

## ИЗОТОПИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ЯДЕРНОМ ЗАХВАТЕ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МЮОНОВ В КСЕНОНЕ

Т.Н.Мамедов<sup>1)</sup>, В.Г.Гребинник, К.И.Грицай, В.Н.Дугинов, В.А.Жуков,  
В.Г.Ольшевский, А.В.Стойков

Объединенный институт ядерных исследований  
141980 Дубна, Московская обл., Россия

Поступила в редакцию 10 мая 2000 г.

Измерено время жизни отрицательных мюонов, находящихся в  $1s$ -состоянии  $^{129}\text{Xe}$ . Полученная из этих измерений скорость ядерного захвата мюонов в  $^{129}\text{Xe}$  сравнивается с аналогичными результатами для изотопов  $^{132},^{136}\text{Xe}$ . Наблюдается значительная зависимость скорости ядерного захвата мюонов от массового числа указанных выше изотопов. Экспериментальные результаты сравниваются с расчетами по полуэмпирической формуле Голарда-Примакова.

PACS: 23.40.-s, 27.40.+z, 27.60.+j

В ранних работах [1–3] по развитию теории ядерного захвата отрицательных мюонов  $\mu^- + (Z, A) \rightarrow (Z - 1, A)^* + \nu_\mu$  (где  $Z$  и  $A$  – заряд и массовое число ядра) предсказывалось значительное различие в скорости захвата мюонов изотопами одного и того же элемента. При этом изотопический эффект предсказывался независимо от использованной в расчетах конкретной модели ядра.

Общее поведение скорости ядерного захвата мюонов для различных значений  $Z$  и  $A$  дает полуэмпирическая формула Голарда–Примакова [4], из которой следует, что скорость захвата мюонов ядрами с одинаковым  $Z$  уменьшается с увеличением избытка нейтронов  $(A - Z)/2A$ . Экспериментально такой эффект наблюдался для нескольких ядер [5]. В ряде работ были получены данные только для двух ядер с разными  $A$  и одинаковыми  $Z$ , что ограничивало возможность изучения функциональной зависимости скорости захвата в более широком диапазоне изменения избытка нейтронов в ядре. В некоторых работах использовались образцы с недостаточной чистотой по исследуемому изотопу, что уменьшало ценность полученных результатов.

Более надежные данные для проверки изотопического эффекта получены в работе [6], где исследовались 4 изотопа хрома ( $^{50},^{52},^{53},^{54}\text{Cr}$ ) и 3 изотопа никеля ( $^{56},^{60},^{62}\text{Ni}$ ). Результаты этой работы не противоречат предсказанию формулы Примакова [3] и хорошо согласуются с результатами теоретических работ [7, 8], где использовалась модель оболочек с учетом остаточного взаимодействия нуклонов внутри ядра.

В настоящей работе представлены сводные данные по скорости захвата отрицательных мюонов в изотопах  $^{129},^{132},^{136}\text{Xe}$ . Измерения скорости захвата в  $^{132},^{136}\text{Xe}$  были проведены ранее в наших работах [9, 10]. В общей сложности Xe имеет 9 стабильных изотопов, что позволяет провести измерения изотопического эффекта в большом диапазоне изменения массового числа. Представленные результаты относятся пока к трем наиболее доступным для нас изотопам, имеющим заметное процентное содержание в естественной смеси.

<sup>1)</sup> e-mail: tmamedov@nu.jinr.ru

Эксперименты проводились по обычной  $\mu SR$ -методике и состояли в измерении полной скорости исчезновения мюонов из  $1s$ -состояния изучаемого изотопа путем регистрации электронов  $\mu^- \rightarrow e^-$ -распада. Описание деталей экспериментов можно найти в работах [9–11]. Использовались твердые замороженные образцы из ксенона. Ниже приводятся данные по чистоте исследованных образцов:

$$\begin{aligned} {}^{129}\text{Xe} &- 99.91\%, & {}^{128}\text{Xe} &- 0.08\%; \\ {}^{132}\text{Xe} &- 95.1\%, & {}^{131}\text{Xe} &- 4.9\%; \\ {}^{136}\text{Xe} &- 94\%, & {}^{134}\text{Xe} &- 5.9\%. \end{aligned}$$

Экспериментальные данные аппроксимировались по методу наименьших квадратов следующим выражением (внешнее магнитное поле менее  $10^{-2}$  Э):

$$N(t) = \sum_{i=1}^3 N_i(0) \exp(t/\tau_i) + Bg, \quad (1)$$

где  $N_i(0)$  – счета электронов в момент времени  $t = 0$ ,  $\tau_{1,2,3}$  – времена жизни отрицательного мюона в  $1s$ -состоянии в Хе, Al и С, соответственно (Al и С содержатся в стенках мишенной камеры и сцинтилляторах),  $Bg$  – фон случайных совпадений, который составил приблизительно 0.15% от суммарного вклада компонент  $N_i(0)$ . Времена жизни мюонов в Al и С фиксировались согласно табличным данным [5]:  $\tau(\text{Al}) = 864.0 \pm 2.0$  нс,  $\tau(\text{C}) = 2026.3 \pm 1.5$  нс.

Ядра  ${}^{132}\text{Xe}$  и  ${}^{136}\text{Xe}$  имеют нулевой спин, а спин ядра  ${}^{129}\text{Xe}$  равен  $J = 1/2$ . В мюонном атоме, образованном ядром с ненулевым магнитным моментом,  $1s$ -уровень мюона расщепляется на два уровня сверхтонкой структуры с полными моментами  $F^+ = J + 1/2$  и  $F^- = J - 1/2$ . Временное распределение электронов от распада мюонов, находящихся на этих уровнях, описывается формулой [12]

$$N_e(t) \sim (1 - A_e \exp(-Rt)) \exp(-\Lambda^- t), \quad (2)$$

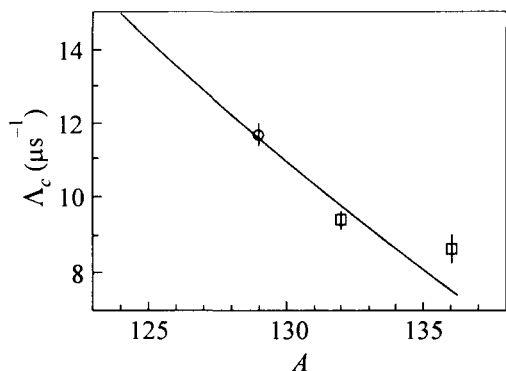
где  $A_e = n^+(0)\Delta\Lambda/R$ ,  $n^+(0)$  – заселенность верхнего уровня в момент времени  $t = 0$ ,  $\Delta\Lambda$  – разность скоростей исчезновения мюонов с двух уровней сверхтонкой структуры,  $R$  – скорость перехода между этими уровнями,  $\Lambda^-$  – скорость исчезновения мюона с нижнего уровня. Для тяжелых ядер  $A_e < 10^{-4}$  и  $R > 10^8 - 10^9$  с $^{-1}$  [12], поэтому при анализе данных по ядерному захвату мюонов в  ${}^{129}\text{Xe}$  обработка спектров производилась также по формуле (1).

Скорость захвата мюона  $\Lambda_c$  ядрами Хе рассчитывалась по формуле  $\tau^{-1} = Q\Lambda_d + \Lambda_c$ , где  $\Lambda_d$  – скорость распада свободного мюона (в качестве которой принималась величина, обратная времени жизни  $\mu^+$ , равному  $2197.03 \pm 0.04$  нс [13]),  $Q = 0.91$  – фактор подавления скорости распада связанного мюона [14].

Результаты измерений времен жизни отрицательных мюонов в изотопах  ${}^{129,132,136}\text{Xe}$  и скоростей их захвата ядрами этих изотопов представлены в таблице. Там же приведены расчетные данные по скоростям захвата, предсказываемые формулой Голарда–Примакова [4].

Изотоп	$\tau$ , нс		$\Lambda_c$ , мкс $^{-1}$	
	эксперимент	расчет по [4]	эксперимент	расчет по [4]
${}^{129}\text{Xe}$	$82.7 \pm 1.7$	82.9	$11.7 \pm 0.3$	11.6
${}^{132}\text{Xe}$	$101.7 \pm 1.7$ [10]	97.8	$9.4 \pm 0.2$ [10]	9.8
${}^{136}\text{Xe}$	$111.0 \pm 4.6$ [9]	125.4	$8.6 \pm 0.4$ [9]	7.5

Сравнение экспериментальных и расчетных результатов по скорости захвата отрицательных мюонов в изотопах  $^{129,132,136}\text{Xe}$  приведено на рисунке. Имеет место значительный изотопический эффект в скорости ядерного захвата отрицательных мюонов в изотопах ксенона. Зависимость скорости захвата от массового числа изотопа удовлетворительно описывается полуэмпирической формулой Голарда-Примакова [4].



Зависимость скорости ядерного захвата отрицательных мюонов в изотопах  $^{129,132,136}\text{Xe}$  от массового числа:  $\circ$  – результат настоящей работы;  $\square$  – результаты работ [9, 10]; сплошная линия – расчет по формуле Голарда-Примакова [12]

Авторы выражают благодарность дирекции ЛЯП ОИЯИ за внимание к настоящей работе и ее поддержку. Авторы также благодарят А.В.Демьянова за помощь в проведении измерений.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект 96-02-17582.

1. J.M.Kennedy, Phys. Rev. **87**, 953 (1952).
2. H.A.Tolhoek and J.R.Luyten, Nucl. Phys. **3**, 679 (1957).
3. H.Primakoff, Rev. Mod. Phys. **31**, 802 (1959).
4. B.Goulard and H.Primakoff, Phys. Rev. **C10**, 2034 (1974).
5. T.Suzuki, D.F.Measday, J.P.Roalsvig, Phys. Rev. **C35**, 2212 (1987).
6. В.Бобров, В.Варламов, Ю.Грашин и др., ЯФ **4**, 75 (1966).
7. Г.Г.Бунатян, ЯФ **2**, 868 (1965).
8. В.М.Новиков, М.Г.Урин, ЯФ **3**, 419 (1966).
9. Т.Н.Мамедов, С.Г.Барсов, А.Л.Геталов и др., Письма в ЖЭТФ **67**, 302 (1998).
10. Т.Н.Мамедов, В.Г.Гребинник, К.И.Грицай и др., Письма в ЖЭТФ **69**, 181 (1999).
11. Т.Н.Мамедов, В.Г.Гребинник, К.И.Грицай и др., ОИЯИ, Р15-96-498, Дубна, 1996.
12. R.Winston, Phys. Rev. **129**, 2766 (1963).
13. Particle Data Croop, Review of Particle Physics, Eur. Phys. J. **C3**, 1 (1998).
14. R.W.Huff, Ann. Phys. **16**, 288 (1961).