

СЗ 46.35

Б-91

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна.

3496/1-71



P1 - 6006

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

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

ВЕРОЯТНОСТЬ ПРОЦЕССА (μ^-, ν)
НА ЯДРАХ ^{139}La И ^{208}Pb

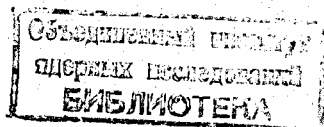
1971

P1 - 6006

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

ВЕРОЯТНОСТЬ ПРОЦЕССА (μ, ν)
НА ЯДРАХ ^{139}La И ^{208}Pb

Направлено в ЯФ



SUMMARY

With the finite Fermi-system methods proved to be successful in calculating the total muon capture rates in nuclei ^{12/}, the comparison of the theoretical and experimental values of certain partial capture rates, e.g. those of the (μ^- , ν) process probabilities, appeared to be appropriate for a further investigation of the suitability of these methods.

For the ²⁷Al, ²⁸Si, ⁵¹V and ⁵⁶Fe nuclei ^{13,4/} the theoretical $W_{\mu^-,\nu}$ estimates gave qualitative account for the experimental values while the quantitative agreement turned out to be worse than for the total capture rates. This discrepancy supposed being smaller for heavier nuclei ^{14/}, we have now determined the $W_{\mu^-,\nu}$ value for the ¹³⁹Ba and ²⁰⁸Pb nuclei.

The determinations were carried out by the activation technique, our experimental layout and conditions described earlier ^{13,4/}. The activities of the (μ^- , ν) reaction products were measured on scintillation γ -spectrometers, the ¹³⁹Ba activity determined after the radiochemical separation while that of ²⁰⁸Tl measured without separation.

The main results are presented in the Table. The targets and our experimental results are indicated in the first two columns. The value of the probability of muon capture without subsequent neutron emission for natural Pb (evaluated from data ^{17/}) is given in column 3. The reasons for the evident disagreement are unclear; for the ²⁷Al, ²⁸Si and ⁵⁶Fe nuclei the agreement was quite satisfactory. The experimental and theoretical total capture rates are quoted in the next two columns. The theoretical $W_{\mu^-,\nu}$ estimates, Λ' denoting the muon capture rate on the levels placed below the threshold of particle emission, are presented in the last column.

It may be worth noting that in the case of ²⁰⁸Pb the dipole transitions yield is negligible and the major yield results from the quadrupole transitions due to axial and induced pseudoscalar interactions: $\Lambda_2^{GT} = 9,64 \cdot 10^5 \text{ sec}^{-1}$ while total $\Lambda' = 12,7 \cdot 10^5 \text{ sec}^{-1}$.

1. Введение

При расчетах скорости захвата отрицательных мюонов ядрами, Λ , обнаружилось, что необходимо последовательно учитывать коллективные эффекты в ядре (см., например, /1/). Действительно, вычисления Λ с помощью, например, методов теории конечных ферми-систем почти для 30 сферических ядер /2/ привели, в отличие от оболочечных расчетов, к хорошему согласию с экспериментом.

Для дальнейшей проверки принятого метода вычислений полезно сравнить теоретические и экспериментальные значения парциальных вероятностей перехода на отдельные уровни ядра-продукта, либо на группы уровней, скажем, находящихся ниже порога испускания нуклонов. Значения скорости захвата на группу уровней, видимо, менее чувствительны к деталям расчета, но легче поддаются экспериментальному определению.

В наших предшествующих работах /3,4/ активационным методом были определены величины $W_{\mu-\nu}$ (относительные вероятности процесса захвата μ -мезона, не сопровождающегося вылетом нуклонов) для ядер ^{27}Al , ^{28}Si , ^{51}V , ^{56}Fe . Значения $W_{\mu-\nu}$ сравнивались с величиной Λ'/Λ , где Λ' - скорость захвата, просуммированная лишь по тем состояниям, энергия которых меньше порога испускания наименее связанной частицы (подробнее см. /3/). Оказалось, что теоретические оценки качественно передают изменения парциальной вероятности захвата

при переходе от ядра к ядру, но по абсолютным значениям отличаются от экспериментальных примерно в 1,5 раза. Высказано предположение^{/4/}, что это различие может быть объяснено погрешностями расчета, обусловленными пренебрежением эффектами смешивания конфигураций и спаривания. Эти эффекты могут заметно сказываться в случае сравнительно легких ядер, когда значения Λ' практически полностью определяются захватом на малое число уровней дискретного спектра и притом, как правило, преимущественно на один из них.

В тяжелых ядрах, имеющих богатый спектр возбужденных состояний, указанные погрешности должны сказываться гораздо слабее. В связи с этим в настоящей работе и были определены, также активационным методом, вероятности процесса (μ^-, ν) для ядер ^{139}La и ^{208}Pb .

2. Постановка эксперимента

2.1. Мишени и условия облучения

Мишени представляли собой элементарные La (в виде жести) и Pb (в виде мелкой стружки), запакованные в прямоугольные пенополистироловые контейнеры. Вес мишеней составлял 200 г (La) и 330 г (Pb); толщина по пучку — около 5 и 7,5 г/см² соответственно.

Облучение мишеней производилось на мезонном канале синхроциклотрона ОИЯИ. Характеристики мезонного пучка и описание экспериментальной установки (расположение счетчиков; логическая схема, позволяющая находить число μ -остановок в мишени; наличие кадмиевого кожуха для защиты от нейтронного фона и т.д.) были приведены ранее^{/3,4/}. Там же указана процедура введения необходимых поправок для перехода к числу захватов мюонов ядрами мишени.

Длительность облучения мишени La составляла 4-5 час, а мишени Pb - 20 мин. Всего, вместе с контрольными (см. 2.3), было проведено 5 опытов с La и 15 - с Pb ; интенсивность μ -остановок в мишенях составляла около $7 \cdot 10^3$ 1/сек.

2.2. Измерения активности

Активность конечного продукта реакции $^{139}La(\mu^-, \nu)$, нуклида ^{139}Ba ($T_{1/2} = 82,9$ мин, $E_{\gamma} = 166$ кэв, $\eta_{\gamma} = 22\%$ на распад ^{15,6/}), определялась после химического выделения бария из облученной мишени. Для этого мишень растворялась в 1000 мл HCl (1:1), содержащей 200 мг Ba в качестве носителя и небольшое количество концентрированной HNO_3 ; Раствор подщелачивался аммиаком, к нему добавлялось 250 мл 4М H_2SO_4 ; образовавшийся осадок $BaSO_4$ отделялся центрифугированием и промывался водой. Образец для измерений имел вид диска с ϕ 10 мм и плотностью $\approx 0,3$ г/см². На химические операции тратилось около 2,5 час.

Измерение активности ^{139}Ba производилось на γ -спектрометре с кристаллом $NaI(Tl)$ диаметром и высотой 70 мм, фотоэффективность которого была известна. Поправка на поглощение квантов с $E_{\gamma} = 165$ кэв в образце составляла около 15%.

После конца измерений производилось определение химического выхода. Для этого сульфат бария переводился в карбонат, который растворялся в HCl ; затем осаждался хромат бария. Количество бария определялось путем титрования хромата раствором соли Мора. Обычно химический выход был около 75%.

Активность конечного продукта реакции $^{208}Pb(\mu^-, \nu)$, нуклида ^{208}Tl ($T_{1/2} = 3,10$ мин, $E_{\gamma} = 2614$ кэв, $\eta_{\gamma} = 100\%$ на распад ^{15/}), идентифицировалась и измерялась без химического выделения на γ -спектрометре с кристаллом $NaI(Tl)$ диаметром и высотой 100 мм. Эффективность

фоторегистрации для источников, распределенных по объему мишени, определялась в специальном опыте с помощью изотопа ^{24}Na ($E_{\gamma} = 1368$ и 2754 кэв). Процедура измерений и калибровки аналогична описанной в /4/.

В условиях наших опытов активность конечных продуктов реакции (μ , ν) составляла на конец облучения, с учетом всех необходимых поправок, 250–300 расп/сек.

2.3. Фоновые условия

Как и ранее /3,4/, для контроля производились облучения мишеней на пучке незаторможенных мюонов.

При контрольном облучении La следов активности ^{139}Ba обнаружено не было. Заметим, что и в контрольных, и в рабочих опытах в образцах присутствовала слабая активность, идентифицированная по периоду полураспада и γ -спектру как принадлежащая ^{223}Ra и его дочерним продуктам. Специальными опытами было установлено, что такая активность присутствует и в исходном лантане. Это, вероятно, обусловлено загрязнением La его химическим аналогом, актинием (на уровне около $5 \cdot 10^8$ атомов ^{227}Ac на 1 г мишени); при распаде наиболее долгоживущего природного изотопа ^{227}Ac накапливался ^{223}Ra , который при химических операциях был, естественно, выделен вместе с барием.

При контрольном облучении Pb наблюдалась некоторая активность мишени, находившаяся на уровне фона детектора и не обнаружившая сколь-нибудь четких γ -линий. Полученный таким образом спектр принимался за фоновый и вычитался при обработке. Заметим, что при этом под фотопиком γ 2615 кэв остается небольшой пьедестал, обусловленный эффектом суммирования с более слабыми γ -переходами, идущими с расположенных выше уровней.

Таким образом, контрольные эксперименты исключают возможность образования продуктов изучаемых реакций за счет общего фона в экспериментальном зале. В условиях эксперимента, вообще говоря, возможно образование изучаемых ядер за счет нуклонов, возникающих при остановке мюонов в фильтре и мишени; в нашем случае наиболее существен, по-видимому, вклад от реакции (n, p) . Проведенные оценки показали, что упомянутыми эффектами можно пренебречь.

3. Результаты и обсуждение

Полученные нами значения $W_{\mu, \nu}$ приведены в таблице; указаны полные средне-квадратичные погрешности. В случае $L\alpha$ основной вклад в погрешность обусловлен не слишком высокой статистической точностью результатов и разбросом опытов. В случае же Pb ошибки в значительной степени связаны с возможными систематическими погрешностями, например, в эффективности регистрации.

Таблица

Ядро- мишень	$W_{\mu, \nu}$, % наши данные	$W'_{\mu, \nu}$, % (данные [7])	$\Lambda \cdot 10^5 \text{ сек}^{-1}$ эксп. [8]	$\frac{\Lambda'}{\Lambda}$, % теор. Λ
$^{139}L\alpha$	4 ± 1	-	$107,1 \pm 1,0$	93 5,9
^{208}Pb	$9 \pm 1,5$	0 ± 4	$127,0 \pm 1,1$	120 10,6

В третьей графе таблицы приведено значение $W'_{\mu, \nu}$ вероятности захвата мюона без последующего испускания нейтронов (но, возможно, с испусканием заряженных частиц) для естественной смеси изотопов

Pb , вычисленное (см. /3/) из данных /7/. Причины сильного расхождения с нашими данными неясны; ранее /3,4/ для ядер ^{27}Al , ^{28}Si , ^{56}Fe наблюдалось вполне приемлемое согласие. Указанное расхождение окажется в пределах погрешностей экспериментов, если предположить, что $W_{\mu^-, \nu}^{(206, 207 Pb)} = 0$, но это предположение вряд ли обосновано. Отметим, что в наших экспериментах активности $^{206, 207}Tl$ не могли быть замечены, так как эти изотопы испытывают практически чистый β -распад.

В следующих графах таблицы приведены экспериментальные и теоретические значения Λ , полной скорости захвата мюонов. Экспериментальное значение $\Lambda(^{208}Pb)$ вычислено из данных /8/ для естественной смеси изотопов Pb , с учетом изотопического эффекта по формуле Примакова. Теоретические значения Λ рассчитаны методом теории конечных ферми-систем /2/. Как и ранее /2,4/, можно отметить вполне удовлетворительное согласие $\Lambda_{\text{эксп.}}$ и $\Lambda_{\text{теор.}}$.

Наконец, в последней графе таблицы приведена теоретическая оценка Λ'/Λ . Можно отметить хорошее согласие с экспериментом для ^{208}Pb и приемлемое согласие для ^{139}La .

Стоит отметить также, что в случае ^{208}Pb вклад от дипольных переходов, аналогичный обычному дипольному резонансу, пренебрежимо мал; это обусловлено большим избытком нейтронов в ядре /2/. Здесь основной вклад вносят квадрупольные переходы, обусловленные аксиальному и индуцированному псевдоскалярному взаимодействию $\Lambda_2^{GT} = 9,64 \cdot 10^5 \text{ сек}^{-1}$, тогда как полное $\Lambda' = 12,7 \cdot 10^5 \text{ сек}^{-1}$.

Заметное уменьшение $W_{\mu^-, \nu}$ и Λ' для ^{139}La по сравнению с этими величинами для ^{208}Pb объясняется малой разностью масс ядер ^{139}Ba и ^{139}La , а также не очень большой энергией связи нейтрона в ядре ^{139}Ba , так что максимум в спектре возбуждения приходится на уровни, лежащие в основном выше порога испускания нуклонов.

В заключение авторы выражают благодарность Т.Н. Мамедову и коллективу измерительного центра ЛЯП за помощь в работе.

Л и т е р а т у р а

1. В.В. Балашов, Р.А. Эрамжян. Препринт ОИЯИ Р2-3258, Дубна, 1967.
2. Г.Г. Бунатян. ЯФ, 3, 833, 1966.
3. Г.Г. Бунатян, В.С. Евсеев, Л.Н. Никитюк и др. ЯФ, 9, 783, 1969.
4. Г.Г. Бунатян, В.С. Евсеев, Л.Н. Никитюк и др. ЯФ, 11, 795, 1970.
5. С.М. Lederer, J.M. Hollander, J. Perlman. Table of Isotopes, 1967.
6. G. Berzins, M.E. Bunker, J.W. Starner. Nucl. Phys., A128, 294 (1969).
7. B. McDonald, J.A. Diaz, S.N. Kaplan, R.V. Pyle. Phys. Rev., 139, B1253, 1965.
8. M. Eckhause, R.T. Siegel, R.E. Welshc, T.A. Filippas. Nucl. Phys., 81, 575, 1966.

Рукопись поступила в издательский отдел

17 августа 1971 года.