

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Дубна

P15-2000-88

Т.Н.Мамедов, В.Г.Гребинник, К.И.Грицай, В.Н.Дугинов,
В.А.Жуков, В.Г.Ольшевский, А.В.Стойков

**ИЗОТОПИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В ЯДЕРНОМ ЗАХВАТЕ
ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ МЮОНОВ В КСЕНОНЕ**

Направлено в журнал «Письма в ЖЭТФ»

2000

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. Причем 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.

Эксперименты проводились по обычной μSR -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:

- ^{129}Xe — 99.91%, ^{128}Xe — 0.08%;

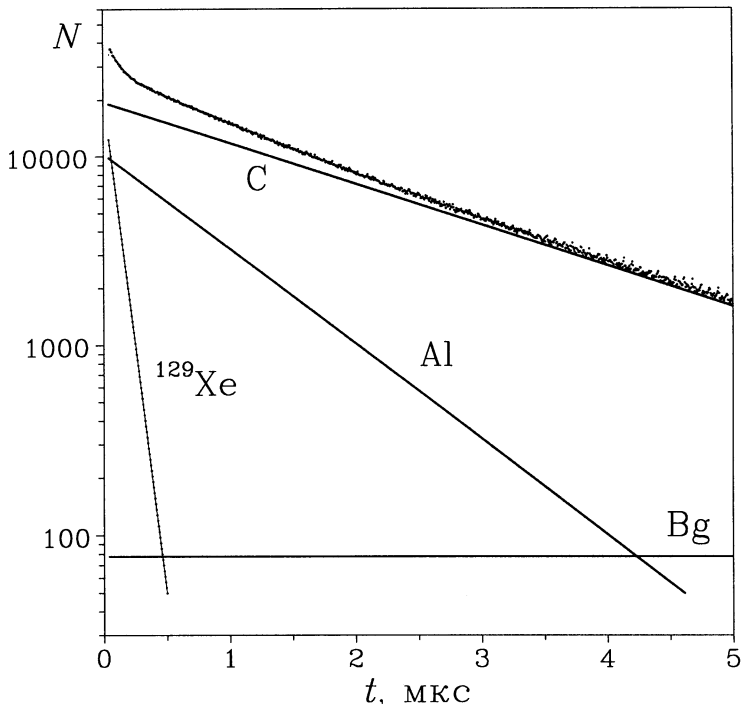


Рис. 1: Спектр временного распределения электронов распада отрицательных мюонов, остановившихся в ^{129}Xe и окружающих мишень материалах (Al и C). Прямыми линиями показаны вклады в спектр отдельных компонент.

- ^{132}Xe — 95.1%, ^{131}Xe — 4.9%;
- ^{136}Xe — 94%, ^{134}Xe — 5.9%.

На рис. 1 показан временной спектр $\mu^- \rightarrow e^-$ распада для ^{129}Xe . 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 Xe, Al и C соответственно

(Al и C 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 C 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}Xe и ^{136}Xe имеют нулевой спин, а спин ядра ^{129}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, Λ^- — 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}Xe обработка спектров производилась также по формуле (1).

Скорость захвата мюона Λ_c ядрами Xe рассчитывалась по формуле $\tau^{-1} = Q\Lambda_d + \Lambda_c$, где Λ_d — скорость распада свободного мюона (в качестве которой принималась величина обратная времени жизни μ^+ , равному 2197.03 ± 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	τ , нс		Λ_c , мкс $^{-1}$	
	Эксперимент	Расчет по [4]	Эксперимент	Расчет по [4]
^{129}Xe	82.7 ± 1.7	82.9	11.7 ± 0.3	11.6
^{132}Xe	101.7 ± 1.7 [10]	97.8	9.4 ± 0.2 [10]	9.8
^{136}Xe	111.0 ± 4.6 [9]	125.4	8.6 ± 0.4 [9]	7.5

Сравнение экспериментальных и расчетных результатов по скорости захвата отрицательных мюонов в изотопах $^{129,132,136}\text{Xe}$ приведено на

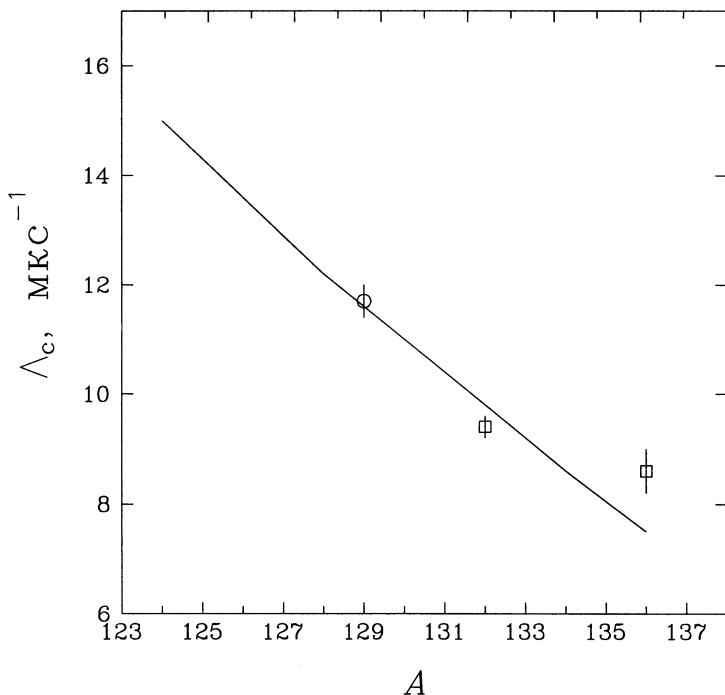


Рис. 2: Зависимость скорости ядерного захвата отрицательных мюонов в изотопах $^{129,132,136}\text{Xe}$ от массового числа: \circ — результат настоящей работы; \square — результаты работ [9,10]; сплошная линия — расчет по формуле Голарда-Примакова [12].

рис. 2. Из рисунка видно, что 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].

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.

Список литературы

- [1] J.M. Kennedy, Phys. Rev. **87**, 953 (1952).
- [2] H.A. Tolhoek, J.R. Luyten, Nucl. Phys. **3**, 679 (1957).
- [3] H. Primakoff, Rev. Mod. Phys. **31**, 802 (1959).
- [4] B. Goulard, H. Primakoff, Phys. Rev. C **10**, 2034 (1974).
- [5] T. Suzuki, D.F. Measday, J.P. Roalsvig, Phys. Rev. C **35**, 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. C **3**, 1 (1998).
- [14] R.W. Huff, Ann. Phys. **16**, 288 (1961).

Рукопись поступила в издательский отдел
19 апреля 2000 года.

Мамедов Т.Н. и др.
Изотопический эффект в ядерном захвате отрицательных
мюонов в ксеноне

P15-2000-88

Впервые измерено время жизни отрицательных мюонов, находящихся в $1s$ -состоянии ^{129}Xe . Полученная из этих измерений скорость ядерного захвата мюонов в ^{129}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.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем им. В.П.Джелепова ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2000

Mamedov T.N. et al.
The Isotopic Effect in the Nuclear Capture
of Negative Muons in Xenon

P15-2000-88

The lifetime of negative muons in $1s$ -state of ^{129}Xe has been measured for the first time. The nuclear capture rate of muon for ^{129}Xe is compared with the analogous results for $^{132,136}\text{Xe}$ isotopes. The noticeable dependence of the nuclear capture rate of muon on mass number for the above-mentioned isotopes is observed. The experimental results are compared with the ones calculated according to the semi-empirical Goulard — Primakoff formula.

The investigation has been performed at the Dzhelapov Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2000

Редактор М.И.Зарубина. Макет Н.А.Киселевой

Подписано в печать 26.04.2000
Формат 60 × 90/16. Офсетная печать. Уч.-изд. листов 0,52
Тираж 290. Заказ 52008. Цена 63 к.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований
Дубна Московской области