

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4-2002-6

На правах рукописи
УДК 539.12.01

ШЕВЧЕНКО
Нина Винадьевна

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ η -МЕЗОНОВ С ЛЕГКИМИ ЯДРАМИ

Специальность: 01.04.16 — физика ядра и элементарных частиц

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна 2002

Работа выполнена в Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований.

Научные руководители: доктор физико-математических наук
профессор В.Б. Беляев
кандидат физико-математических наук
С.А. Ракитянский

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук
С.Б. Герасимов
кандидат физико-математических наук
А.И. Львов

Ведущая организация:

Научно-исследовательский институт ядерной физики Московского государственного университета

Защита диссертации состоится “___” _____ 2002 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета К 720.001.01 при Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна Московской области.

Автореферат разослан “___” _____ 2002 г.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Объединенного института ядерных исследований.

Ученый секретарь
диссертационного совета



С.И. Федотов

Общая характеристика диссертации

Актуальность темы

Одним из важнейших вопросов η -мезонной физики является вопрос возможности существования η -ядерных состояний, как это было впервые предложено Хайдером и Лью в 1986 г. Поскольку длина свободного пробега η мезона в ядерной среде примерно равна 2 фм, т.е. меньше размера типичного ядра, необходимое условие существования η ядер выполнено.

Поскольку время жизни η -мезонов очень мало, экспериментально они могут наблюдаться только в конечных состояниях некоторых реакций. Данный факт сильно усложняет исследование η -мезонной динамики и, таким образом, возможность задержки η -мезона ядром может быть очень полезной. Предполагается, что внутри ядра η -мезон подвергается серии поглощений и излучений путем образования и распада $N^*(1535)$ резонанса. Время жизни такого η -мезонного ядра не ограничено собственно временем жизни мезона, поскольку после каждого распада S_{11} -резонанса η -мезон рождается заново.

Кроме того, что η -ядерная система интересна сама по себе, ее существование может прояснить некоторые вопросы физики элементарных частиц. В частности, можно исследовать степень влияния ядерной среды на мезоны, движущиеся сквозь нее. Особенно актуальным является вопрос изучения структуры S_{11} резонанса, помещенного в ядерную среду. Взаимодействие этого резонанса с окружающими нуклонами может быть описано различными способами, в зависимости от того, каким образом определена его структура: в терминах кварковых конфигураций или связанных мезон-барионных каналов. Также можно проверить интересное предположение о структуре S_{11} как о совместном проявлении порогового явления (каспа) и резонанса. Еще одним аспек-

том, связанным с η – нуклонным взаимодействием, является изучение нарушения зарядовой симметрии, которое приводит к $\eta - \pi^0$ смешиванию. Величину угла смешивания можно извлечь из экспериментов, включающих η -ядерное взаимодействие, и сравнить полученные результаты с предсказаниями кварковых моделей.

Для расчетов квазисвязанных η -мезонных состояний использовались различные методы, среди них: метод оптического потенциала, метод функций Грина, модифицированный метод многократного рассеяния и другие. Предсказания, касающиеся возможности образования η -мезонных ядер, очень различны, одна из причин таких различий – недостаточное знание сил ηN взаимодействия. Поэтому все реакции, рассмотренные в диссертации, исследовались при различных значениях параметров $T_{\eta N}$ -матрицы.

Еще одной актуальной задачей является изучение процессов когерентного фоторождения η -мезона на ядрах. При этом η -ядерное взаимодействие должно проявляться в конечном состоянии.

Фоторождение η -мезона на отдельном нуклоне является фундаментальным процессом физики адронов, связанным с кварковыми степенями свободы. Это мощный инструмент для выборочного изучения определенных N^* резонансов. Когда η рождается на ядре, сопутствующие этому процессу двухчастичные реакции типа $\gamma N \rightarrow \eta N$, $\gamma N \rightarrow \pi N$, $\pi N \rightarrow \eta N$ и т.д. могут протекать вне энергетической поверхности. С одной стороны, это усложняет анализ соответствующих ядерных реакций, с другой – информация, которую можно извлечь из экспериментальных данных, более разнообразна и богата. В частности, изучение (γ, η) реакций на ядрах дает возможность сконструировать амплитуды взаимодействий γ , η и π с нейтроном.

Поскольку в таких реакциях важны эффекты ядерной структуры

и перерасеяния, простейшим случаем, конечно же, является процесс когерентного фоторождения η на дейтроне. Существует множество теоретических работ, посвященных реакции (γ, η) на дейтроне, однако их результаты очень различны. Более того, экспериментальное сечение процесса $\gamma + d \rightarrow \eta + d$ в околопороговой области оказалось много выше всех теоретических предсказаний.

Цели работы:

- исследование ηd системы, выяснение возможности существования в ней резонансных или квазисвязанных состояний,
- изучение реакции когерентного фоторождения η -мезона на дейтроне,
- исследование реакции когерентного фоторождения η на трехчастичных ядрах ${}^3\text{H}$ и ${}^3\text{He}$.

Научная новизна и практическая ценность

В диссертации исследована система ηd , впервые предсказано существование в ней, в зависимости от параметров η -нуклонного взаимодействия, резонансных или квазисвязанных состояний.

Разработана процедура изменения малочастичных уравнений для описания процессов фоторождения. На основе полученных таким образом модифицированных уравнений АГС найдено сечение процесса когерентного фоторождения η -мезона на дейтроне для различных значений параметров двухчастичных взаимодействий. Наложены ограничения на некоторые из параметров.

Впервые проведен расчет когерентного фоторождения на трехчастичных ядрах, при котором эффекты взаимодействия в конечном состоянии учтены в рамках малочастичной теории.

Апробация работы

Результаты диссертации докладывались на семинарах ЛТФ ОИЯИ, ФИАН, физического факультета Иркутского государственного университета, а также на:

- IV научной конференции молодых ученых и специалистов ОИЯИ (Дубна, Россия, 31 января–4 февраля 2000 г.),
- 16-ой международной конференции по проблемам нескольких тел в физике (Тайбей, Тайвань, 6–10 марта 2000),
- международном совещании ”Резонансы в малочастичных системах” (Сароспатак, Венгрия, 4–8 сентября 2000),
- XVII европейской конференции по проблемам нескольких тел в физике (Эвора, Португалия, 11–16 сентября 2000),
- IX международном семинаре ”Электромагнитные взаимодействия ядер при низких и средних энергиях” (ИЯИ, Москва, Россия, 20–22 сентября 2000),
- третьей международной конференции ”Перспективы адронной физики” (Мирамаре-Триест, Италия, 7–11 мая 2001),
- 8-ой международной конференции ”Мезоны и легкие ядра’01” (Прага, Чешская республика, 2–6 июля 2001).

Публикации

По результатам диссертации опубликовано семь работ.

Объем и структура диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений. Полный объем диссертации — 103 страницы машинописного текста, включая 4 таблицы и 20 рисунков. Список литературы содержит 104 наименования.

Содержание работы

Во введении показана актуальность темы и кратко изложено содержание диссертации.

Первая глава носит вводный характер, в ней описывается формализм уравнений Альта-Гроссбергера-Сандхаса. В первом параграфе формулируются основные понятия и объекты АГС – операторы рассеяния и перестройки, приводятся уравнения в операторной форме. Выводятся уравнения АГС для частиц, попарное взаимодействие которых друг с другом можно описать сепарабельными потенциалами. На основе полученных операторных уравнений записывается система интегральных уравнений для ηd рассеяния, проводится разложение по парциальным волнам.

Во втором параграфе рассказывается о сингулярностях в ядрах уравнений АГС. Первый подпараграф посвящен полюсам двухчастичных T -матриц, второй – логарифмическим так называемым ”плавающим” сингулярностям. Показаны области сингулярностей для рассматриваемой системы, описаны особенности численного решения полученной системы интегральных уравнений.

Во второй главе на основе изложенного в главе 1 формализма исследуется реакция упругого рассеяния η -мезона на дейтроне. В первом параграфе вводятся необходимые для расчетов двухчастичные $T_{\eta N}$ и T_{NN} матрицы. Во втором параграфе приводятся результаты численных расчетов длины ηd рассеяния для различных значений параметров ηN взаимодействия. Показано, что учет эффектов перерассеяния очень важен. Проведено сравнение результатов точных расчетов длины ηd рассеяния с результатами расчетов приближенными методами – ПКР и ТМР. Показано, что такие приближения достаточно хорошо работают только при слабом ηN взаимодействии. В параграфе 3 упругое

рассеяние η -мезона на дейтроне рассматривается при низких энергиях, приводятся результаты вычислений сечений и фазовых сдвигов. Найдено, что в зависимости от значений параметров двухчастичного взаимодействия в системе ηd может существовать резонансное или квазисвязанное состояние.

В третьей главе исследуется реакция когерентного фоторождения η -мезона на дейтроне. В первом параграфе описывается процедура изменения малочастичных уравнений для описания процессов фоторождения. Приводятся полученные таким образом модифицированные уравнения АГС. Второй параграф посвящен двухчастичным взаимодействиям, в частности, здесь описывается T -матрица фоторождения η -мезона на нуклонах. В третьем параграфе приводятся результаты численных расчетов для различных параметров двухчастичных взаимодействий, проводится сравнение с экспериментальными данными. Кроме точных расчетов, также проведены расчеты в импульсном приближении. Показано, что имеется очень сильное взаимодействие в конечном состоянии такой реакции. Исследуется зависимость сечения когерентного фоторождения η -мезона на дейтроне от параметров двухчастичных взаимодействий. Путем сравнения теоретических расчетов с экспериментальными данными, наложены ограничения на некоторые из параметров. Показано, что ηN взаимодействие, скорее всего, является отталкивающим на малых расстояниях.

Глава 4 посвящена фоторождению η на трехнуклонных ядрах. В первом параграфе описывается ПКР-приближение, как оригинально предложенный формализм, так и модифицированный для учета электромагнитного взаимодействия. Второй параграф содержит информацию об используемых в расчетах вариантах двухчастичной $T_{\eta\eta}$ - матрицы и нуклон-нуклонной волновой функции. В параграфе 3 приво-

дятся результаты численных расчетов когерентного фоторождения на ядрах ${}^3\text{H}$ и ${}^3\text{He}$, их обсуждение. Показано, что учет взаимодействия в конечном состоянии крайне важен при описании данного процесса. Найдено, что среди этих двух ядер тритий является наиболее предпочтительным кандидатом для возможности экспериментального определения отношения амплитуд фоторождения η на нейтроне и протоне.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

Приложение А содержит описание используемого метода численного решения системы интегральных уравнений.

В приложении Б описаны методы численного нахождения интеграла в смысле главного значения.

На защиту выдвигаются следующие результаты

1. На основе точных малочастичных уравнений фаддеевского типа проведены численные расчеты упругого рассеяния η -мезона на дейтроне. Показана важность учета эффектов перерассеяния.
2. Проведено сравнение результатов точных расчетов длины ηd рассеяния с результатами расчетов приближенными методами: ПКР и ТМР. Показано, что такие приближения достаточно хорошо работают только при слабом ηN взаимодействии.
3. Исследована зависимость сечения упругого ηd рассеяния от параметров элементарного ηN взаимодействия. Найдено, что в зависимости от данных параметров в системе ηd может существовать резонансное или квазисвязанное состояние.
4. Разработана процедура изменения малочастичных уравнений для описания процессов фоторождения. На основе полученных таким

образом модифицированных уравнений АГС найдено сечение процесса когерентного фоторождения η -мезона на дейтроне. Кроме точных, проведены расчеты данной реакции в импульсном приближении. Показано, что имеется очень сильное взаимодействие в конечном состоянии.

5. Исследована зависимость сечения когерентного фоторождения η -мезона на дейтроне от параметров двухчастичных взаимодействий. Путем сравнения теоретических расчетов с экспериментальными данными наложены ограничения на некоторые из параметров. Показано, что ηN взаимодействие, скорее всего, является отталкивающим на малых расстояниях.
6. Рассмотрен процесс когерентного фоторождения η на трехнуклонных ядрах, расчеты проведены для двух ядерных мишеней: ${}^3\text{H}$ и ${}^3\text{He}$. Показано, что учет взаимодействия в конечном состоянии крайне важен при описании данного процесса.
7. Исследована зависимость сечения когерентного фоторождения η -мезона на трехнуклонных ядрах от параметров двухчастичных взаимодействий. Показано, что среди рассмотренных двух ядер тритий является наиболее предпочтительным кандидатом для экспериментального определения отношения амплитуд фоторождения η на нейтроне и протоне.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. N. V. Shevchenko, S. A. Rakityansky, S. A. Sofianos, V. B. Belyaev, and W. Sandhas, Phys. Rev. C **58**, R3055 (1998).
2. N. V. Shevchenko, V. B. Belyaev, S. A. Rakityansky, W. Sandhas, and S. A. Sofianos, Eur. Phys. J., A **9**, 143 (2000).

3. S. A. Rakityansky, S. A. Sofianos, N. V. Shevchenko, V. B. Belyaev, and W. Sandhas, Nucl. Phys., A **684**, 383 (2001).
4. N. V. Shevchenko, V. B. Belyaev, S. A. Rakityansky, W. Sandhas, and S. A. Sofianos, Nucl. Phys., A **689**, 383 (2001).
5. V. B. Belyaev, N. V. Shevchenko, S. A. Rakityansky, S. A. Sofianos, and W. Sandhas, Few Body Syst. Suppl. **13**, 262 (2001).
6. N. V. Shevchenko, V. B. Belyaev, S. A. Rakityansky, S. A. Sofianos, and W. Sandhas, proceedings of the IX International seminar "Electromagnetic interactions of nuclei at low and medium energies", pp. 160-169, Moscow, INR, 2001.
7. N. V. Shevchenko, V. B. Belyaev, S. A. Rakityansky, S. A. Sofianos, and W. Sandhas, Nucl. Phys., A. **699**, 165 (2002).

Рукопись поступила в издательский отдел
11 января 2002 года.

Макет Н. А. Киселевой

Подписано в печать 14.01.2002
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. л. 0,5
Тираж 100. Заказ 53064

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области