

Министерство образования и науки Российской Федерации

МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРИРОДЫ, ОБЩЕСТВА И ЧЕЛОВЕКА “ДУБНА”

УТВЕРЖДАЮ

Проректор

Ю.С. Сахаров

“ _____ ” _____ 2008 г.

ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Ядерные реакции при промежуточных энергиях

по магистерской программе 510401 – физика ядра и элементарных частиц

Разработана:

Кафедрой ядерной физики

Заведующий кафедрой

_____ Ю.Ц. Оганесян

1 Требования к уровню усвоения содержания дисциплины

1.1 Аннотация

В последние годы установлена связь между нуклонным взаимодействием при низких и промежуточных энергиях ниже порога образования пиона и фундаментальной теорией сильных взаимодействий – квантовой хромодинамикой (КХД), а именно, киральной симметрией КХД. Одна из основных целей данного курса – донести до студенческой аудитории содержание и значимость этого достижения для ядерной физики. Отбор экспериментального материала и минимум сведений из теории нацелен на решение этой задачи. Центральное место занимает вопрос о нуклонных потенциалах. Излагаются чисто феноменологические модели NN-сил, широко применяемые в ядерной физике, но не имеющие статуса теории, и современные NN силы из эффективной киральной теории. Приводятся результаты экспериментального тестирования нуклонных сил на основе исследования двух и трехнуклонных систем, а также реакций рождения пионов в NN-столкновениях на ускорителях COSY, TRIUMF, RIKEN и др. В то же время вне пределов применимости киральной теории остается широкий круг важных вопросов физики ядерных реакций, часть из которых также рассматривается в курсе. К ним относятся эксперименты по глубоко-неупругим ядерным реакциям (кумулятивные процессы) и электронному рассеянию при больших передачах импульса. Последовательная теория этих процессов отсутствует. Рассматривается также обширный класс дифракционных процессов, успешно описываемых теорией многократного рассеяния Глаубера-Ситенко.

1.2 Учебная задача

Преподавание данного курса имеет целью научить студента понимать основные направления, ключевые задачи и устоявшиеся теоретические методы в области исследования ядерных реакций при промежуточных энергиях на уровне достаточном для самостоятельной работы с современной научной литературой по данному разделу экспериментальной ядерной физики. Студент должен знать основные экспериментальные факты из низкоэнергетической физики пионов, низколежащих нуклонных резонансов и их проявлении в ядерных реакциях, уметь проводить простейшие оценки характеристик рассматриваемых в спец-курсе ядерных реакций.

Вид занятий	Всего часов	10-й семестр
Общая трудоемкость	34	34
Лекции	34	34
самостоятельная работа	40	40
Вид итогового контроля		экзамен

2 Содержание дисциплины

2.1 Разделы дисциплины и виды занятий

N^0	Раздел дисциплины	Лек- ции	Самост. работа
1	Киральная симметрия КХД и ее спонтанное нарушение. Пион как голдстоуновский бозон. Сохранение векторного тока. Гипотеза ЧСАТ. Соотношение Гольдбергера-Треймана.	8	10
2	Связь пиона и нуклона. NN потенциалы ОПО и ОБО. Современные высокоточные NN потенциалы. Фазы NN-рассеяния и статические свойства дейтрона.	8	10
3	Понятие о киральной теории нуклонных сил. Данные по NN и nd рассеянию	4	6
4	Нуклонные резонансы. πN - рассеяние. Δ - резонансная модель. Спиновые наблюдаемые.	6	6
5	πd - рассеяние в области Δ -резонанса Нарушение изоспиновой инвариантности. Реакции $pp \rightarrow d\pi^+$ и $pp \rightarrow pp(^1S_0)\pi^0$	2	2
6	Реакции $pd \rightarrow dp$, $pd \rightarrow pp(^1S_0) + n$ и NN взаимодействие на малых расстояниях. Кумулятивный эффект. Ядерный скейлинг	2	2
7	Рассеяние электронов ядрами. Мезонные обменные токи.	2	2
8	Дифракционное взаимодействие адронов с ядрами Теория многократного рассеяния Глаубера-Ситенко	2	2

Контроль: После первого раздела – коллоквиум, после третьего раздела – решение задач, после седьмого – контрольный опрос по всему курсу.

2.2 Содержание разделов дисциплины

1. Малые параметры в теории сильных взаимодействий. Низкие, высокие и промежуточные энергии в физике ядерных реакций.

Левые и правые фермионы. Киральность и спиральность. Сохранение спиральности в киральном пределе и отношение вероятностей распада $\pi \rightarrow \mu + \nu_\mu$ и $\pi \rightarrow e + \nu_e$. Киральная $SU(3)_L \times SU(3)_R$ и $U(1) = U_L(1) \times U_R(1)$ симметрии классического лагранжиана КХД. Спонтанное нарушение киральной симметрии. Пион как голдстоуновский бозон. Массовые формулы для псевдоскалярных мезонов.

Векторные и аксиально-векторные токи. Изоспиновая симметрия и сохранение векторного тока. Частичное сохранение аксиально-векторного тока (ЧСАТ). Вывод соотношения Гольдбергера-Треймана из условия сохранения аксиального тока. Физический смысл констант g_A и f_π

Длины $\pi\pi$ - рассеяния. Эксперименты DIRAC и NA48.

2. Связь пиона и нуклона – аналогия с электродинамикой. Лагранжиан псевдоскалярной и псевдовекторной связи. Константы πNN связи. Вершинная функция πNN .

Нуклон-нуклонное взаимодействие. Статический потенциал однопионного обмена (ОПО) в координатном представлении. Центральная и тензорная часть потенциала. Статические характеристики дейтрона и потенциал ОПО. Фазовые сдвиги в высших парциальных волнах NN рассеяния и потенциал ОПО.

Вклад полюсной диаграммы обмена пионом в упругое NN-рассеяние. Потенциал ОПО в импульсном представлении. Потенциалы однобозонного обмена (ОБО). Обмен скалярным мезоном. Обмен векторным бозоном. Сравнение спиновых частей потенциалов V^π и V^ρ . Спин-орбитальное взаимодействие. Современные высокоточные потенциалы NN- взаимодействия. CD Bonn модель NN – взаимодействия.

3. Понятие о киральной эффективной теории возмущений (КЭТВ). Эффективный киральный лагранжиан. Нуклонные силы в киральной эффективной теории. Пионные обмены и контактное взаимодействие. Трехнуклонные и многонуклонные силы. Основные достижения КЭТВ. Описание данных по NN-, nd -рассеянию в киральной эффективной теории.

4. Нижайшие нуклонные резонансы: $\Delta(1232)$, $N^*(1440)$, $N^*(1520)$, $N^*(1530)$ и их квантовые числа. Возбуждение нуклонных резонансов в πN рассеянии. Обрезание спектра галактических космических лучей за счет взаимодействия с реликтовыми фотонами через Δ -изобару.

Амплитуда p -волнового πN рассеяния в борновском приближении. Δ -изобарная модель πN рассеяния. Сравнение p -волновых амплитуд с экспериментом. s -волновое πN рассеяние. Квантовые числа эффективных бозонов в s -волновом πN рассеянии.

Спиновая структура амплитуды реакции $0 + \frac{1}{2} \rightarrow 0 + \frac{1}{2}$. Спиновые наблюдаемые в терминах инвариантных амплитуд: неполяризованное сечение $d\sigma_0$, векторная анализирующая способность A_y , спиновая корреляция.

5. Рассеяние пионов дейтронами. Импульсное приближение для расчета полного сечения этой реакции. Нарушение зарядовой инвариантности в πd взаимодействии.

Реакция $pp \rightarrow d\pi^+$ в области Δ -резонанса. Изотопические соотношения для сечения реакций $pp \rightarrow d\pi^+$ и $pn \rightarrow d\pi^0$. Определение квантовых чисел пиона из реакций $\pi^+d \rightarrow pp$ и $\pi^-d \rightarrow nn$. Обобщенный принцип Паули для системы двух нуклонов.

Разрешенные переходы в реакции $pp \rightarrow \{pp\}_s\pi^0$. Подавление вклада Δ -изобары в процессе $pp \rightarrow \{pp\}_s\pi^0$.

6. Упругое pd рассеяние назад при энергиях \sim ГэВ. Импульсное приближение. Проблема t_{20} . Реакция образования дипротона $pd \rightarrow \{pp\}_s n$ в кинематике pd рассеяния назад в области 0.5-2 ГэВ. Чувствительность данного процесса к поведению NN-потенциала на малых расстояниях.

Кумулятивный эффект. Ядерный скейлинг. Поиск многокварковых конфигураций в ядрах. Правила кваркового счета для бинарных реакций.

7. Рассеяние электронов ядрами. Мезонные обменные токи (МОТ). Проявление МОТ в реакции расщепления дейтрона вблизи порога при большой передаче импульса $d(e, e')pn$.

8. Дифракционное взаимодействие протонов промежуточных энергий с ядрами. Понятие о дифракционной теории многократного рассеяния Глаубера-Ситенко. Основные особенности дифракционного рассеяния.

2.3 Методические указания преподавателю

Проблемы, рассматриваемые в данном спецкурсе находятся на пересечении традиционной физики ядра и физики элементарных частиц. Этим обстоятельством определяется отбор материала для данного курса. Изложение курса предполагает минимальное использование математического формализма квантовой теории поля и квантовой теории рассеяния, которые уже знакомы студентам из предыдущих курсов. Включение математического аппарата призвано уменьшить время и усилия, необходимые для овладения материалом. При этом главное внимание уделяется физическому содержанию основных математических соотношений, для чего проводятся аналогии с физикой твердого тела (если речь идет, например, о спонтанном нарушении симметрии) или квантовой электродинамикой — в случае пион-нуклонного взаимодействия. Одно из основных понятий — понятие киральности — иллюстрируется экспериментальными фактами из распадов пиона и рассеяния лептонов в ультрарелятивистском пределе. Формализм спиновых наблюдаемых развит на простейшем примере рассеяния $0 + \frac{1}{2} \rightarrow 0 + \frac{1}{2}$. Необходимые экспериментальные данные, относящиеся в основном к малонуклонным системам, привлекаются также в минимальном объеме, вполне достаточном для иллюстрации основных результатов киральной теории. Данные, которые находятся вне пределов применимости этой теории (резонансные механизмы, глубоко-неупругие реакции, кумулятивный эффект) рассматриваются более широко.

2.4 Методические указания студентам

Основная техническая трудность разработки и усвоения данного курса связана с тем, что необходимая литература по киральной теории пока еще разбросана по обзорным журнальным статьям. Конспект этой части спецкурса находится в стадии подготовки. Остальная часть курса, содержащая более традиционный материал, может быть найдена в монографиях, перечисленных в списке рекомендованной литературы.

2.5 Вопросы, выносимые на экзамен

Примерный перечень вопросов повторяет содержание пункта 3.2. В дополнение к этим вопросам предлагается решить задачу, по уровню сложности сравнимую с контрольными заданиями, предлагающимися в течение семестра.

Основная литература

1. Т. Эрикссон, В. Вайзе. Пионы и ядра, М., Наука, 1991.
2. С. де Бенедетти, Ядерные взаимодействия, М. Атомиздат, 1968.
3. Ф. Хелзен, А. Мартин. Лептоны и кварки. М. Мир, 1987.

Дополнительная литература

1. Д.И. Дьяконов, Материалы XXI Зимней школы ЛИЯФ, Л., 1986, с. 3.
2. W. Weise, Yukawa's pion, Low-energy QCD and Nuclear Chiral Dynamics, arXiv:0704.1992 [nucl-th] (2007).
3. D.V. Kaplan, Five lectures on effective field theory, arXiv:nucl-th/0510023 (2005).
4. R. Gilman and F. Gross, Electromagnetic structure of the deuteron, J.Phys. **G28** (2002) R37-R116.
5. Г.А. Лексин, Кварки в ядрах. Пути исследования ядерного вещества в условиях, характерных для его перехода в КГП, Ядерная физика, т. 65, вып. 11 (2002) с.2042-2051
6. В.В. Анисович, Г. Алхазов, П.Э. Волковицкий, Дифракционное взаимодействие адронов высоких энергий. М., Атомиздат, 1990.

Программа составлена в соответствии с Государственными требованиями к обязательному минимуму содержания основной образовательной программы подготовки магистров по специальности 510401 – физика ядра и элементарных частиц

Программу составил:

————— Ю.Н. Узиков, д.ф.-м.н.