

11/xii-72

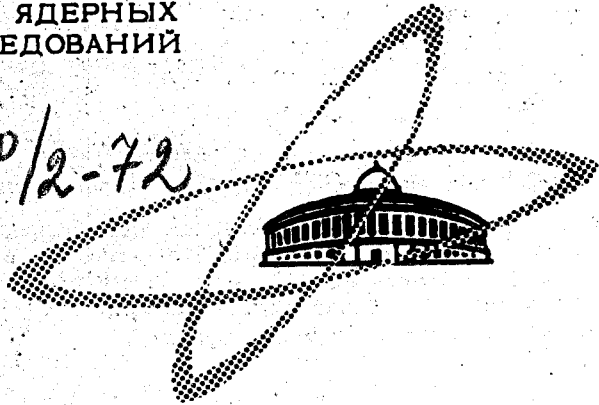
M-801

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

4200/2-72

P6 - 6635



В.А.Морозов, Т.М.Муминов, Х.Фуя, А.Б.Халикулов.

ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ

КВАНТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
НЕКОТОРЫХ УРОВНЕЙ ^{133}La

1972

P6 - 6635

В.А.Морозов, Т.М.Муминов*, Х.Фуя, А.Б.Халикулов*

КВАНТОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
НЕКОТОРЫХ УРОВНЕЙ ^{133}La

Направлено в ЯФ

Объединенный институт
ядерных исследований
БИБЛИОТЕКА

* Самаркандский государственный университет им. А.Навои

Изучение возбужденных состояний ${}_{52}^{133}\text{La}_{76}$ представляет собой интерес в связи с тем, что это ядро прилегает к новой области деформации сильнонейтронодефицитных ядер Ba , La и Ce .

Несмотря на то, что возбужденные состояния ${}^{133}\text{La}$ изучались многими авторами /1-8/, структура большинства возбужденных уровней ${}^{133}\text{La}$ до настоящего времени остается неизвестной. Полезную информацию о природе возбужденных уровней можно получить, изучая вероятности переходов, запрещенных по тем или иным квантовым числам, характеризующим определенную модель. С этой целью в настоящей работе были измерены времена жизни возбужденных уровней ${}^{133}\text{La}$ с энергиями 97, 130, 174 и 742 кэВ.

Аппаратура

Измерения производились на многоканальном временном анализаторе, собранном на базе магнитно-линзового бета-спектрометра, с преобразователем типа $t \rightarrow A$. Установка подробно описана в работе /9/.

Получение источника

В измерениях использовался моноизотопный источник $^{133+133m} \text{Ce}$, который был получен в реакции глубокого расщепления при облучении мишени Gd протонами ($E_p = 660 \text{ МэВ}$, $I = 2 \text{ мка}$) на синхротронном ускорителе ЛЯП ОИЯИ. Хроматографическим методом /10/ из облученной мишени выделялась фракция изотопов Ce , после чего фракция разделялась по изобарам на масс-сепараторе отдела ЯС и РХ ЛЯП ОИЯИ /11/.

Экспериментальные результаты

Измерение времен жизни уровней $^{133} \text{La}$ с энергиями 97, 130, 174 и 742 кэВ проводилось в совпадениях конверсионных электронов К-97, К-130, L-77, и К-87 кэВ соответственно с гамма-лучами с энергией выше 250-300 кэВ. Экспериментальные кривые распадов исследуемых уровней представлены на рис. 1.

Значения периодов полураспада уровней определялись методом наименьших квадратов по экспоненциальному спаду кривых задержанных совпадений. Погрешность в определении периодов полураспада уровней, помимо статистической ошибки, включает в себя ошибку калибровки цены канала временного анализатора.

Период полураспада уровня 97 кэВ оценен нами по экспоненциальному спаду кривой (К-97) (γ) как $T_{1/2} < 0,4 \text{ нсек}$. Это не противоречит оценке $T_{1/2} < 0,1 \text{ нсек}$, сделанной для периода полураспада этого состояния в нашей ранней работе /8/ по сдвигу центров тяжести кривых задержанных и мгновенных совпадений.

Полученные нами результаты и ранее известные данные о временах жизни уровней $^{133} \text{La}$ представлены в таблице 1.

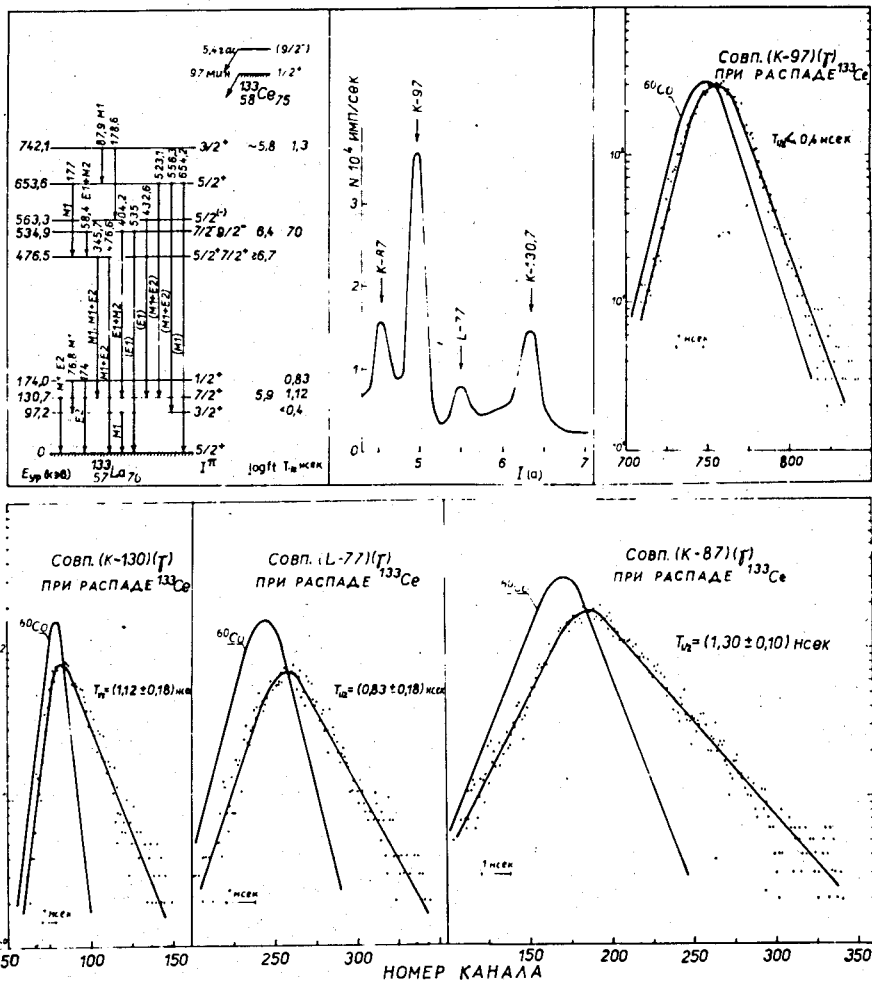


Рис. 1. а - фрагмент схемы уровней ^{133}La ; б - участок спектра электронов внутренней конверсии $^{133}\text{Ce} + ^{133m}\text{Ce}$; в, г, д, е - временные спектры измерения периодов полураспада уровней 97, 130, 174 и 742 кэВ, соответственно.

Таблица 1

Периоды полураспада уровней ^{133}La

E ур	$T_{\frac{1}{2}}$ нсек			
	кэв.	работа /7/	работа /8/	настоящая работа
97,2	-	< 0,1	< 0,4	< 0,4
130,7	0,8±0,3	1,19±0,20	1,12±0,18	1,09±0,12
174,0	-	-	0,83±0,18	0,83±0,18
534,9	70 ±30	-	-	70 ± 30
742,1	-	-	1,30±0,10	1,30±0,10

Для периода полураспада уровня 130 кэв мы получили значение $T_{\frac{1}{2}} = (1,12 \pm 0,18)$, что в пределах ошибок совпадает с результатами Абу-Лейла и др. /7/ $T_{\frac{1}{2}} = (0,8 \pm 0,3)$ нсек и значением $T_{\frac{1}{2}} = (1,19 \pm 0,20)$ нсек, полученным нами ранее /8/. Периоды полураспада уровней 174 и 742 кэв определены впервые: $T_{\frac{1}{2}} = (0,83 \pm 0,18)$ нсек и $T_{\frac{1}{2}} = (1,30 \pm 0,10)$ нсек, соответственно.

Обсуждение экспериментальных результатов

Изотоп ^{133}Ce ($T_{\frac{1}{2}} = 5,4$ час) был открыт Стовер /2/. Гершель и др. /3/ в ядре ^{133}Ce было обнаружено изомерное состояние, которое распадается с $T_{\frac{1}{2}} = 97$ мин. Наиболее полные данные о распаде $^{133+133m}\text{Ce}$ приведены в работе Гершель /5/.

Параметр деформации основного состояния ^{133}La был рассчитан Маршалекем и др. ^{/6/} ($\beta = 0,18$). Параметр деформации состояния 535 кэВ ^{133}La ($\beta = 0,45$) был определен по измеренному значению квадрупольного момента ^{/1/} этого уровня. Основному состоянию ^{133}La была приписана характеристика $5/2^+$, а возбужденным состояниям с энергиями 97 и 130,7 кэВ - характеристики $7/2^+$ и $3/2^+$, соответственно ^{/5/}. В работе ^{/8/}, анализируя факторы запрета $M1$ -переходов с энергиями 97 и 130,7 кэВ, мы показали, что уровням с энергией 97 и 130,7 кэВ необходимо приписать значения спинов $3/2^+$ и $7/2^+$, соответственно. В связи с этим необходимо было пересмотреть ранее приписанные спины другим уровням ^{133}La и предположить, что состояние ^{133}Ce $T_{1/2} = 97$ мин имеет $I^\pi = 1/2^+$, а состояние $T_{1/2} = 5,4$ часа - $I^\pi = (9/2^-)$.

Перейдем к обсуждению природы некоторых возбужденных состояний ^{133}La .

Уровни 97 и 130 кэВ разряжаются прямыми переходами типа $M1$ и $M1 + E2$ на основное состояние - ^{133}La . Как уже указывалось выше, уровню 97 кэВ необходимо приписать значение $I^\pi = 3/2^+$, а уровню 130 кэВ - $I^\pi = 7/2^+$ ^{/8/}.

Действительно, если уровню 97 кэВ приписать значение $I^\pi = 7/2^+$, то величина $F_{\text{зам}}(M1) \leq 43$ противоречит систематике ℓ -запрещенных $M1$ -переходов типа $P(g_{7/2} \rightarrow d_{5/2})$ ^{/12/}, а уровню 130 кэВ противоречит приписание спина $I^\pi = 3/2^+$, т.к. при этом для разрешенного $M1$ -перехода типа $P(d_{3/2} \rightarrow d_{5/2})$ мы будем иметь величину $F_{\text{зам}}(M1) = 293$, что трудно объяснить в рамках модели оболочек.

Если же уровню 97 кэВ приписать значение $I^\pi = 3/2^+$, а уровню 130 кэВ - $I^\pi = 7/2^+$, то мы получим хорошее согласие с предсказаниями оболочечной модели:

$F_{\text{зам}} (M1) \leq 61$ - для разрешенного $M1$ -перехода с энергией 97 кэВ типа $P (d_{3/2} \rightarrow d_{5/2})$ и $F_{\text{зам}} (M1) = 246$ и квадрат матричного элемента $m^2 = 0,35$ - для ℓ -запрещенного $M1$ -перехода с энергией 130 кэВ типа $P (g_{7/2} \rightarrow d_{5/2})$.

Отметим, что уровень 97 кэВ ($I^\pi = 3/2^+$) ^{133}La не заселяется при распаде состояния $^{133}\text{Ce} (I^\pi = 1/2^+)$; это свидетельствует о различной природе рассматриваемых состояний. Аналогичный случай наблюдается при распаде основного состояния $^{135}\text{Ce} (I^\pi = 1/2^+)$ на возбужденный уровень ^{135}La с энергией 265 кэВ ($I^\pi = 3/2^+$) /14/.

Уровень 174 кэВ разряжается на уровень 97 кэВ переходом 77 кэВ типа $M1$ и прямым переходом неустановленной мультипольности на основное состояние $^{133}\text{La} /5/$. Возможные значения спина этого уровня $I^\pi = 1/2^+, 3/2^+$ и $5/2^+$. Значения одночастичных факторов запрета для $M1$ -перехода с энергией 77 кэВ ($F_{\text{зам}} (M1) = 12 + 115$) при всех возможных значениях спина уровня не противоречат предположению об одночастичной природе этого уровня.

Возможные характеристики уровня - 174 кэВ ^{133}La позволяют приписать переходу 174 кэВ мультипольность типа $M1$, $M1+E2$ (при $I^\pi = 3/2^+, 5/2^+$) или чистый $E2$ (при $I^\pi = 1/2^+$). Если предположить, что переход 174 кэВ типа $M1$ или $M1+E2$, то при этом трудно в рамках модели оболочек объяснить высокую степень запрета $M1$ -перехода ($F_{\text{зам}} (M1) \approx 5000$). Если же переход 174 кэВ типа $E2$, то фактор ускорения этого перехода $F_{\text{уск}} (E2) = 2,3$ будет иметь обычную для разрешенных $E2$ -переходов величину. Очевидно, что из самых общих рассуждений следует отдать предпочтение приписанию уровню 174 кэВ спина $I^\pi = 1/2^+$. При этом переход с энергией 174 кэВ, согласно модели оболочек, будет разрешенным $E2$ -переходом типа

$P (s_{\frac{1}{2}} \rightarrow d_{5/2})$, а переход 77 кэв - ℓ -запрещенным $M1$ -переходом типа $P (s_{\frac{1}{2}} \rightarrow d_{5/2})$. В настоящее время отсутствует какая-либо систематика ℓ -запрещенных $M1$ -переходов типа $P (s_{\frac{1}{2}} \rightarrow d_{3/2})$ для рассматриваемой области ядер, однако величины $(M1) = 115$ и $m^2 (M1) = 0,24$ для перехода 77 кэв в ^{133}La не противоречат такому предположению.

Таким образом, из приведенных выше рассуждений можно заключить, что уровень 174 кэв ^{133}La имеет значение $I^\pi = 1/2^+$ и разряжается $M1$ -переходом типа $P (s_{\frac{1}{2}} \rightarrow d_{3/2})$ и $E2$ -переходом типа $P (s_{\frac{1}{2}} \rightarrow d_{5/2})$.

Уровень 535 кэв разряжается переходом с энергией 58 кэв ($E2 + M1$) на уровень 476 кэв, переходом 404 кэв ($E1 + M2$) на уровень 130 кэв ($I^\pi = 7/2^+$) и слабым прямым переходом 535 кэв не установленной мультипольности на основное состояние $^{133}\text{La}/5/$. Возможные значения спина уровня 476 кэв $5/2^+$, $7/2^+$.

Уровню 535 кэв, учитывая величину $\log ft = 6,4$ $^{15/}$, можно приписать значение $I^\pi = 7/2^-, 9/2^-$. Время жизни 535 кэв ^{133}La было измерено в работе Абу-Лейла и др. $^{17/}$, где проводился анализ вероятностей переходов, разряжающих рассматриваемый уровень, в предположении, что уровни 535, 476 и 130 кэв имеют значения спинов $3/2^+$, $5/2^+$ и $3/2^+$, соответственно.

Анализ вероятностей переходов, разряжающих состояние ^{133}La с энергией 535 кэв, в свете новых предположений о спинах уровней ^{138}La приведен в таблице 1.

Из систематики $E1$ -переходов в сферических ядрах $^{15/}$ известно, что значения факторов запрета для переходов такого типа не превышают величины $F_{\text{зам}} (E1) \leq 2 \cdot 10^6$. Величины факторов запрета $F_{\text{зам}} (E1) \approx 10^8 - 10^9$ для переходов 404 и 535 кэв ($E1$) не

противоречат выводу /1,7/ о деформации ядра в состояниях 535 и 476 кэВ и одночастичной природе уровня 130 кэВ и основного состояния La .

Уровень 742 кэВ. Как было предложено в работе /5/, уровень 742 кэВ разряжается переходами с энергиями 87 ($M1$) и 178 кэВ ($M1 + E2$) на уровне ^{133}La 653 и 563 кэВ, соответственно. Следует отметить, что значения α_k экспл. = 0,40 /15/ для перехода 178 кэВ не противоречат определению его мультипольности как $E1 + 67\% M2$ /16/.

Исходя из разрешенного характера заселения уровня 742 кэВ ($\log ft \approx 5,8$) при К-захвате состояния ^{133}Ce ($I^\pi = 1/2$), рассматриваемому состоянию ^{133}La можно приписать значения $I^\pi = 1/2^+$, $3/2^+$. В связи с тем, что уровни 653 и 535 кэВ не заселяются при распаде $^{133+133m}Ce$ и учитывая мультипольности гамма-переходов, заселяющих эти уровни, им можно приписать квантовые характеристики $I^\pi = 5/2^+$ и $I^\pi = 5/2^+$ или $5/2^-$, соответственно. Вследствие этого уровню 742 кэВ необходимо приписать значения спина и четности $I^\pi = 3/2^+$.

Из анализа результатов измерения времени жизни уровня 742 кэВ видно: значение $F_{\text{зам}}^M (M1) = 180$ для перехода 87 кэВ ($3/2^+ \rightarrow 5/2^+$) не противоречит нашим предложениям о спинах уровней 742 кэВ ($I^\pi = 3/2^+$) и 635 кэВ ($I^\pi = 5/2^+$); значение $F_{\text{зам}}^M (M1) = 1,17 \cdot 10^4$, согласно предположению Гершель /5/ о мультипольности перехода 178 кэВ как $M1 + E2$, трудно объяснить на основе существующей систематики $M1$ -переходов в сферических ядрах, в то время как значение $F_{\text{зам}} (E1) = 1,66 \cdot 10^4$ для перехода 178 кэВ ($3/2^+ \rightarrow 5/2^+$) характерно для $E1$ -переходов в этой области ядер - это свидетельствует в пользу приписания уровню 563 кэВ характеристики $I^\pi = 5/2^-$.

Таблица I

Анализ вероятностей переходов, разрядных уровни 97, 130, 175,
535 и 742 кэВ ^{133}La

Е _{ур} кэВ	T _{I/2} 10 ⁻⁹ сек	Е _г кэВ	f	I _i ^π → I _f ^π	αL	T ^{f(αL)} эксп. сек	F _{ин} (αL)
97,2	<0,4	97,2	I	3/2 ⁺ → 5/2 ⁺	MI/4/	<8,8.10 ⁻¹⁰	6I
130,7	I, I2±0, I8	130,7	I	7/2 ⁺ → 5/2 ⁺	98% MI + 2% E2	1,75.10 ⁻⁹ 7,59.10 ⁻⁹	209,4 0,03
174,0	0,83±0, I8	76,9	0,915	1/2 ⁺ → 3/2 ⁺	MI /5/	3,03.10 ⁻⁹	115,0
		174	0,085		E2	1,28.10 ⁻⁸	0,44
534,9	70±30/I/	58,4	0,927	7/2 ⁻ → 5/2 ⁺	EI /5/	1,5.10 ⁻⁷	4,85.10 ⁴
				7/2 ⁻ → 7/2 ⁺	- " -	- " -	1,79.10 ³
				9/2 ⁻ → 7/2 ⁺	- " -	- " -	5,00.10 ⁴
		404,6	0,066	7/2 ⁻ → 7/2 ⁺	6% EI + 94% M2	1,93.10 ⁻⁵ 1,21.10 ⁻⁶	7,66.10 ⁷ 48
				9/2 ⁻ → 7/2 ⁺	6% EI + 94% M2	1,93.10 ⁻⁵ 1,21.10 ⁻⁶	2,14.10 ⁹ 3,5
		534,9	0,017		7/2 ⁻ → 5/2 ⁺	EI	3,76.10 ⁻⁶
9/2 ⁻ → 5/2 ⁺	M2				3,91.10 ⁻⁶	800	
742, I	I, 30±0, I0	87,9	0,93	3/2 ⁺ → 5/2 ⁺	MI/5/	3,54.10 ⁻⁹	180,4
				3/2 ⁺ → 5/2 ⁺	MI/5/	2,75.10 ⁻⁹	1,18.10 ⁴
				3/2 ⁺ → 5/2 ⁻	33,3% EI + +66,7% M2	1,28.10 ⁻⁷ 6,44.10 ⁻⁸	1,66.10 ⁴ 0,016

Для окончательного выяснения квантовых характеристик уровней и переходов в ядре ^{133}La необходимо продолжить изучение распада $^{133+133m}\text{Ce}$ методами угловых корреляций гамма-лучей и дальнейшее исследование спектров гамма-лучей и конверсионных электронов $^{133+133m}\text{Ce}$ с целью уточнения мультипольностей гамма-переходов. В таблице 1 приведены значения приведенных вероятностей и одночастичных факторов запрета переходов, разряжающих исследованные уровни ^{133}La .

На основе проведенных выше обсуждений предлагается фрагмент схемы уровней ^{133}La , приведенный на рис. 1.

Авторы глубоко признательны В.П. Афанасьеву, И.И. Громовой и Н.А. Лебедеву за работу по выделению радиоактивных препаратов.

Литература

1. C.Gerschel, N.Perrin, L.Valentin. IDN-B.P. n^o 1-91. Orsay 1970.
2. B.Stover. Phys.Rev., 81, 8 (1951).
3. C.Gerschel, G.Albouy. Compt. Rend. 246, 183 (1967).
4. А.А. Абдумаликов, А.А. Абдуразаков, С.Б. Бурибаев, К.Я. Громов, Н.А. Лебедев. ЯФ, 3, 602, 1966.
5. C.Gerschel. Nucl. Phys. A108, 337-352 (1968).
6. E.Marschalek, L.W.Person, R.K.Scheline. Rev. Mod. Phys. 35, 108 (1963).
7. H.Abou-Leila, C.Gerschel, N.Perrin. Compt. Rend., 265, 1131 (1967).
8. Р. Бабаджанов, В.А. Морозов, Т.М. Муминов, В.И. Разов, А.Б. Халикулов. Сообщение ОИЯИ, Р6-5200, Дубна, 1970.

9. В.П. Афанасьев, И.И. Громова, Н.А. Лебедев, В.А. Морозов, Т.М. Муминов, Х. Фуя, А.Б. Халикулов, Ф.Ш. Хамраев. Сообщение ОИЯИ, Р6-6426, Дубна, 1972.
10. Ф. Молнар, Н.А. Лебедев. Препринт ОИЯИ, 6-3955, Дубна, 1968.
11. В.П. Афанасьев, А.Т. Василенко, И.И. Громова, Ж.Т. Желев, В.В. Кузнецов, М.Я. Кузнецова, Д. Мончка, Ю. Поморски, В. Райко, А.В. Ревенко, В.М. Сороко, В.А. Уткин. Сообщение ОИЯИ, 13-4763, Дубна, 1969.
12. Э.Е. Берлович. Структура ядра, стр. 15, изд. ФАН, Ташкент, 1969.
13. В. Жук, Э. Крупа, В.А. Морозов, Т.М. Муминов, Х. Фуя, А.Б. Халикулов. Изв. АН СССР, сер. физ., 36, 753, 1972.
14. C.F. Perdrisat. Rev. Mod. Phys. 38, 41 (1966).
15. J.J. Simpson, D. Eceleshell, M.J.L. Yates, N.J. Freeman. Nucl. Phys. A94, 177 (1967).
16. R.S. Hager, E.C. Seltzer. Nucl. Data. Sheets. Section A, v4, No 1-2 (Febr. 1968).

Рукопись поступила в издательский отдел
28 июля 1972 года.