

Министерство образования Российской Федерации

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРИРОДЫ, ОБЩЕСТВА И
ЧЕЛОВЕКА «ДУБНА»**

УТВЕРЖДАЮ

Проректор Ю.С.Сахаров

« _____ » _____ 2008г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ С ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ

(наименование дисциплины)

по направлению, специальностям

510400 — Физика

(Естественнонаучный блок)

Разработана:

Кафедрой Ядерной Физики

(наименование кафедры)

Заведующий кафедрой

проф., д.ф.-м.н., Оганесян Ю.Ц.

(подпись)

1. а) Требования к уровню необходимых исходных знаний.
- б) Требования к уровню освоения содержания 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, синтез 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. При чтении данного курса предполагается, что студенты уже изучили общие курсы «Ядерной физики» и «Квантовой механики», а также спецкурсы «Теория рассеяния» и «Детекторы ядерных излучений».

2. Объём дисциплины и виды учебной работы (час):

Вид занятий	Всего часов	Семестры	
		9	
Общая трудоемкость	51	51	
Аудиторные занятия:			
Лекции (Л)	34	34	
Практические занятия (ПЗ)	17	17	
Семинары (С)			
Лабораторные работы (ЛР)			
Самостоятельная работа:			
Курсовой проект (работа)	3	3	
Расчетно-графические работы			
Реферат			
Вид итогового контроля (курсовая работа, экзамен)	курсовая, экзамен	курсовая работа	

3. Содержание дисциплины

3.1. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п	Раздел дисциплины	Л	ПЗ
1	Взаимодействие ядер и общие закономерности ядерных реакций	6	4
2	Упругое рассеяние нуклонов и тяжелых ионов	4	6
3	Квазиупругое рассеяние и реакции малонуклонных передач	4	
4	Глубоко неупругое рассеяние ядер	4	
5	Реакции слияния атомных ядер	6	7
6	Процессы фрагментации и массивных передач	4	
7	Реакции с участием радиоактивных ядер	6	

3.2. Содержание разделов дисциплины

1. Взаимодействие ядер и общие закономерности ядерных реакций

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

2. Упругое рассеяние нуклонов и тяжелых ионов

- 2.1 Упругое рассеяние протонов и нейтронов атомными ядрами
- 2.2 Оптическая модель
- 2.3 Упругое рассеяние легких ионов
- 2.4 Применимость классической механики и траекторный анализ
- 2.5 Кулоновская и ядерная радуга, дифракционное рассеяние
- 2.6 Упругое рассеяние тяжелых ионов

3. Квазиупругое рассеяние и реакции малонуклонных передач

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

4. Глубоко неупругое рассеяние ядер

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

5. Реакции слияния атомных ядер

- 5.1 Слияние ядер при надбарьерных энергиях
- 5.2 Статистическая модель распада возбужденного составного ядра.
- 5.3 Регистрация осколков деления и продуктов испарения составного ядра
- 5.4 Подбарьерное слияние ядер
- 5.5 Модель одномерного барьера, формула Хилла-Уиллера
- 5.6 Связь каналов, эмпирическое и квантовое описание процесса слияния
- 5.7 Функция распределения по барьерам
- 5.8 Роль нуклонных передач в процессах подбарьерного слияния
- 5.9 Слияние легких нейтронно-избыточных ядер

5.10 Синтез сверхтяжелых ядер в реакциях слияния

5.11 Процессы квази-деления

6. Процессы фрагментации и массивных передач

6.1 Процессы развала легких ионов

6.2 Реакции фрагментации ядер при промежуточных энергиях

6.3 Образование предравновесных легких частиц

7. Реакции с участием радиоактивных ядер

7.1 Карта ядер и границы ядерной стабильности

7.2 Экзотические свойства слабосвязанных ядер, нейтронное гало

7.3 Получение ядер вблизи границы ядерной стабильности, масс-сепараторы

7.4 Получение ускоренных пучков радиоактивных ядер

7.5 Упругое рассеяние и спектроскопия экзотических ядер

7.6 Фрагментация слабосвязанных ядер

7.7 Околобарьерное слияние слабосвязанных ядер

3.3. Темы курсовых работ

1. Анализ экспериментальных данных по упругому рассеянию

2. Анализ экспериментальных данных по слиянию атомных ядер

В дальнейшем в этот список могут быть добавлены и другие ядерные реакции, для анализа которых будет написано соответствующее программное обеспечение, функционирующее в среде Интернет-браузера.

4. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

4.1. Методические рекомендации преподавателю

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.

4.2. Методические указания студентам

Прежде всего студент должен приучить себя к мысли о необходимости скорейшего освоения англо-язычной ядерной терминологии, поскольку основная литература 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.

4.3. Рекомендуемая литература

1. R. Bass, Nuclear reactions with heavy ions, Springer, Berlin, 1980.
2. Treatise on Heavy-Ion Science, Ed. D.A. Bromley, Plenum Press, NY, 1984, vol. 1-8.
3. Heavy ion collisions, Ed. R. Bock, North-Holland Pub. Co., Amsterdam, 1979.
4. G.R.Satchler, Direct Nuclear Reactions, Clarendon Press, 1983.
5. V. Zagrebaev et al., NRV: Low energy nuclear knowledge base, <http://nrv.jinr.ru/nrv>.
6. О.Ф. Немец, К.О. Теренецкий. Ядерные реакции, Киев, Вища школа, 1977.
7. О. Бор, Б. Моттelson. Структура атомного ядра, М., Мир, 1971
8. Дж. Тейлор, Теория рассеяния, М., Мир, 1975.
9. А.И.Базь и др., Рассеяние, реакции и распады в нерелятивистской квантовой механике, М.,Наука, 1971.
10. А.Г.Ситенко, Теория ядерных реакций, М.,Энергоатомиздат,1983.
11. П.Е. Ходгсон, Оптическая модель упругого рассеяния, М.,Атомиздат, 1966.

4.4. Средства обеспечения освоения практической части курса

1. Персональные компьютеры с выходом в Интернет.
2. Интернет-браузер.
3. Java-плагин для интернет-браузера (Java Runtime Environment -JRE).

Программа составлена в соответствии с Государственными требованиями к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы подготовки магистра по направлению 510400 — Физика.

Программу составил:

В.И. Загребаев, д.ф.-м.н., профессор кафедры Ядерной физики