

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

ЛАБОРАТОРИЯ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ

С346

Э-74

Р.А. Эрамжян

2150

ЗАХВАТ μ^- -МЕЗОНОВ ЛЕГКИМИ ЯДРАМИ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
доктор физико-математических наук
В.В. Балашов

Дубна 1965

Р.А. Эрамжян

2150

ЗАХВАТ μ^- -МЕЗОНОВ ЛЕГКИМИ ЯДРАМИ

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Научный руководитель -
доктор физико-математических наук
В.В. Балашов

2733 дф.

ОБЛЕДЕНСКИЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНОЙ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

Одной из основных задач физики элементарных частиц является определение констант мюон-нуклонного взаимодействия

$$\mu^- + p \rightarrow n + \nu \quad (1)$$

Знание констант необходимо для проверки универсальности слабого взаимодействия^{1,2/}, подтвержденного экспериментальными данными по β -распаду нуклонов, π - и μ -мезонов. Согласно теории универсального взаимодействия Ферми (УВФ) совместно с дополнительными предположениями - гипотезой сохранения векторного тока и G-инвариантности токов - следует, что процесс захвата описывается тремя константами связи: векторной g_V , аксиальной g_A и псевдоскалярной g_P , индуцированной сильным взаимодействием^{x)}. Поэтому для определения констант необходимо по крайней мере три независимых эксперимента. Наиболее точно может быть рассчитан элементарный акт захвата (1). Однако из-за специфических мезомолекулярных процессов изучение элементарного акта связано с большими трудностями и не дает исчерпывающей информации о константах мюон-нуклонного взаимодействия. Поэтому возникает необходимость определения констант из экспериментов на сложных ядрах.

При интерпретации экспериментальных данных по захвату μ^- -мезонов сложными ядрами, в отличие от захвата протоном, положение осложняется незнанием точных значений ядерных матричных элементов, связанных со структурой ядра. В настоящее время эти значения вычисляются в рамках тех или иных ядерных моделей. Поэтому экспериментально в первую очередь был исследован захват на ядрах, в которых удастся с большой точностью рассчитать матричные элементы, - ^3He и ^{12}C . Ожидаемое по теории УВФ значение вероятности захвата в этих переходах находится в хорошем согласии с экспериментальными данными. Это позволяет утверждать, что эти эксперименты подтверждают теорию УВФ. Однако из-за слабой чувствительности вероятности переходов в ^3He и ^{12}C к константе индуцированного псевдоскаляра g_P существует большая неоднозначность в ее определении.

Экспериментальные данные по радиационному захвату μ^- -мезонов ядрами Ca^{40}

x) Согласно гипотезе сохранения векторного тока константа слабого магнетизма g_M равна произведению разности аномальных магнитных моментов протона и нейтрона на векторной константы; $g_M = (\mu_p - \mu_n) g_V$.

и данные по асимметрии углового распределения нейтронов при захвате на том же ядре противоречат выводам теории УВФ. Однако при интерпретации этих экспериментальных данных приходится сталкиваться с большими трудностями, связанными с проблемой структуры ядра. Поэтому вопрос о надежности полученной информации из указанных экспериментов остается открытым и, следовательно, не ясна причина расхождения результатов расчета по теории УВФ и эксперимента. Аналогичные трудности встречаются и при интерпретации данных по полной вероятности поглощения.

Таким образом, имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные не позволяют сделать однозначный вывод о величине констант взаимодействия. Поэтому необходима разработка дальнейшей программы экспериментального изучения процессов μ^- -захвата сложными ядрами и обеспечение их надежной теоретической интерпретации. Этим вопросам посвящена настоящая диссертация. Основное внимание обращено на переходы в определенное состояние дочернего ядра (парциальные переходы), где уже в настоящее время представляется возможным дать надежную интерпретацию результатов. Исследуется роль многочастичных аспектов ядерной структуры в задаче μ^- -захвата, особенно влияние нуклон-нуклонных корреляций, вызванных остаточными парными взаимодействиями, на характеристики парциальных переходов. В реакции захвата с вылетом нейтрона парные корреляции приводят к специфическим резонансным эффектам. В этом случае целью исследования является выяснение роли резонансных эффектов.

В главе I рассмотрены имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные по захвату μ^- -мезонов жидким водородом и сложными ядрами и проанализирована информация, извлекаемая из этих данных.

В главе II изложена теория парциальных переходов при захвате μ^- -мезонов ядрами. Теория базируется на формализме, развитом в работе ^{/3/} для классификации в рамках теории УВФ матричных элементов по степеням запрета и для расчета вероятностей парциальных переходов при статистическом заселении уровней сверхтонкой структуры мезоатома. Этот формализм обобщается на случаи определения других характеристик парциальных переходов. Получены спин-тензоры ядра, образовавшегося в результате поглощения μ^- -мезонов. На основании спин-тензоров получены общие выражения для вероятности захвата из определенного состояния сверхтонкой структуры мезоатома, а также рассмотрен общий случай произвольного заселения уровней ^{/4/}. Получены выражения для асимметрии углового распределения ядер отдачи ^{/5/}.

В главе III дан качественный анализ возможностей использования парциальных переходов в легких ядрах вплоть до F^{19} для определения констант взаимодействия. В более тяжелых ядрах число связанных состояний дочернего ядра велико, что практически не позволяет экспериментально выделить переходы в определенное состояние. Поэтому нет необходимости их рассматривать.

Из рассмотренных переходов практический интерес представляют $He^3 - N^3$, $C^{13} - V^{13}$ и $O^{16} - N^{16}$. Эти переходы подробно исследуются в диссертации.

В главе IV рассматривается захват μ^- -мезонов ядрами He^3 с образованием N^3 . Эта реакция представляет существенный интерес в связи с тем, что теоретические оценки матричных элементов могут быть выполнены наиболее точно, так как волновая функция системы трех тел довольно хорошо известна. Поэтому важно извлечь максимальную информацию из этой реакции.

В настоящее время данные по вероятности захвата недостаточны для решения вопроса о величине констант взаимодействия. С целью получения новой информации в диссертации исследуется асимметрия углового распределения ядер трития^{/6/}. В силу несохранения четности в слабых взаимодействиях угловое распределение ядер трития имеет вид

$$W(\theta) = 1 + \alpha P_{\mu} \cos \theta, \quad (2)$$

где P_{μ} - степень поляризации μ^- -мезона в триплетном состоянии мезоатома, θ - угол между спином мезона и направлением вылета ядра трития, α - коэффициент асимметрии, зависящий от констант взаимодействия и матричных элементов перехода.

При расчете матричных элементов учитывался вклад только симметричного по пространственным координатам S-состояния (учет малых компонент волновой функции вносит лишь небольшие поправки). В этом случае все матричные элементы выражаются через один, и коэффициент α оказывается вообще не зависящим от него

$$\alpha = \frac{1}{2} \frac{(G_V - G_A + G_P)^2}{G_A^2 + 3G_A^2 + G_P^2 - 2G_P G_A}. \quad (3)$$

Поэтому при всей сложности эксперимента измерение асимметрии может дать весьма надежную информацию о константах взаимодействия.

В главе V исследуются парциальные переходы при захвате μ^- -мезонов в O^{16} . Вероятность парциальных переходов в O^{16} исследовалась многими авторами. В работе^{/7/}, выполненной в рамках одночастичной модели оболочек, было показано, что, исследуя переходы в связанные состояния ядра N^{16} , можно выделить эффекты, обусловленные различными членами гамильтониана мюон-нуклонного взаимодействия. Так, вероятность захвата на уровни 0^- и 2^- зависит от величины константы индуцированного псевдоскаляра g_p , а вероятность захвата на уровень 1^- вообще не зависит от g_p .

В последующих работах было показано, что даже в случае дважды магических ядер необходимо учитывать корреляции между нуклонами, которые смешивают между собой разные одночастичные состояния^{/8/}. Поэтому необходимо определение оптимального набора параметров модели. С этой целью в диссертации исследуется чувствитель-

ность характеристик парциальных переходов в ^{16}O к разным параметрам модели, которые извлекаются из данных по β -распаду ^{16}N , дипольному поглощению γ -квантов ядром ^{16}O и спектру уровней ^{16}O и ^{16}N . Варьирование касалось различных параметров: формы потенциала остаточного взаимодействия (потенциал Гаусса и Юкавы), амплитуды и радиуса нуклон-нуклонных взаимодействий, параметра $r_0 = \sqrt{\frac{\hbar}{m\omega}}$ осцилляторных функций, описывающих движение нуклонов в ядре. Экспериментальные данные не удается согласовать с результатом расчета при разумных значениях параметров модели. Это может быть связано с неоднозначностью имеющихся экспериментальных данных. В противном случае, по-видимому, надо пойти дальше простого варьирования параметров модели.

В диссертации рассмотрена асимметрия ядер отдачи ^{16}N с учетом вероятностей переходов на возбужденные состояния. Значение коэффициента асимметрии a очень слабо зависит от параметров модели. Поэтому измерение a , при всей своей сложности, могло бы дать весьма надежные сведения о величине g_p .

Существенным дополнением к опытам на He^3 и ^{16}O могли бы быть эксперименты на ^{13}C . В диссертации показано, что в случае захвата μ^- -мезонов из нижнего состояния сверхтонкой структуры мезоатома в ^{13}C вероятность очень сильно зависит от константы индуцированного псевдоскаляра g_p . Матричный элемент перехода сводится к матричному элементу β -распада.

В главе VI рассмотрен основной канал в реакции поглощения μ^- -мезонов - захват с испусканием нейтронов. До последнего времени теория таких переходов развивалась в рамках одночастичной (оптической) модели. Такой подход подобен теории прямого ядерного фотоэффекта. Известно, однако, что одночастичная (оптическая) модель в проблеме фотоэффекта оказалась неудовлетворительной. Причина такого положения заключается в том, что при оптическом подходе теряется существенная часть амплитуды, соответствующая резонансным эффектам.

Учитывая опыт развития проблемы фотоядерных реакций, важно было рассмотреть роль резонансных эффектов и в задаче μ^- -захвата. Этот вопрос был поставлен в работах /8-11/. Современная оболочечная модель позволяет дать количественное описание резонансного эффекта. Его важнейшим элементом является учет парных нуклонных взаимодействий. Как и в проблеме дипольных возбуждений, парные остаточные взаимодействия не только приводят к смещению квазистационарных уровней ядра относительно положения, даваемого одночастичной моделью, но и являются источником сильного обогащения спектров продуктов распада.

Конкретные расчеты спектров нейтронов, возникающих при захвате μ^- -мезонов, были проведены для ядер ^{16}O и ^{40}Ca .

Учет правил отбора при μ^- -захвате приводит к тому, что в данном случае наиболее интенсивными оказываются переходы первого запрета, соответствующие частично-дырочному возбуждению типа $(1p)^{-1}(2s\ 1d)$ с $J=0^-, 1^-$ и 2^- в ^{16}O и $(2s, 1d)^{-1}(2p\ 1f)$ с $J=0^-, 1^-$ и 2^- в ^{40}Ca . Разрешенные переходы типа $(1s \rightarrow 2s)$, $(1p \rightarrow 2p)$ и т.д., соответствующие высокому возбуждению ядра, ослаблены в силу правил отбора по главному квантовому числу. Вклад переходов более высокого порядка запрета оказывается также значительно меньшим.

Получен полный нейтронный спектр. Оказалось, что резонансный механизм дает большой вклад в жесткую часть спектра (отношение вклада нейтронов резонансного механизма вплоть до энергий порядка 10 Мэв больше вклада нейтронов прямого процесса). Это находится в соответствии с проведенным ранее анализом распада дипольных состояний: жесткая часть спектра фотопротонов и фотонейтронов, соответствующая гигантскому резонансу, обязана в основном не прямому механизму фоторасщепления, а распаду дипольных состояний на низколежащие дырочные состояния остаточного ядра. Этот эффект обусловлен смешиванием оболочечных конфигураций, т.е. влиянием парных остаточных взаимодействий, недиагональных по одночастичным конфигурациям. Он полностью исчезает в одночастичной, в частности, оптической модели.

Полученные результаты приводят к выводу о ненадежности использования оптической модели для интерпретации данных по захвату μ^- -мезонов на ядрах с вылетом нейтронов, по крайней мере при энергиях вылетевшего нейтрона $E_n < 10$ Мэв.

В связи с этим представляется, что для того, чтобы можно было с уверенностью извлекать константы мюон-нуклонного взаимодействия из нейтронных экспериментов, следует предварительно поставить специальные эксперименты по изучению самого механизма захвата и, в частности, роли резонансных эффектов.

Почти одновременно с работой ^{/11/} вопрос о роли резонансного механизма в μ^- -захвате был поднят Фолди и Валенка ^{/12/} в связи с расчетом полной вероятности захвата.

Результаты, вошедшие в диссертацию, были доложены на XII международной конференции по физике высоких энергий в 1964 году в г.Дубне, на IV и V всесоюзных конференциях по теории элементарных частиц в г. Ужгороде и опубликованы в работах /4-8, 8-11/.

Л и т е р а т у р а

1. R.P.Feynman, M.Gell-Mann. Phys. Rev., 109, 193 (1958).
2. E.C.G.Sudarshan, R.E.Marshak. Phys. Rev., 109, 1860 (1958).
3. M.Morita, A.Fujii. Phys. Rev., 118, 606 (1960).

4. Г.Я.Коренман, Р.А.Эрамжян. Препринт ОИЯИ, Р-2063, Дубна, 1965;
5. Г.Я.Коренман, Р.А.Эрамжян. Препринт ОИЯИ, Р-1160, Дубна, 1962.
6. Г.Я.Коренман, Р.А.Эрамжян. ЖЭТФ, 45, 1111 (1963).
7. И.С.Шапиро, Л.Д.Блохинцев. ЖЭТФ, 39, 1112 (1962).
8. В.В.Балашов, В.Б.Беляев, Р.А.Эрамжян. Препринт ОИЯИ, Р-887, Дубна, 1962.
9. В.В.Балашов, Н.М.Кабачник, Р.А.Эрамжян. Доклад на XII всесоюзной конференции по теории элементарных частиц. Ужгород, 1963.
10. В.В.Балашов, В.Б.Беляев, Н.М.Кабачник, Г.Я.Коренман, Р.А.Эрамжян. Труды международной конференции по физике высоких энергий. Дубна, 1964.
11. В.В.Балашов, В.Б.Беляев, Н.М.Кабачник, Р.А.Эрамжян. Phys. Lett., 9, 168 (1964).
12. L.L. Foldy, J.D. Walecka. Nuovo Cimento, 34, 1026 (1964).

Рукопись поступила в издательский отдел
29 апреля 1965 г.