

B-46

23/vii

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

P1 - 5122



Л. Вильгельмова, В.С. Евсеев, Л.Н. Никитюк,
В.Н. Покровский, И.А. Ютландов

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

ВЕРОЯТНОСТЬ РЕАКЦИИ ($\mu, \nu p$)
НА ЯДРАХ ^{28}Si И ^{39}K

1970

Л. Вильгельмова, В.С. Евсеев, Л.Н. Никитюк,
В.Н. Покровский, И.А. Ютландов

ВЕРОЯТНОСТЬ РЕАКЦИИ (μ, ν р)
НА ЯДРАХ ^{28}Si И ^{39}K

Направлено в ЯФ



8410/2
нр

1. Введение

В последнее время все большее внимание привлекает теория резонансного механизма μ - захвата^{/1,2/}, которая дает единую основу для рассмотрения различных проблем мюон-ядерного взаимодействия. Известные к настоящему времени экспериментальные факты подтверждают выводы этой теории или, во всяком случае, не противоречат им (см., например,^{/2/}).

Эта теория, в частности, предсказывает некоторые общие закономерности в испускании тяжелых заряженных частиц при μ -захвате. Так, спектр заряженных частиц должен быть преимущественно мягким; испускание заряженной частицы, по-видимому, часто сопровождается испусканием нейтрона; с приближением структуры ядра-мишени к замкнутой оболочке полная вероятность испускания заряженных частиц убывает и т.п.^{/2/}.

Предлагались и другие механизмы для объяснения испускания заряженных частиц при μ -захвате (см., например, обзор^{/1/}). Однако расчеты по той или иной модели доводились до числовых оценок лишь для небольшого числа ядер и не для всех возможных каналов испускания заряженных частиц. Накопление экспериментального материала, как можно надеяться, должно будет стимулировать выполнение таких оценок.

Во всех опубликованных до настоящего времени экспериментальных исследованиях использовались те или иные методы регистрации испускаемых заряженных частиц. Однако обычно применявшиеся методы не дают оценки полной вероятности испускания заряженных частиц вследствие существования энергетического порога регистрации, а некоторые из них (например, фотоэмульсионные методы) даже не позволяют точно идентифицировать ядро-мишень.

Для определения полной вероятности испускания той или иной заряженной частицы целесообразно воспользоваться активационным методом, т.е. идентификацией конечного ядра по его радиоактивности. Действительно, при этом тип испущенной частицы определен по исходному и конечному ядрам (с той оговоркой, что отличить, например, испускание дейтрона от испускания протона совместно с нейтроном можно только с помощью дополнительных соображений); энергетический порог регистрации в данном случае отсутствует.

В настоящей работе этим методом определены вероятности реакций (μ^- , νp) на ядрах ^{28}Si и ^{39}K .

2. Постановка эксперимента

2.1. Мишень и условия облучения

Мишени представляли собой элементарный Si (полупроводниковой чистоты) в виде крошки и безводный KF (квалификации чда), запактованные в прямоугольные пенополистироловые контейнеры. Вес мишеней составлял 160 г (Si) и 400 г (KF); толщина по пучку - около 4 г/см^2 и 8 г/см^2 соответственно.

Облучение производилось на мезонном канале синхроциклотрона ОИЯИ отрицательными мюонами с импульсом 150 Мэв/с; примесь пионов в максимуме мюонных остановок составляла $0,002^{/3/}$. Время облучения равнялось 30 мин в случае Si и 3,0 - 3,5 час в случае KF.

Экспериментальная установка и логическая схема, позволявшая находить число μ^- -остановок в мишени, были описаны ранее ^{/4,5/}, там же указана процедура введения необходимых поправок для перехода к числу захватов мюонов ядрами мишени. Кроме того, в случае KF надо учитывать вероятности посадки мюонов на различные атомы в химических соединениях. Эти вероятности были определены с помощью описанной в работе ^{/6/} установки для регистрации электронов от μ^- -распада; магнитное поле установки было выключено, так что наблюдались чисто экспоненциальные кривые распада. Каждая экспонента соответствовала посадке мюона на тот или иной атом.

Было найдено, что в случае KF доля мюонов, садящихся на атом калия, составляет $W(K) = 0,54 \pm 0,02$. Заметим, что согласно закономерности, предложенной в работе ^{/7/}, эта величина должна быть равна 0,58 или 0,76.

2.2. Измерения активности

Активность ^{27}Mg ($T_{1/2} = 9,46$ мин, $E_{\gamma} = 840$ кэв), конечного продукта реакции $^{28}\text{Si}(\mu^-, \nu p)$, определялась в тех же самых опытах и тем же самым методом, что и активность других продуктов μ^- -захвата на кремнии ^{/5/}.

Активность ^{38}Cl ($T_{1/2} = 37,14$ мин, $E_{\gamma} = 2\ 170$ кэв), конечного продукта реакции $^{39}\text{K}(\mu^-, \nu p)$, определялась после химического выделения хлора из облученной мишени KF. Для этого мишень растворялась в 1600 мл 1%-ного раствора KOH, содержащего носитель для хлора. В процессе растворения в раствор вводилось 50 мл концентриро-

ванной HNO_3 . К полученному раствору прибавлялся избыток AgNO_3 . Осадок AgCl отделялся от охлажденного раствора центрифугированием и промывался слабым раствором HNO_3 (1:99) до полного удаления ионов серебра. Промытый осадок растворялся в 2 мл концентрированной гидроокиси аммония, раствор разбавлялся водой, и AgCl снова осаждался прибавлением 10 мл концентрированной HNO_3 . Осадок центрифугировался, переносился на диск фильтровальной бумаги и подсушивался при температуре 110°C .

Определение химического выхода хлора производилось по окончании измерений. Осадок AgCl на фильтре сжигался, обрабатывался горячей HNO_3 и растворялся в NH_4OH , после чего серебро осаждалось бензотриазолом при $\text{pH} = 7$ в присутствии комплексона III. Осадок фильтровался через стеклянный фильтр №3, промывался водой, высушивался при температуре $110-120^\circ\text{C}$ и взвешивался. Химический выход составлял в среднем около 75%. При этом вводилась поправка на содержание Cl в веществе мишени, которая достигала 13%.

Время, требующееся на все химические операции по выделению хлора, составляло около 80 мин.

Измерение активности ^{38}Cl производилось на γ -спектрометре с кристаллом $\text{NaI}(\text{Tl})$ размером 70 x 70 мм, проградуированном с помощью источников с известной абсолютной активностью.

2.3. Фоновые условия

Как и ранее ^{/4,5/}, для контроля производились облучения мишеней без графитового фильтра, т.е. на пучке незаторможенных мюонов, где примесь пионов составляла $0,015^{/3/}$. При этом наблюдалась некоторая активация мишени, находившаяся на уровне фона; измеренный γ -спектр в этом случае не содержал никаких указаний на отдельные линии. Таким образом, контрольные эксперименты исключают возможность образования

продуктов изучаемых реакций за счёт общего фона в экспериментальном зале.

Вообще говоря, в условиях эксперимента возможно возникновение дополнительного фона за счёт нуклонов, образующихся при остановке пучка мюонов в фильтре и мишени (в нашем случае наиболее существенен, по-видимому, вклад от реакции $(n, 2p)$). Проведенные оценки показали, что упомянутыми эффектами можно пренебречь.

3. Результаты и обсуждение

Кремний. С учётом образования ^{27}Mg из $^{29,30}\text{Si}$ полученный результат можно записать в виде:

$$W_{\mu^-, \nu p} ({}^{28}\text{Si}) \left[1 + 0,051 \frac{W_{\mu^-, \nu p n} ({}^{29}\text{Si})}{W_{\mu^-, \nu p} ({}^{28}\text{Si})} + 0,034 \frac{W_{\mu^-, \nu p 2n} ({}^{30}\text{Si})}{W_{\mu^-, \nu p} ({}^{28}\text{Si})} \right] = 0,056 \pm 0,008.$$

В указанную погрешность примерно равный вклад вносят статистическая ошибка определения W и систематическая ошибка в определении эффективности фоторегистрации.

С точки зрения резонансного механизма μ^- -захвата вероятность испускания той или иной частицы, при прочих равных условиях, определяется ее энергией связи в промежуточном ядре. Так как можно предположить, что энергии возбуждения ядер $^{28,29,30}\text{Al}$ различаются не очень сильно, а вероятная энергия возбуждения ^{28}Al , по данным /8/, составляет около 15–20 Мэв, то, привлекая данные таблицы, можно заключить, что $W_{\mu^-, \nu p n} ({}^{29}\text{Si})$, по-видимому, близко по величине к $W_{\mu^-, \nu p} ({}^{28}\text{Si})$, а $W_{\mu^-, \nu p 2n} ({}^{30}\text{Si})$ — заметно меньше $W_{\mu^-, \nu p} ({}^{28}\text{Si})$. Иными словами, суммарная поправка составляет около 5% (и вряд ли превосходит 10%), т.е. $W_{\mu^-, \nu p} ({}^{28}\text{Si}) = 0,053 \pm 0,010$.

Согласно работе ^{/9/}, полная вероятность испускания заряженных частиц (главным образом протонов) при μ^- -захвате на ^{28}Si составляет $0,15 \pm 0,02$. Из сравнения этих величин можно заключить, что вероятность совместного испускания протона и нейтрона по крайней мере не меньше вероятности канала $(\mu^-, \nu p)$. Это заключение согласуется с величинами энергии связи нейтрона и протона в промежуточных ядрах $^{28,27}\text{Al}$ (см. таблицу). Качественный вывод о заметной вероятности реакции $^{28}\text{Si}(\mu^-, \nu pn)$ была сделан также в работе ^{/10/}, из данных которой следует, что эта вероятность составляет, по-видимому, около $0,05 - 0,07$.

Следует заметить также, что сумма вероятностей каналов $(\mu^-, \nu p)$ и (μ^-, ν) ^{/5/}, представляющая практически вероятность захвата мюона без последующего испускания нейтронов, равна $0,33 \pm 0,04$. Это значение хорошо согласуется с величиной $0,36 \pm 0,06$, которая может быть получена из данных ^{/11/} (см. ^{/4/}).

Таблица
Энергии связи ^{/12/} различных частиц в промежуточных ядрах, Мэв

Ядро	E_n	E_p	E_α
³⁰ Al	7,00	-	11,85
²⁹ Al	9,44	10,49	11,25
²⁸ Al	7,72	9,56	10,86
²⁷ Al	13,07	8,27	10,09
⁴¹ Ar	6,10	12,80	8,20
⁴⁰ Ar	9,88	12,52	6,81
³⁹ Ar	6,58	10,72	6,81
³⁸ Ar	11,84	10,35	7,21

Калий. Полученный результат, так же как и в случае кремния, можно записать ^{x/} в виде:

$$W_{\mu^-, \nu p} (^{39} \text{K}) \left[1 + 0,074 \frac{W_{\mu^-, \nu p 2n} (^{41} \text{K})}{W_{\mu^-, \nu p} (^{39} \text{K})} \right] = 0,032 \pm 0,006 ,$$

где погрешность представляет собой полную ошибку определения. Поправочный член в этом выражении, по-видимому, невелик, так как соотношение энергий связи в промежуточных ядрах (см. таблицу) не благоприятствует испусканию протонов, даже совместно с нейтронами; кроме того, для осуществления реакции $(\mu^-, \nu p 2n)$ требуется заметно большая энергия возбуждения, чем в случае реакции $(\mu^-, \nu p)$. Исходя из этих соображений, мы не вводим такой поправки.

Уменьшение $W_{\mu^-, \nu p}$ на ³⁹K по сравнению с аналогичной величиной для ²⁸Si частично может быть объяснено увеличением кулоновского барьера, а частично — соотношением энергий связи, благоприятствующим испусканию α -частиц, т.е. образованию изотопов ³⁴S и ³⁵S. К сожалению, изотоп ³⁴S стабилен, а период полураспада ³⁵S настолько велик (86,7 дня), что при существующих интенсивностях мюонных пучков соответствующую радиоактивность обнаружить трудно.

Отсутствие теоретических оценок вероятности испускания протонов или протонов совместно с нейтронами при μ -захвате на исследованных ядрах не позволяет, к сожалению, провести количественное сравнение с выводами той или иной модели. Можно только отметить, что полученные нами результаты не противоречат качественным выводам резонансной модели захвата.

^{x/} Вклад от малораспространенного изотопа ⁴⁰K не учитывался.

В заключение авторы приносят искреннюю благодарность Р. Эрам-
жяну за полезные дискуссии и Т. Козловскому, И. Войтковской, В.С. Ро-
ганову, В.Н. Рыбакову и персоналу измерительного центра ЛЯП за по-
мощь при выполнении настоящей работы.

Л и т е р а т у р а

1. В.В. Балашов, Р.А. Эрамжян. Препринт ОИЯИ, P2-3258, Дубна, 1967.
2. V.V. Balashov, R.A. Eramhjan, N.M. Kabachnik et al. Preprint E4-4601, Dubna, 1969.
3. В.С. Роганов. ОИЯИ, Б1-9-4707, Дубна, 1969.
4. Г.Г. Бунатян, В.С. Евсеев, Л.Н. Никитюк и др. ЯФ, 9, 783 (1969).
5. Г.Г. Бунатян, В.С. Евсеев, Л.Н. Никитюк и др. Препринт ОИЯИ, P1-4609, Дубна, 1969.
6. А.М. Бабаев, М.Я. Балац, Г.Г. Мясишева и др. ЖЭТФ, 50, 877 (1966).
7. В.Г. Зинов, А.Д. Конин, А.И. Мухин. ЯФ, 2, 859 (1965).
8. В.Г. Шевченко. Труды международной конференции по электромагнитным взаимодействиям при низких и средних энергиях, М., 1967, т. 3, стр.206.
9. S.E. Sobottka, E.L. Wills. Phys.Rev.Lett., 20, 598 (1968).
10. T.A.E.C. Pratt. Nuovo Cim., 61, 119 (1969).
11. B. Macdonald, J.A. Diaz, S.N. Kaplan, R.V. Pyle. Phys.Rev., 139, B1253 (1965).
12. В.А. Кравцов. Массы атомов и энергии связи ядер. Атомиздат, 1965.

Рукопись поступила в издательский отдел

18 мая 1970 года.