний ядер и ядерной материи, синтеза новых элементов и изотопов.

При разработке учебно-методического комплекса «Ядерные реакции с тяжелыми ионами» особое внимание уделялось тому, чтобы ее содержание было ориентировано на изложение материала с учетом современного состояния предмета, а также с использованием современных компьютерных и Интернет технологий при организации учебного процесса и самостоятельной работы студентов.

Курс «Ядерные реакции с тяжелыми ионами» является необходимой составляющей для написания магистерской диссертации.

Международный университет природы, общества и человека «Дубна»
УЧЕБНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ (КАЛЕНДАРНЫЙ) ПЛАН ДИСЦИПЛИНЫ

Учебно-методическая карта дисциплины «Ядерные реакции с тяжелыми ионами»

Кафедра «Ядерная физика»,

направление 010700 «Физика» Магистерская программа «Физика ядра и элементарных частиц», курс 5 семестр 9, 2011/2012 учебного года

Утверждаю:

проректор Моржухина С.В,
 «___» _____ 2011 г.

Виды и содержание учебных занятий											Самостоятельная работа студентов			
Номер и дата недели	Лекции (....2.... час в неделю)*						Практические занятия (2 час в неделю)	Лабораторные работы (__ час. в неделю)		Вид задания	Содержание	часы	форма контроля	
	В аудитории			Самостоятельное изучение				№	название					
	Дата лекции	час	Содержание	Исп. ТСО	Содержание и раздел учебника (глава, параграф)	Форма контроля								
1 нед		2	Нуклон-нуклонное и нуклон-ядерное взаимодействие, среднее поле ядра. Ядро-ядерное взаимодействие: фолдинг-потенциал, потенциал проксимити, феноменологические потенциалы	КП	[6] Материалы лекций. [1] Глава 6. § 8 [2] Глава 1,2,9,14. [3] Глава 7. [5] Глава 5.	Контроль-ный опрос (КО)			А	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	2			
2 нед		2	Ядерные реакции. Классификация по энергиям и основным механизмам. Постановка эксперимента по изучению ядерных реакций	КП	[6] Материалы лекций. [1] Глава 9. § 1-4. [2] Глава 9,10,11. [4] Глава 2,3. [5] Глава 4.	КО			А	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	2			
3 нед		2	Законы сохранения и кинематика ядерных реакций. Дифференциальные сечения ядерных реакций	КП	[6] Материалы лекций. [1] Глава 9. § 2,8. [2] Глава 5. [4] Глава 8. [3] Глава 3. [5] Глава 4.	КО			А	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	2			
4 нед		2	Упругое рассеяние протонов и нейтронов атомными ядрами. Оптическая модель. Упругое рассеяние легких ионов	КП	[6] Материалы лекций. [1] Глава 9. § 8. [2] Глава 6, § 40, 9 § 62.	КО			А	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	2			
5 нед		2	Применимость классической механики и траекторный анализ Кулоновская и ядерная радуга, дифракционное рассеяние Упругое рассеяние тяжелых ионов	КП	[6] Материалы лекций. [2] Глава 11.	КО			А	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	2			
6 нед		2	Прямые реакции малонуклонных передач. Метод искаженных волн для описания прямых процессов.	КП	[6] Материалы лекций. [1] Глава 9. § 8,9. [2] Глава 10.	КО			А	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	2			
7 нед		2	Одночастичные и кластерные состояния в ядрах, спектроскопические факторы. Квазиупругое рассеяние нуклонов и тяжелых ионов. Изучение вибрационных и ротационных состояний ядер	КП	[6] Материалы лекций. [1] Глава 6. § 9,10. Глава 7. § 12. [2] Глава 11. [5] Глава 3.	КО			А	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	2			
8 нед		2	Экспериментальные закономерности глубоко неупругого рассеяния ядер. Описание процессов глубоко неупругого рассеяния ядер.	КП	[6] Материалы лекций. [1] Глава 9. § 4-7. [2] Глава 11.	КО			А	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	2			
9 нед		2	Многомерная поверхность	КП	[6] Материалы лекций.	КО			А	Повторение материалов лекций.	2			

			потенциальной энергии тяжелой ядерной системы. Диабатический и адиабатический драйвинг-потенциал.				упругому рассеянию легких атомных ядер при низких энергиях				Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].		
10 нед		2	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	КП	[6] Материалы лекций. [1] Глава 6. § 12.	КО	Анализ экспериментальных данных по упругому рассеянию тяжелых ионов низких энергий			A	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	2	
11 нед		2	Слияние ядер при надбарьерных энергиях. Статистическая модель распада возбужденного составного ядра. Регистрация осколков деления и продуктов испарения составного ядра. Подбарьерное слияние ядер	КП	[6] Материалы лекций. [2] Глава 11, § 72.	КО	Анализ экспериментальных данных по неупругому рассеянию тяжелых ионов низких энергий			A	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	1	
12 нед		2	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	КП	[6] Материалы лекций. [2] Глава 11, § 72.	КО	Анализ экспериментальных данных по неупругому рассеянию тяжелых ионов низких энергий			A	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	1	
13 нед		2	Слияние легких нейтроноизбыточных ядер. Синтез сверхтяжелых ядер в реакциях слияния. Процессы квазиделения	КП	[6] Материалы лекций. [1] Глава 6. § 12.	КО	Анализ экспериментальных данных по реакции малонуклонных передач при столкновении тяжелых ионов низких энергий			A	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	1	
14 нед		2	Процессы развала легких ионов. Реакции фрагментации ядер при промежуточных энергиях. Образование предравновесных легких частиц	КП	[6] Материалы лекций. [2] Глава 10.	КО	Анализ экспериментальных данных по реакции малонуклонных передач при столкновении тяжелых ионов низких энергий			A	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	1	
15 нед		2	Карта ядер и границы ядерной стабильности. Экзотические свойства слабосвязанных ядер, нейтронное гало.	КП	[6] Материалы лекций. [1] Глава 6. § 11,13.	КО	Анализ экспериментальных данных по слиянию атомных ядер: модель проницаемости одномерного барьера			A	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	1	
16 нед		2	Получение ядер вблизи границы ядерной стабильности, масс-сепараторы. Получение ускоренных пучков радиоактивных ядер.	КП	[6] Материалы лекций.	КО	Анализ экспериментальных данных по слиянию атомных ядер: связь каналов, проницаемость многомерного барьера, функция распределения по барьерам			A	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	1	
17 нед		2	Упругое рассеяние и спектроскопия экзотических ядер. Фрагментация слабосвязанных ядер	КП	[6] Материалы лекций.	КО	Анализ экспериментальных данных по слиянию атомных ядер: эмпирическая модель слияния атомных ядер			A	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].	1	
18 нед.		2	Окологбарьерное слияние слабосвязанных ядер	КП	[6] Материалы лекций. [2] Глава 11, § 72.	КО	Анализ экспериментальных данных по слиянию атомных ядер: модель сильной связи каналов			A	Повторение материалов лекций. Решение индивидуальных заданий по практическим занятиям с	1	

											использованием возможностей ядерно-физической базы знаний [7].		
											АЛ	Всего	28
											КТП	Всего	

Сокращения: А - задание к практическим занятиям; Л - задание к лабораторным занятиям; К - контрольные задания; Т - типовой расчет; П - курсовой проект;

Учебная литература

№	Название, автор, год издания	Примечания
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	Мухин К.Н. Экспериментальная ядерная физика: Учебник: В 3 т. Т.2: Физика ядерных реакций / Мухин Константин Никифорович. - 6-е изд., испр. и доп. - СПб.: Лань, 2008. - 336с.	
3	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.	
4	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.	
5	Широков Ю.М. Ядерная физика: Учебное пособие для студентов физических специальностей вузов / Широков Юрий Михайлович, Юдин Николай Прокофьевич. - 2-е изд., перераб. - М.: Наука, 1980. - 728с.	
6	В.И. Загребаев, Ядерные реакции с тяжелыми ионами. Курс лекций, 2009, http://nrv.jinr.ru/Yad_Reakcii_lekcii.pdf	
7	V. Zagrebaev et al., NRV: Low energy nuclear knowledge base, http://nrv.jinr.ru/nrv .	

Дата _____ Лектор _____ /Загребаев В.И./

Утверждаю

Практ. занятия _____ /Загребаев В.И./

зав. кафедрой _____ /Оганесян Ю.Ц./

Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования Московской области
**МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРИРОДЫ, ОБЩЕСТВА
И ЧЕЛОВЕКА «ДУБНА»**
(университет «Дубна»)

Факультет естественных и инженерных наук

Кафедра «Ядерная физика»

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

_____ С. В. Моржухина

« ____ » _____ 20__ г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Ядерные реакции с тяжелыми ионами»

направления 010700.68 Физика

Магистерская программа «Физика ядра и элементарных частиц»

Форма обучения: очная

Уровень подготовки: *магистр*

Курс (семестр): 5(9)

г. Дубна, 2011 г.

Программа дисциплины «Ядерные реакции с тяжелыми ионами» по направлению «Физика»: Учебная программа. Автор: – Дубна: Университет «Дубна», 2011.

Автор программы:

д.ф.-м.н. Загребаяев В.И., профессор кафедры «Ядерная физика»

(подпись)

Программа составлена в соответствии с Государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования и учебным планом по направлению подготовки 010700.68 Физика.

Программа рассмотрена на заседании кафедры «Ядерная физика»

Протокол заседания № _____ от «____» _____ 201__ г.

Заведующий кафедрой _____ /Оганесян Ю.Ц./

Рецензент:

(Фамилия, имя, отчество)

(ученая степень, звание)

(должность, кафедра или иное подразделение, организация)

ОДОБРЕНО декан факультета _____ /Деникин А.С./

«____» _____ 201__ г.

Руководитель библиотечной системы _____ /В.Г. Черепанова/

1. Выписка из ГОС ВПО

Дисциплина «Ядерные реакции с тяжелыми ионами» входит в блок специальных дисциплин по выбору студента, предусмотренный государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования в рамках Основной образовательной программы по направлению подготовки магистров 510400 «Физика», магистерская программа 510401 «Физика ядра и элементарных частиц», утвержденному МО РФ пр. № 177 ен/маг от 17.03.2000 г.

2. Аннотация

2.1. Место курса в профессиональной подготовке и требования к уровню подготовки студентов

Для изучения курса «Ядерные реакции с тяжелыми ионами» студент должен обладать знаниями, полученными при изучении общих курсов «Ядерной физики» и «Квантовой механики», а также спецкурсы «Теория рассеяния» и «Детекторы ядерных излучений».

Материалы курса является важной составляющей при работе над подготовкой магистерской диссертации.

2.2. Формы работы студентов

В ходе изучения дисциплины предусмотрены семинарские занятия, выполнение домашних работ. Отдельные темы теоретического курса прорабатываются студентами самостоятельно в соответствии с планом самостоятельной работы и конкретными заданиями преподавателя с учетом индивидуальных особенностей студентов.

Преподавание данной дисциплины предусматривает активное использование следующих методов обучения: мультимедийных презентаций по темам лекций и практических занятий; в т.ч. инновационных методов: ознакомлением с действующими установками ОИЯИ, использованием образовательных Интернет-ресурсов.

Самостоятельная работа студентов, предусмотренная учебным планом, выполняется в ходе семестра в форме подготовки к семинарским занятиям, выполнения домашних работ.

Перечень обязательных видов работы студента:

- посещение лекционных занятий;
- ответы на теоретические вопросы на семинаре;
- решение практических задач и заданий на семинаре;
- выполнение контрольных работ;
- выполнение домашних работ;
- выполнение домашних практических работ;

2.3. Форма текущего и итогового контроля

Текущий контроль заключается в проверке домашнего задания.

Промежуточный контроль проводится с целью определения качества усвоения пройденного лекционного материала. Наиболее эффективным является его проведение в письменной форме – по контрольным вопросам, тестам, и т.п. Контроль проводится в виде сдачи всеми без исключения студентами контрольных заданий – задач во время проведения практических занятий (проводится в сроки установленные календарным планом).

В ходе изучения дисциплины студенты выполняют контрольные работы, сдают зачет по теоретической и по практической части и лабораторным работам, экзамен.

3. Цели и задачи дисциплины

Целью курса «Ядерные реакции с тяжелыми ионами» является изучение студентами основных процессов, происходящих при взаимодействии (столкновении) атомных

ядер при низких энергиях. Низкоэнергетические ядерные реакции являются основным инструментом исследования свойств атомных ядер и ядерной динамики, получения и изучения экзотических состояний ядер и ядерной материи, синтеза новых элементов и изотопов.

В ходе данного курса студент должен получить четкое представление о ядро-ядерном взаимодействии и основных закономерностях ядерных реакций. Изучение различных механизмов ядерных реакций предполагает освоение экспериментальных методов измерения сечений различных процессов, анализ имеющихся экспериментальных данных и знакомство с современными моделями ядерной динамики, используемыми для их описания. В рамках данного курса предусматривается изучение особенностей упругого и неупругого рассеяния нуклонов и тяжелых ионов на атомных ядрах, процессов малонуклонных передач и фрагментации, глубоко неупругого рассеяния и слияния, реакций с участием радиоактивных ядер.

4. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.

Студенты, изучившие дисциплину «Ядерные реакции с тяжелыми ионами», должны

знать:

уметь:

5. Объём дисциплины и виды учебной работы¹

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		9	
Общая трудоёмкость	96	96	
Аудиторные занятия:	68	68	
Лекции	34	34	
Практические занятия (ПЗ)	34	34	
Семинары			
Лабораторные работы (ЛР)			
Самостоятельная работа:	28	28	
Контрольные работы			
Реферат			
Курсовая работа			
Промежуточная аттестация		экзамен	

6. Разделы дисциплины, виды и объем занятий²

№ п.п.	Раздел дисциплины	Лекции	ПЗ(С)	ЛР	СР
1	Введение	2			1
2	Взаимодействие ядер и общие закономерности ядерных реакций	6	10		5
3	Упругое рассеяние нуклонов и тяжелых ионов	4	10		4
4	Квазиупругое рассеяние и реакции малонуклонных передач	4	7		4
5	Глубоко неупругое рассеяние ядер	4			3
6	Реакции слияния атомных ядер	6	7		3
7	Фрагментация ядер	4			3
8	Реакции с участием радиоактивных ядер	4			5

¹ Объем часов на каждый вид учебной работы должен обязательно быть согласован с учебным планом по данной специальности.

² Для дисциплин федерального компонента (см. ГОС ВПО) разделы дисциплин и/или их содержание должны включать полное описание дисциплины, данной в ГОС ВПО.

Содержание разделов дисциплины.

1. Введение

Общие свойства ядер: энергия связи, размеры, деформация

2. Взаимодействие ядер и общие закономерности ядерных реакций

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

3. Упругое рассеяние нуклонов и тяжелых ионов

- 3.1 Упругое рассеяние протонов и нейтронов атомными ядрами
- 3.2 Оптическая модель
- 3.3 Упругое рассеяние легких ионов
- 3.4 Применимость классической механики и траекторный анализ
- 3.5 Кулоновская и ядерная радуга, дифракционное рассеяние
- 3.6 Упругое рассеяние тяжелых ионов

4. Квазиупругое рассеяние и реакции малонуклонных передач

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

5. Глубоко неупругое рассеяние ядер

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

6. Реакции слияния атомных ядер

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

7. Фрагментация ядер

- 7.1 Процессы развала легких ионов
- 7.2 Реакции фрагментации ядер при промежуточных энергиях
- 7.3 Образование предравновесных легких частиц

8. Реакции с участием радиоактивных ядер

- 8.1 Карта ядер и границы ядерной стабильности
- 8.2 Экзотические свойства слабосвязанных ядер, нейтронное гало
- 8.3 Получение ядер вблизи границы ядерной стабильности, масс-сепараторы
- 8.4 Получение ускоренных пучков радиоактивных ядер
- 8.5 Упругое рассеяние и спектроскопия экзотических ядер
- 8.6 Фрагментация слабосвязанных ядер
- 8.7 Околобарьерное слияние слабосвязанных ядер

Практические занятия (семинары).

№ п.п.	№ раздела дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)
1	2	Анализ свойств потенциала взаимодействия атомных ядер на примере расчета фолдинг-потенциала: зависимость от межъядерного расстояния
2	2	Анализ свойств потенциала взаимодействия атомных ядер на примере расчета фолдинг-потенциала: зависимость от взаимной ориентации деформированных ядер
3	2	Анализ свойств потенциала взаимодействия атомных ядер на примере расчета фолдинг-потенциала: зависимость от динамической деформации ядер
4	2	Пороги ядерных реакций. Энергетический баланс ядерной реакции.
5	2	Двух и трехтельная кинематика ядерных реакций.
6	3	Анализ экспериментальных данных по упругому рассеянию нуклонов низких энергий
7	3	Анализ экспериментальных данных по упругому рассеянию нуклонов промежуточных и высоких энергий (борновское приближение)
8	3	Анализ экспериментальных данных по упругому рассеянию легких атомных ядер при низких энергиях
9	3	Анализ экспериментальных данных по упругому рассеянию тяжелых ионов низких энергий
10	4	Анализ экспериментальных данных по неупругому рассеянию тяжелых ионов низких энергий
11	4	Анализ экспериментальных данных по реакции малонуклонных передач при столкновении тяжелых ионов низких энергий
12	6	Анализ экспериментальных данных по слиянию атомных ядер: модель проницаемости одномерного барьера
13	6	Анализ экспериментальных данных по слиянию атомных ядер: связь каналов, проницаемость многомерного барьера, функция распределения по барьерам
14	6	Анализ экспериментальных данных по слиянию атомных ядер: эмпирическая модель слияния атомных ядер
15	6	Анализ экспериментальных данных по слиянию атомных ядер: модель сильной связи каналов

Лабораторный практикум учебным планом не предусмотрен.

7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

7.1. Основная литература³

³ Список основной литературы должен включать только источники, имеющиеся в наличии в библиотечной системе университета и удовлетворяющие предъявляемым требованиям. Необходимо согласование с руководителем библиотечной системы.

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. **Мухин К.Н.** Экспериментальная ядерная физика: Учебник: В 3 т. Т.2: Физика ядерных реакций / Мухин Константин Никифорович. - 6-е изд., испр. и доп. - СПб.: Лань, 2008. - 336с.

7.2 Дополнительная литература

1. **Оганесян Ю.Ц.** Острова стабильности / Оганесян Юрий Цолакович // В мире науки. - 2005. - № 3. - С. 67 - 77
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.
4. **Окунев В.С.** Основы прикладной ядерной физики и введение в физику ядерных реакторов: Учебное пособие для вузов / Окунев Вячеслав Сергеевич; Под ред. В.И. Солонина. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. - 462с.
5. **Широков Ю.М.** Ядерная физика: Учебное пособие для студентов физических специальностей вузов / Широков Юрий Михайлович, Юдин Николай Прокофьевич. - 2-е изд., перераб. - М.: Наука, 1980. - 728с.
6. **Балдин А.М.** Кинематика ядерных реакций / Балдин Александр Михайлович, Гольданский В.И., Розенталь И.Л. - М.: Физматлит, 1959. - 296с.

7.3 Периодические издания и Интернет-ресурсы

1. **Ядерная физика** / Учредитель: РАН; Гл.ред. Ю.Г. Абов. - М.: Наука
2. В.И. Загребаев, Ядерные реакции с тяжелыми ионами. Курс лекций, 2009, http://nr.v.jinr.ru/Yad_Reakcii_lekcii.pdf
3. V. Zagrebaev et al., NRV: Low energy nuclear knowledge base, <http://nr.v.jinr.ru/nrv>.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Мультимедийный проектор.
2. Плакаты, компьютерные презентации, наглядные пособия.
3. Компьютерный кабинет оборудованный доступом к Интернет.

9. Формы контроля и оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины⁴

Вопросы, выносимые на экзамен (9 семестр):

1. Нуклон-нуклонное и нуклон-ядерное взаимодействие, среднее поле ядра
2. Ядро-ядерное взаимодействие: фолдинг-потенциал, потенциал проксимити, 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

⁴ Описывать следует только те формы контроля, которые предусмотрены программой дисциплины

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. Адиабатический и адиабатический драйвинг-потенциал
22. Транспортные уравнения, используемые для описания глубоко неупругих столкновений атомных ядер, ядерные силы трения
23. Анализ закономерностей глубоко неупругого рассеяния с помощью многомерных уравнений Ланжевена
24. Перспективы использования реакций глубоко неупругих передач для получения новых изотопов и элементов
25. Слияние ядер при надбарьерных энергиях
26. Статистическая модель распада возбужденного составного ядра.
27. Регистрация осколков деления и продуктов испарения составного ядра
28. Подбарьерное слияние ядер
29. Модель одномерного барьера, формула Хилла-Уиллера
30. Связь каналов, эмпирическое и квантовое описание процесса слияния
31. Функция распределения по барьерам
32. Роль нуклонных передач в процессах подбарьерного слияния
33. Слияние легких нейтронно-избыточных ядер
34. Синтез сверхтяжелых ядер в реакциях слияния
35. Процессы квази-деления
36. Процессы развала легких ионов
37. Реакции фрагментации ядер при промежуточных энергиях
38. Образование предравновесных легких частиц
39. Карта ядер и границы ядерной стабильности
40. Экзотические свойства слабосвязанных ядер, нейтронное гало
41. Получение ядер вблизи границы ядерной стабильности, масс-сепараторы
42. Получение ускоренных пучков радиоактивных ядер
43. Упругое рассеяние и спектроскопия экзотических ядер
44. Фрагментация слабосвязанных ядер
45. Околобарьерное слияние слабосвязанных ядер

Учебно-методические материалы

1. Учебно-методические материалы для студентов:

Прежде всего студент должен приучить себя к мысли о необходимости скорейшего освоения англо-язычной ядерной терминологии, поскольку обширная часть литературы по данному курсу (как, впрочем, и по другим спецкурсам) и ядерные базы данных написаны на английском языке. При выполнении курсовых работ студенту необходимо не только освоить применение современных теоретических моделей и программного обеспечения для анализа конкретных экспериментальных данных, но и научиться самостоятельному поиску (в литературе и ядерных базах данных) требуемой для такого анализа дополнительной информации о свойствах ядер, участвующих в реакции (энергии связи, спины, возбужденные состояния и их свойства и т.п.), а также научиться проводить простейший кинематический анализ ядерных реакций.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов:

Рабочей программой настоящей дисциплины предусмотрена самостоятельная работа студентов. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- подготовку к практическим занятиям;
- работу с Интернет-источниками;
- подготовку к сдаче коллоквиумов, выполнению тестовых заданий и сдаче зачетов и экзаменов.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей настоящей программе дисциплины. По каждой из тем для самостоятельного изучения, приведенных в рабочей программе дисциплины следует сначала прочитать рекомендованную литературу и при необходимости составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме и для освоения последующих разделов курса.

Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах, сайтах и обучающих программ, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

Правила выполнения и оформления домашних работ:

В процессе самостоятельного изучения курса прикладной механики каждый студент должен выполнить домашние работы с защитой у преподавателя. Эти работы позволяют определить степень усвоения студентом учебного материала и предусматривают:

1. Самостоятельную работу с учебной литературой.
2. Решение задач на закрепление материала по различным разделам курса.

При выполнении работ студент должен придерживаться следующих требований:

1. Работу рекомендуется выполнять в отдельной тетради. На титульном листе указать номер группы, Ф.И.О. студента.

2. В начале поставить дату, тему работы. Перед изложением ответа необходимо написать полный текст вопроса. Для возможных замечаний преподавателя нужно оставить поля.

3. Работа должна быть выполнена аккуратно, почерк не должен вызывать затруднений при прочтении работы.

4. При оформлении задач необходимо написать краткое условие задачи, уравнение реакции, лежащие в основе того или иного процесса, расставить коэффициенты. Каждое действие необходимо пронумеровать и дать ему формулировку, выделить ответ.

Преподаватель оценивает работу по рейтинговой системе. Если студент получил неудовлетворительную оценку, то работа возвращается студенту для исправления и доработки, после чего снова должна быть представлена на проверку.

Студенты, не выполнившие домашние, проверочные и лабораторные работы, не допускаются к зачетной и экзаменационной сессии.

2. Методические рекомендации для преподавателей:

Одной из задач преподавателей, ведущих занятия по настоящему курсу является выработка у студентов осознания важности, необходимости и полезности знания дисциплины для дальнейшей профессиональной деятельности. Методическая модель преподавания дисциплины основана на применении активных методов обучения.

Принципами организации учебного процесса являются:

- активное участие студентов в учебном процессе;
- проведение практических занятий, определяющих приобретение навыков решения проблемы;
- приведение примеров применения изучаемого теоретического материала к реальным практическим ситуациям.

Применяемые методы преподавания: лекционные занятия с использованием мультимедиа технологий; индивидуальные и групповые задания при проведении практических и лабораторных занятий.

Для более глубокого изучения предмета преподаватель предоставляет студентам информацию о возможности использования по разделам дисциплины Интернет-ресурсов, кафедральной и университетской библиотеки.

Содержание занятий определяется календарным планом.

При наличии академических задолженностей по практическим занятиям, связанных с их пропусками преподаватель должен выдать задание студенту в виде задач по пропущенной теме занятия.

Для контроля знаний студентов по данной дисциплине необходимо проводить текущий и промежуточный контроль.

Текущий контроль проводится с целью определения качества усвоения лекционного материала. Наиболее эффективным является его проведение в письменной форме – по контрольным вопросам, тестам и т.п. Контроль проводится в виде сдачи всеми без исключения студентами практических заданий – задач во время проведения практических занятий. В материалы письменных опросов студентов включаются и темы, предложенные им для самостоятельной подготовки. В течение работы над освоением дисциплины студенты, руководствуясь календарным планом, выполняют практические задания.

Промежуточный контроль по курсу. Для контроля усвоения данной дисциплины учебным планом предусмотрен экзамен. На экзамене студентам предлагается ответить на 2 вопроса по материалам учебной дисциплины. Ответы на поставленные вопросы

даются в устном виде. Оценка по экзамену является итоговой по курсу и проставляется в приложении к диплому.

Следует помнить, что данный спецкурс читается после изучения студентами курса «Теория столкновений». Основной акцент здесь сделан на освоение именно экспериментальных закономерностей ядерных реакций с тяжелыми ионами при низких энергиях и на понимание сложной динамики ядро-ядерного взаимодействия. Поэтому каждый изучаемый процесс начинается с рассмотрения постановки соответствующего эксперимента, в том числе, объяснения возникающих при этом сложностей и проблем. Затем демонстрируются наблюдаемые экспериментальные сечения и закономерности изучаемой реакции и дается их качественное объяснение. В заключение проводится сравнение расчетов, выполненных в рамках современных теоретических моделей, с экспериментальными данными с обязательным обсуждением тех физических выводов, которые можно извлечь из анализа этих данных.

В рамках практических и самостоятельных занятий каждый студент выполняет две курсовые работы, нацеленные на анализ экспериментальных данных по конкретной ядерной реакции (упругое рассеяние и слияние в различных комбинациях). В случае упругого рассеяния проводится траекторный анализ процесса столкновения (радуга, дифракция, ближняя и дальняя компоненты) и анализ в рамках оптической модели с подгонкой параметров оптического потенциала. Для реакции слияния строится многомерная потенциальная поверхность ядерной системы, проводится анализ в рамках модели проницаемости одномерного барьера, с помощью эмпирической функции распределения по барьерам и в рамках квантового метода связанных каналов. Работы выполняются с применением программного обеспечения, адаптированного к работе в среде Web-браузера (<http://nrv.jinr.ru/nrv>). По каждой работе представляется письменный отчет со всеми графиками, обоснованием выбора используемых физических величин и выводами, полученными из анализа экспериментальных данных.

Материалы, устанавливающие содержание и порядок проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации

1. Пример Билета для проведения экзамена:

Международный университет природы, общества и человека "Дубна"

Экзаменационный билет № 1

Направление: Физика

Курс 5 (семестр 9)

Дисциплина: Ядерные реакции с тяжелыми ионами

1. Ядро-ядерное взаимодействие: фолдинг-потенциал, потенциал проксимити, феноменологические потенциалы
2. Околобарьерное слияние слабосвязанных ядер

Заведующий кафедрой ядерной физики

Ю.Ц.Оганесян