

сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
Дубна

5119/
2-81

19/x-81

P6-81-524

К.П.Артамонова, А.Будзьяк, Е.П.Григорьев,
А.Жумамуратов, А.В.Золотавин, А.И.Иванов,
В.Г.Калинников, В.В.Кузнецов,
В.О.Сергеев, Р.Усманов

РАСПАД ИЗОМЕРОВ ^{137}Ce И ^{139}Pr .
УРОВНИ ВИБРАЦИОННОГО ХАРАКТЕРА
В ДОЧЕРНИХ ЯДРАХ

1981

I. Введение

Область ядер с нечетным массовым номером $A \approx 130 - 140$ представляет значительный интерес, так как в таких ядрах наряду с одноквази-частичными состояниями обнаружены уровни, свойства которых согласуются с предсказаниями модели слабой связи одночастичного движения неспаренного нуклона с вибрациями четно-четного остова.

Одно из первых указаний на существование в ядрах данной области масс уровней отмеченной выше природы было получено в /1/. Авторы /1/ измерили время жизни уровня 1004 кэВ в ^{137}La : $T_{1/2} \leq 0,4$ нс (согласно /2/ $T_{1/2} = 0,48$ нс). Отсюда следовало, что разряжающий уровень ЕЗ-переход 994 кэВ заметно ускорен, и поэтому был сделан /1/ вывод о значительной коллективизации состояния 1004 кэВ (фонон $3^- + 4.p$).

Богатую информацию о свойствах ядер с нечетными $A \approx 130 \div 140$ дали исследования реакций передачи или подхвата нуклона ($d, p; d, t; p, d; ^3\text{He}, \alpha$ и т.п.). Было отмечено, что даже при небольших энергиях возбуждения имеет место фрагментация уровней как одноквазичастичных, так и более сложной природы.

В настоящей работе изучался радиоактивный распад изотопов ^{137}Ce и ^{139}Pr с целью исследования природы низколежащих состояний в дочерних ядрах.

Изотоп ^{137}Ce имеет два долгоживущих состояния: основное с $I^{\pi} = 3/2^+$, $T_{1/2} = 9,0 \pm 0,3$ час и изомерное с $I^{\pi} = \Pi/2^-$, $T_{1/2} = 34,4 \pm 0,3$ час. Оба состояния путем электронного захвата распадаются на уровни ^{137}La /3/. Изомерное состояние, кроме того, разряжается в основное М4- переходом 254,3 кэВ.

Гамма-излучение и электроны внутренней конверсии $^{137m}\text{g Ce}$ впервые подробно изучены в /4/ с помощью полупроводниковых детекторов. Там же предложена схема распада $^{137m}\text{g Ce} \rightarrow ^{137}\text{La}$. Энергия распада $^{137m}\text{g Ce} \rightarrow ^{137}\text{La}$ определена из отношения K/β^+ : $Q_{\beta^+} = 1200 \pm 30$ кэВ /5/. Наиболее интенсивно электронным захватом заселяется уровень ^{137}La с энергией 10,5 кэВ и $I^{\pi} = 5/2^+$. Время жизни этого состояния составляет $T_{1/2} = 89 \pm 4$ нс /6/. Переход 10,5 кэВ относится к ℓ -запрещенным типа $d_{5/2} \rightarrow g_{7/2}$. В /7/ сообщалось об эффекте аномальной конверсии для данного перехода (параметр проникновения $\lambda = 10 \pm 5$).

Наиболее детально γ -излучение и электроны внутренней конверсии изомеров ^{137}Ce изучены Генри и др. /8/. В этой работе обнаружено несколько неизвестных ранее γ -переходов. Высокая точность в определении энергий γ -переходов позволила авторам /8/ сконструировать схемы распада $^{137m}\text{g Ce}$, включающие все обнаруженные γ -переходы. Возбужденные состояния ^{137}La в /8/ обсуждаются в рамках модели слабой связи состояний нечетного протона с вибрациями остова.

Позднее Гринвуд ^{/9/} для большинства γ -переходов $^{137m_2}\text{Ce}$ измерил значения энергий с точностью, превосходящей результаты ^{/8/}. Однако отдельные довольно интенсивные γ -переходы, наблюдаемые в ^{/8/}, не приводятся Гринвудом.

В связи с этим мы выполнили исследования спектров γ -лучей, электронов внутренней конверсии, позитронов и e - γ -совпадений для конструирования более обоснованного варианта схемы распада $^{137m_2}\text{Ce}$.

Состояния вибративного характера идентифицированы и в ^{139}Ce при исследовании радиоактивного распада $^{139}\text{Pr}^{10/}$ и реакций (d, t) и ($^3\text{He}, \alpha$) ^{/11/}. Результаты ^{/10/} в основном согласуются с данными Залуцкого и др. ^{/12/}. Дополнительно в ^{/12/} сообщается о нескольких слабых γ -переходах. Однако в отношении возбуждения в ^{139}Ce при бета-распаде ^{139}Pr ($I^\pi = 5/2^+$) уровня с отрицательной четностью ($7/2^-$) имеются разногласия между ^{/10/} и ^{/12/}. Поэтому нами были выполнены дополнительные исследования распада ^{139}Pr .

2. Условия эксперимента и экспериментальные результаты

2.1. Получение препаратов $^{137m_2}\text{Ce}$ и ^{139}Pr

Изотопы ^{137}Ce и ^{139}Pr были получены в реакции глубокого расщепления природного урбья или гадолиния протонами с энергией 660 МэВ. Облучение мишени (2 г) проводилось в течение 2 - 3 часов на внутреннем пучке протонов синхротрофона ОИЯИ. Радиохимическая обработка облученной мишени занимала около 2 час. Хроматографически ^{/13/} выделенные фракции церия и празеодима затем разделялись на изобары с помощью электромагнитного масс-сепаратора.

Источники ^{137}Ce приготавливались из "старых" препаратов ^{137}Nd , полученных в результате облучения тех же мишеней Ga или Er и последующего химического выделения фракции Nd и ее разделения при помощи масс-сепаратора. Накопление ^{137}Ce происходило путем "цепочки" превращений ^{137}Nd (38 мин) \rightarrow ^{137}Pr (76 мин) \rightarrow ^{137}Ce .

2.2. Гамма- и рентгеновское излучение ^{137}Ce

Спектры рентгеновских и γ -лучей ^{137}Ce измерены при помощи спектрометров с Ge (Li)-детекторами объемом 0,5; 1,3 и 38 см³. Разрешение спектрометров составляло 0,6-0,8 кэВ (^{57}Co) для первых двух детекторов и 2,3 кэВ (^{60}Co) для спектрометра с детектором объемом 38 см³. Методика измерения и обработки γ -спектров описана в ^{/14/}.

С каждым источником ^{137}Ce проводилось несколько серий измерений спектров γ -лучей с тем, чтобы по периоду полураспада установить принадлежность γ -переходов. Полученные нами сведения о γ -лучах ^{137}Ce приведены в табл. I, где они сравниваются с результатами ^{/3,9/}. Наши сведения об интенсивностях γ -лучей удовлетворительно согласуются с данными ^{/8/}. В γ -спектрах мы наблюдали все малоинтенсивные переходы,

Таблица I
Сведения о гамма-лучах ^{137m}Cs .
Распад ^{137}Cs

Гринвуд/9/	Генри и др./8/		Данная работа	
E_{γ} , кэВ	E_{γ} , кэВ	I_{γ} , отн. ед.	E_{γ} , кэВ	I_{γ} , отн. ед.
$\approx 10,45$	$10,56 \pm 0,04$ а)	-	$10,539 \pm 0,027$ а)	-
-	$148,83 \pm 0,08$	$0,5 \pm 0,2$	$148,711 \pm 0,097$	$0,46 \pm 0,18$
-	$217,03 \pm 0,05$	$2,2 \pm 0,3$	$217,067 \pm 0,067$	$2,4 \pm 0,4$
$433,28 \pm 0,05$	$433,22 \pm 0,09$	$29,1 \pm 1,5$	$433,183 \pm 0,064$	$27,2 \pm 1,3$
$436,63 \pm 0,05$	$436,59 \pm 0,09$	149 ± 5	$436,595 \pm 0,018$	153 ± 3
$447,18 \pm 0,05$	$447,15 \pm 0,08$	≈ 1000	$447,134 \pm 0,020$	≈ 1000 х)
479	$479,12 \pm 0,10$	$6,7 \pm 0,3$	$479,127 \pm 0,067$	$6,4 \pm 0,3$
$482,51 \pm 0,05$	$482,47 \pm 0,10$	$25,7 \pm 0,9$	$482,468 \pm 0,024$	$26,7 \pm 0,6$
$493,11 \pm 0,05$	$493,03 \pm 0,10$	$5,9 \pm 0,3$	$493,068 \pm 0,074$	$6,1 \pm 0,5$
-	$(529,3 \pm 0,2)$	$0,2 \pm 0,1$	$529,14 \pm 0,24$	$0,2 \pm 0,1$
$631,10 \pm 0,05$	$631,38 \pm 0,06$	$7,5 \pm 0,6$	$631,299 \pm 0,051$	$7,3 \pm 0,4$
-	$678,26 \pm 0,12$	$0,5 \pm 0,2$	$678,40 \pm 0,15$	$0,65 \pm 0,20$
-	$698,72 \pm 0,11$	$17,5 \pm 0,9$	$698,703 \pm 0,032$	$16,0 \pm 0,9$
-	$709,72 \pm 0,11$	$0,6 \pm 0,1$	$709,25 \pm 0,15$	$0,65 \pm 0,13$
-	$724,4 \pm 0,3$	$0,4 \pm 0,2$	$724,4 \pm 0,3$	$0,39 \pm 0,12$
-	$770,97 \pm 0,10$	$3,4 \pm 0,2$	$771,035 \pm 0,090$	$3,6 \pm 0,4$
$781,54 \pm 0,10$	$781,57 \pm 0,13$	$1,7 \pm 0,2$	$781,40 \pm 0,15$	$2,2 \pm 0,4$
916	$915,80 \pm 0,13$	$28,9 \pm 1,0$	$915,812 \pm 0,022$	$28,6 \pm 1,1$
$926,31 \pm 0,05$	$926,36 \pm 0,13$	$19,0 \pm 0,7$	$926,364 \pm 0,039$	$17,2 \pm 1,2$
$1160,64 \pm 0,20$	$1160,85 \pm 0,22$	$0,84 \pm 0,08$	$1160,592 \pm 0,179$	$0,87 \pm 0,10$
Распад ^{137}Cs				
$\approx 10,45$	$10,56 \pm 0,04$	-	$10,539 \pm 0,027$	-
-	$87,2 \pm 0,2$	20 ± 3	$87,391 \pm 0,168$	$21,0 \pm 5,0$
$169,28 \pm 0,05$	$169,26 \pm 0,04$	995 ± 60	$169,318 \pm 0,022$	1135 ± 65
-	$254,29 \pm 0,05$	24800 ± 900	$254,344 \pm 0,024$	26110 ± 1300
$762,10 \pm 0,05$	$762,30 \pm 0,10$	435 ± 20	$762,119 \pm 0,022$	430 ± 25
$824,79 \pm 0,05$	$824,82 \pm 0,12$	≈ 1000	$824,796 \pm 0,018$	≈ 1000
$835,31 \pm 0,05$	$835,38 \pm 0,12$	234 ± 10	$835,390 \pm 0,041$	230 ± 15
$906,89 \pm 0,15$	$906,84 \pm 0,16$	$6,3 \pm 1,1$	$906,8 \pm 0,2$	$7,2 \pm 1,8$
-	$917,45 \pm 0,17$	29 ± 6	$917,5 \pm 0,2$	37 ± 7
$993,94 \pm 0,05$	$993,81 \pm 0,21$	$4,5 \pm 0,6$	$993,8 \pm 0,3$	$6,0 \pm 1,8$
$1004,58 \pm 0,05$	$1004,49 \pm 0,20$	51 ± 6	$1004,813 \pm 0,129$	61 ± 9

х) Для равновесного состояния $I_{\gamma 254,3} / I_{\gamma 447,1} = 5,1 \pm 0,2$.

а) Значение получено из разности энергий переходов $447,13$ и $436,59$ кэВ.

о которых сообщалось лишь Генри и др.^{/3/} Поскольку нами использована для получения ^{137}Ce иная, чем в ^{/3/}, реакция, то наблюдение таких переходов является дополнительным аргументом для их приписания к распаду изомеров ^{137}Ce . Отметим, что достигнутая нами точность определения энергий γ -лучей превосходит точность результатов ^{/3,9/}.

В спектре рентгеновских лучей кроме интенсивных переходов К-серии в ядре La мы наблюдали $K\alpha_{1,2}$ -линии в ядре Ce. Считаем, что эти линии проявились за счет К-конверсии изомерного перехода 254,3 кэВ. Для интенсивностей получено отношение $J_{K\alpha_{1,2}}(\text{Ce})/J_{\gamma 254} = 4,0 \pm 0,2$. С учетом интенсивности $K\beta$ -линий и выхода флуоресценции $\omega_K = 0,93$ из указанного отношения получаем величину коэффициента конверсии перехода 254,3 кэВ: $\alpha_K = 5,50 \pm 0,50$. Установленная таким методом величина оказалась близкой к теоретическому^{/15/} значению $\alpha'_K(M4) = 5,54$.

Ранее тип мультипольности перехода 254,3 кэВ был установлен также по величине α_K с учетом измеренного отношения $K/L + M$ (см. обзор ^{/3/}). В работе ^{/16/к} с помощью бета-спектрометра типа $\pi\sqrt{2}$ измерены соотношения интенсивностей конверсионных электронов перехода 254,3 кэВ: $K/L_I = 5,6 \pm 1,2$; $L_I/L_{II} = 3,7 \pm 1,6$; $L_I/L_{III} = 1,92 \pm 0,63$. Сделан вывод, что переход имеет мультипольность M4 (возможная примесь мультипольности E5 менее 9%).

2.3. Электроны внутренней конверсии ^{137}Ce

Исследования спектров электронов внутренней конверсии (ЭВК) выполнены с помощью магнитного бета-спектрометра типа $\pi\sqrt{2}$ (радиус равновесной орбиты спектрометра $r_0 = 50$ см и разрешение 0,15% при светосиле 0,3%).

Источники ^{137}Ce для бета-спектрометра типа $\pi\sqrt{2}$ вырезались из алюминиевой фольги толщиной 15 мкм, в которую с помощью масс-сепаратора внедрялись ионы ^{137}Ce . Такой источник имел размеры 1,5 x 1,5 мм.

Регистрация электронов в этом спектрометре производилась счетчиком Гейгера-Мюллера, окно которого было закрыто коллодиевой пленкой толщиной 40 мкг/см². При измерении спектра ЭВК в области $E_e < 20$ кэВ к источнику прикладывался дополнительный потенциал $V = 6$ кВ для ускорения электронов, что существенно повышало эффективность их регистрации в указанной области энергий. Зависимость эффективности спектрометра в области $E_e < 20$ кэВ от энергии электронов была установлена в ^{/17/} при изучении спектров ЭВК ^{169}Yb и ^{171}Lu , а также в опытах при различных значениях ускоряющего потенциала V .

Измерения начинались спустя 30 час после облучения мишени и продолжались в течение 150 час. Полученные данные об интенсивностях ЭВК обоих изомеров ^{137}Ce представлены в табл.2. Предварительные результаты наших исследований были опубликованы в ^{/18/}.

Таблица 2
 Электроны внутренней конверсии ^{137m}Ce

E_γ , кэВ	Линия	$I_e^{(x)}$, отн. ед.	α_e , эксп.	λ
169,3	K	Распад ^{137m}Ce $0,33 \pm 0,04$ 1000 330 ± 20 76 ± 5 20 ± 2	$0,042 \pm 0,007$ $\approx 5,54$	EI
254,3	K			
	L			
	M			
	N			
10,5	M_1	Распад ^{137g}Ce 330 ± 40 33 ± 4 $8,5 \pm 2,0$ $1,6 \pm 0,5$ 78 ± 8 15 ± 2	$0,019 \pm 0,005$ $0,017 \pm 0,003$ $0,0156 \pm 0,0023$	MI+ $\leq 0,006\%E2$
	M_2			
	M_3			
	$M_{4,5}$			
	N			
	O			
433,2	K	$0,005 \pm 0,001$	$0,019 \pm 0,005$	MI+E2
436,6	K	$0,025 \pm 0,003$	$0,017 \pm 0,003$	MI+E2
447,1	K	$0,15 \pm 0,02$	$0,0156 \pm 0,0023$	MI+E2

х) Шкала I_e для обоих изомеров общая. Интенсивности линий приведены на время $t = 70$ час. после выделения препарата, т.е. для равновесного состояния обоих изомеров. Указанные I_e пропорциональны числу распадов каждого изомера в отдельности.

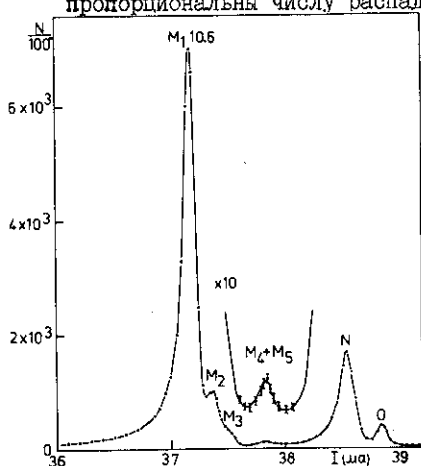


Рис. 1. M-, N- и O-линии перехода 10,5 кэВ, возникающего при распаде ^{137m}Ce .

Малая толщина источников, сравнительно низкий фон счетчика (7 импульсов за 100 сек) и достаточная активность препаратов ($\sim 100 \text{ мкК}$) позволили наблюдать слабые конверсионные линии, например K433 и K436, интенсивность которых составляет $\sim 5 \cdot 10^{-4}$ % числа распадов ^{137}Ce .

При разрешающей способности прибора 0,3% в области $E_e \sim 10$ кэВ M-линии перехода 10,5 кэВ разделились неполностью (рис.1), что привело к дополнительным погрешностям в определении их относительных интенсивностей. Из измеренного отношения $M_1 : M_2 : M_3 : M_{4,5} = 100 : (10 \pm 1) : (2,6 \pm 0,7) : (0,50 \pm 0,15)$ следует, что переход 10,5 кэВ имеет мультипольность M1 с примесью E2 меньше 0,006% (из отношения $M_2/M_1 : \delta^2 \leq 0,01\%$, $M_3/M_1 : \delta^2 \leq 0,006\%$, $M_{4,5}/M_1 : \delta^2 \leq 0,03\%$).

По относительным интенсивностям линий K254,3 и $M_1 10,5$ было определено число переходов 10,5 кэВ на распад ^{137}Ce :

$$P_n(10,5) = P_n(254,3) \frac{I(M_1 10,5)}{I(K254,3)} \cdot \frac{1 + \alpha_n(10,5)}{1 + \alpha_n(254,3)} \cdot \frac{\alpha_K(254,3)}{\alpha_{M_1}(10,5)} \cdot \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{\lambda_2}$$

где λ_1 и λ_2 — постоянные распада ^{137m}Ce и ^{137}Ce , $P_n(254,3) = 99,2\%$ (рис.5). Отношение $I(M_1 10,5)/I(K254,3) = 0,33 \pm 0,04$ (табл.2). Коэффициенты внутренней конверсии для переходов 254,3 и 10,5 кэВ приняты равными теоретическим значениям $^{15}/$ ($\alpha_K(M4) = 5,54$ и $\alpha_{M_1}(M1) = 20,0$). Отсюда получаем $P_n(10,5) = (105 \pm 12)\%$.

Сравнением интенсивностей ЭВК и γ -лучей установлены коэффициенты внутренней конверсии переходов 169,3; 433,2; 436,6 и 447,1 кэВ (табл.2). Нормировка шкал единиц I_γ и I_e выполнена по величине $\alpha_{K254,3}(M4) = 5,54$. В табл.2 указаны полученные из этих данных выводы о мультипольностях γ -переходов.

2.4. Позитронный спектр ^{137}Ce

Спектр позитронов измерен безжелезным бета-спектрометром с тороидальным магнитным полем $/19/$. Источники для бета-спектрометра были получены путем внедрения с помощью масс-сепаратора ионов ^{137}Ce в алюминизированную майларовую фольгу толщиной 0,68 мг/см².

На рис.2 приведен β^+ -спектр ^{137}Ce и его график Ферми-Кюри. Средневзвешенное значение граничной энергии позитронов определено как $E_{\text{гр}} = (189,5 \pm 1,6)$ кэВ. Для соотношения интенсивностей β^+ -спектра и K-конверсионной линии перехода 447,1 кэВ получено значение $0,35 \pm 0,03$.

2.5. Электрон-гамма-совпадения при распаде ^{137}Ce

Измерения $e-\gamma$ -совпадений выполнены на установке $/20/$, созданной на базе бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем и гамма-спектрометра с Ge(Li)-детектором объемом 35 см³.

Электроны M10,5 обнаруживают совпадения с γ -переходами 436,6; 482,5; 698,7; 771,0; 824,8; 915,8 кэВ, а через каскады также и с переходами 169,3 и 433,2 кэВ. Согласно $/8/$ должны наблюдаться совпадения

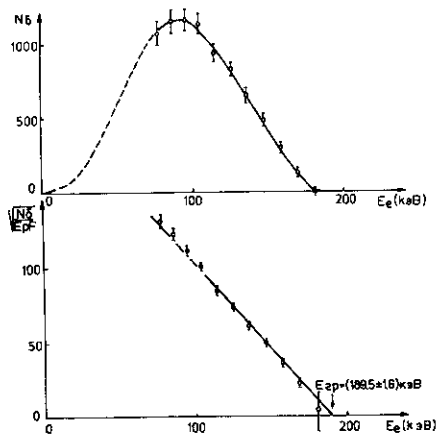


Рис.2. Позитронный спектр
и график Ферми-Кюри
 β^+ - спектра ^{137}Cs .

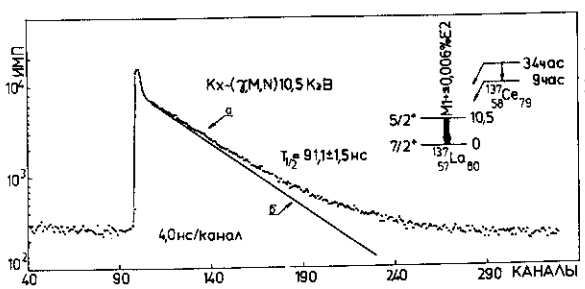


Рис.3. Спектр временных
распределений совпадений
между K_X -лучами и конвер-
сионными электронами пе-
рехода М, N 10,5 кэВ ^{137}Cs :
а) экспериментальный
спектр; б) вычтен
фон.

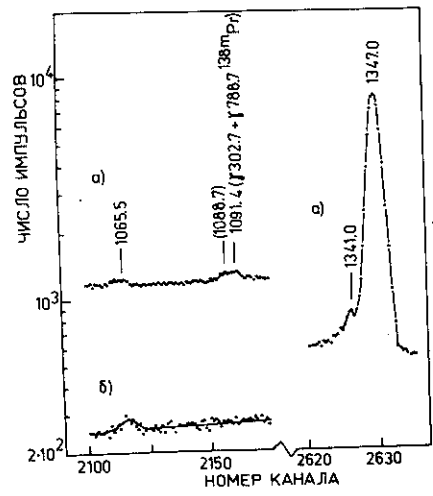


Рис. 4. Участки γ -спектра ^{139}Pr .
а) имеется загрязнение ^{138m}Pr .
б) примесь ^{138m}Pr по активности
менее 0,01%.

(M10,5)(У63I,8). Однако наблюдать их нам не удалось из-за небольшой статистики, набранной для спектра e - γ -совпадений.

2.6. Время жизни состояния $10,5$ кэВ ^{137}La

Измерение времени жизни уровня $10,5$ кэВ в ^{137}La проводилось на многоканальном временном анализаторе, собранном на базе двух сцинтилляционных спектрометров с пластическими сцинтилляторами типа NE 104 ($\varnothing 25 \times 10$ мм) и NE III ($\varnothing 15 \times 0,1$ мм).

Время жизни уровня $10,5$ кэВ было определено измерением совпадений между K α -лучами, сопровождающими ϵ -захват ^{137}La , и суммарным излучением γ -лучей и конверсионных электронов перехода $10,5$ кэВ. K α -лучи регистрировались сцинтиллятором NE 104, а γ -лучи и электроны конверсии - сцинтилляционной пленкой NE III. Кривая задержанных совпадений (K α)(γ , MN 10,5) обрабатывалась по программе LIFTIM²¹/ на ЭВМ СДС-6500. Период полураспада уровня $10,5$ кэВ нами определен как $T_{1/2} = 91,1 \pm 1,0$ нс (рис. 3). Это значение уточняет результат Руби и др.^{6/}

2.7. Гамма-лучи ^{139}Pr

Полученные нами сведения о γ -лучах ^{139}Pr приведены в табл.3, где они сравниваются с результатами $^{10,12/}$. Видно, что наши данные согласуются с $^{10,12/}$. Удалось наблюдать некоторые слабые γ -лучи, отнесенные к распаду ^{139}Pr Залуцким и др.^{12/} ($E_{\gamma} = 354,0; 587,4; 1065,7$ кэВ).

Специальное внимание уделено району γ -линии 1090 кэВ (рис.4). Ранее $^{10/}$ была наблюдаема γ -линия с $E_{\gamma} = 1091,4$ кэВ и $I_{\gamma} = 13 \pm 3$ отн.ед. В наших измерениях эта линия оказалась уширенной по сравнению с соседними линиями и была разложена на два пика: с $E_{\gamma} = 1088,7 \pm 0,7$ кэВ ($I_{\gamma} = 6,6 \pm 2,3$ отн.ед.) и $E_{\gamma} = 1091,4$ кэВ ($I_{\gamma} = 6,6 \pm 2,3$ отн.ед.). Фотопик с $E_{\gamma} = 1088,7$ кэВ имеет интенсивность, в несколько раз меньшую, чем в $^{12/}$. Второй пик с $E_{\gamma} = 1091,4$ кэВ, по нашему мнению, является пиком суммы наиболее интенсивных находящихся в каскаде γ -переходов ^{138m}Pr с $E_{\gamma} = 302,7$ и $788,7$ кэВ. Небольшое загрязнение препарата ^{139}Pr изотопом ^{138m}Pr имело место в ходе масс-сепарации. Отметим, что с более чистыми источниками ^{139}Pr (примесь ^{138m}Pr по активности менее $0,01\%$) мы не наблюдали пика $1091,4$ кэВ (рис. 4б).

Из сравнения интенсивностей γ -лучей $255,2$ кэВ ^{139}Pr и $165,9$ кэВ дочернего ^{139}Ce определена интенсивность γ -лучей ^{139}Pr в % на распад (см. табл.3). Величины I_{γ} (в % на распад) подтверждены измерениями γ -спектров ^{139m}Na в условиях, когда активности ^{139}Na и ^{139}Pr находились в динамическом равновесии.

2.8. Позитронный спектр ^{139}Pr

Ранее граничная энергия позитронов ^{139}Pr была определена равной $E_{\text{гр}} = 1090 \pm 20$ кэВ^{22/} и 1090 ± 10 кэВ $^{10/}$. Измерения β^+ -спектра были выполнены с помощью сцинтилляционного спектрометра^{22/} и бета-спектрометра с тороидальным магнитным полем $^{10/}$. Последний бета-спектрометр

Таблица 3
Сведения о γ -лучах ^{139}Pr

Вылов и др./I0/		Залучки и др./I2/		Данная работа	
E(ΔE), кэВ	I(ΔI), отн.	E(ΔE), кэВ	I(ΔI), отн.	E(ΔE), кэВ ^а	I(ΔI), отн. ^{а, б}
-	-	-	-	Кх (Се) 2,17(22)10 ⁵	
255,15(2)	526(44)	255,11(2)	498(14)	255,2(1)	526(44)
-	-	354,00(10)	25(5)	354,0(5)	17(6)
-	-	511,00	35,0(8)10 ³	511,0	32,4(1,6)10 ³
-	-	587,37(15)	15(5)	587,4(5)	14(5)
-	-	664,60(15)	8(2)	664,6	≤6
-	-	696,01(10)	9(5)	696,0	≤6
754,2(2)	26(4)	754,24(8)	30(5)	754,2(2)	26(4)
824,0(2)	28(5)	-	-	824,0(2)	28(5)
-	-	1065,32(20)	7(4)	1065,7(7)	5,2(2,6)
-	-	1088,70(10)	22(5)	1088,7(7)	6,6(2,3)
1091,4(7)	13(3)	-	-	1091,4(7)	≤3
1320,0(3)	122(14)	1320,24(2)	147(2)	1320,0(3)	122(14)
1340,9(5)	20(6)	1341,50(9)	10(5)	1340,9(5)	20(6)
1346,9(3)	1000	1347,33(1)	1000	1346,9(3)	1000
1375,7(2)	318(16)	1375,56(3)	325(15)	1375,7(2)	318(16)
-	-	[1517,20(35)]	[5(27)]	1517	≤4
1563,3(3)	94(13)	1563,38(2)	88(5)	1563,3(3)	94(13)
1596,3(3)	73(9)	1596,58(2)	72(6)	1596,3(3)	73(9)
1630,5(2)	699(53)	1630,67(2)	725(20)	1630,5(2)	699(53)
1652,4(4)	78(11)	1652,58(2)	82(5)	1652,4(4)	78(11)
-	-	(1678,53(26))	(3(1))	1679	≤3
-	-	1710,27(24)	3,6(9)	1710	≤3
1729,4(4)	16(4)	1729,89(9)	19(3)	1729,4(4)	19(3)
1818,5(3)	60(6)	1818,30(4)	65(4)	1818,5(3)	65(4)
1907,5(4)	35(4)	1907,61(5)	36(4)	1907,5(4)	36(4)
-	-	1965,66(44)	1,2(5)	1966	≤1,5
-	-	1985,04(28)	1,6(5)	1985	≤1,5
2016,4(5)	25(3)	2016,25(4)	25(3)	2016,4(5)	25(3)
-	-	-	-	2090 ^г)	≤1,0

а) Значения E_γ и I_γ для сильных γ -переходов приняты по работе.^{10/}

б) I отн.ед.=(2,74±0,14)·10⁻⁴% на распад ^{139}Pr .

в) Указана интенсивность позитронов.

г) Возможный переход с уровня 2090,5 кэВ, $I=3/2^+, 5/2^+$, возбужденного в (d,t)-реакции ^{11}Li .

был использован и в наших измерениях. Источники для спектрометра были приготовлены введением ионов ^{139}Pr в алюминизированную майларовую подложку толщиной $0,68 \text{ мг/см}^2$.

Граничная энергия позитронов установлена равной $E_{\text{гр}} = (1107 \pm 3) \text{ кэВ}$. Интенсивность позитронов ^{139}Pr измерена Ge(Li) -спектрометром по пику аннигиляционного излучения (см. табл.3). Коэффициент счетности позитронов был определен измерением (в той же геометрии и с тем же фильтром) γ -спектра калибровочного источника ^{22}Na . С учетом заселения основного состояния ^{139}Ce электронным захватом (рис.6) для β -перехода на него находим ветвление $\varepsilon/\beta^+ = 10,2 \pm 1,1$. Это значение близко к теоретическому $^{23/}$ $(\varepsilon/\beta^+)_{\text{теор}} = 11,25 \pm 0,17$ для разрешенного бета-перехода.

3. Обсуждение результатов

3.1. Схемы распада $^{137\text{m}}\text{Ce}$ и $^{137\text{e}}\text{Ce}$

Предложенные на основании наших данных схемы распада изомеров $^{137\text{m,e}}\text{Ce}$ приведены на рис.5. Мы существенно уточнили значение энергии β -распада $^{137\text{e}}\text{Ce}$ ($Q_{\beta} = 1220,0 \pm 1,6 \text{ кэВ}$). Установили мультипольность перехода $169,3 \text{ кэВ}$ (E1). Размещение в схеме большинства переходов обосновано результатами измерения e - γ -совпадений. Подтверждено существование всех уровней ^{137}La , введенных в $^{8/}$.

Недавно нам стали известны результаты $^{24/}$ изучения уровней ^{137}La в реакции $^{138}\text{Ba}(p, 2n)$ и при β -распаде ^{137}Ce . Эти результаты в основном согласуются с нашими данными и работой $^{8/}$ и дополняют их. Однако имеются разногласия по вопросу о разрядке состояния $926,3 \text{ кэВ}$. Согласно $^{24/}$ $I_{\gamma 433}/I_{\gamma 926} = 0,50 \pm 0,13$, тогда как по нашим данным и $^{8/}$ это отношение составляет $1,58 \pm 0,19$. В $^{24/}$ состоянии $926,3 \text{ кэВ}$ высвечивается также γ -переходом $145,2 \text{ кэВ}$. В измеренном нами γ -спектре имеется пик с $E_{\gamma} = 144,9 \pm 0,1 \text{ кэВ}$, интенсивность которого ($I_{\gamma} = 2,7 \pm 0,5 \text{ отн.ед}$) согласуется с значениями $I_{\gamma}^{24/}$ трех других переходов с уровня $926,3 \text{ кэВ}$. Однако идентификация γ -линии $144,9 \text{ кэВ}$ в нашей работе не окончательна. Отметим, что в $^{8/}$ она не наблюдается, хотя обнаружена более слабая линия с $E_{\gamma} = 148,8 \text{ кэВ}$.

В $^{24/}$ при распаде ^{137}Ce обнаружены совпадения γ -лучей 169 кэВ с $^{77\text{I}}$. Для объяснения совпадений предполагается $^{24/}$ существование перехода 54 кэВ между уровнями $835,4 \text{ кэВ}, 9/2^+$ и $781,5 \text{ кэВ}, 7/2^+$. В этом случае γ -переходы $77\text{I}, 0$ и $78\text{I}, 4 \text{ кэВ}$ должны принадлежать распаду $^{137\text{m}}\text{Ce}$, что противоречит нашим данным и $^{8/}$. При таком варианте размещения γ -перехода 54 кэВ его полная интенсивность должна быть не меньше суммы интенсивностей γ -переходов 77I и 78I кэВ. Однако, по нашим данным, $I_{\text{полн}}(54,0; \text{M1 или E2}) \leq 0,7 (I_{\gamma 77\text{I}} + I_{\gamma 78\text{I}})$. В связи с этим мы отказываемся от введения перехода 54 кэВ и характеристик $7/2^+$ у уровня $781,5 \text{ кэВ}$.

Квантовые характеристики возбужденным состояниям ^{137}La нами приписаны на основании мультипольностей γ -переходов, величин $\log ft$ соответствующих β -переходов. Также учитывались соотношения интенсивностей γ -переходов в тех случаях, когда уровни высвечиваются в основном и первое возбужденное состояния ^{137}La .

Наиболее интенсивно при распаде ^{137}Ce заселяется уровень 10,5 кэВ. Его заселение происходит в основном за счет электронного захвата. Из измеренного нами отношения $J_{\beta^+} / J_{K442} = 0,35 \pm 0,03$ находим интенсивность позитронов $J_{\beta^+} = (1,08 \pm 0,18) \cdot 10^{-2} \%$ на распад. Ветвление $\epsilon / \beta^+ = (9,00 \pm 1,50) \cdot 10^3$ для данного перехода несколько мало по сравнению с теоретическим $(\epsilon / \beta^+)_{\text{теор}} = 11,5 \cdot 10^3$. По величине $\log ft = 5,37$ можно заключить, что в данном случае реализуется превращение $5/2^+ \rightarrow \sqrt{d} 3/2^-$ и уровню 10,5 кэВ следует приписать конфигурацию $\sqrt{d} 5/2^-$.

Уровень 10,5 кэВ высвечивается MI-переходом в основное состояние, спин которого измерен ($I = 7/2$)^{3/}. Тогда основному состоянию приписываем $I^\pi = 7/2^+$ и рассматриваем его как одночастичный уровень $\sqrt{g} 7/2^-$. Факторы торможения $F_3(MI) = 550$ и $F_3(E2) \geq 1,5$ перехода 10,5 кэВ соответствует свойствам переходов между нижними уровнями $5/2^+$ и $7/2^+$ в нечетных по протонам ядрах в области $51 < Z < 63$ (сказывается ℓ -запрет для γ -перехода между состояниями $2d_{5/2}$ и $1g_{7/2}$). Одночастичная природа основного состояния и состояния 10,5 кэВ подтверждена Накай и др.^{25/} в реакции $^{136}\text{Ba}(\alpha, t)$.

Кроме этих двух состояний для нечетного протона в ^{137}La следует ожидать одночастичных уровней $2d_{3/2}$, $3e_{1/2}$ и $1h_{11/2}$, причем порядок их следования может быть "перепутан".

Уровень 1004,68 кэВ имеет $I^\pi = 11/2^-$, и его идентифицировали^{25/} в реакции (α, t) как состояние с доминирующей компонентой $1h_{11/2}$. Высвечивающие этот уровень переходы 993,8 и 1004,8 кэВ имеют заметное ускорение по E3-компоненте (в ≥ 9 и ≥ 5 раз соответственно), что указывает на заметный вклад в это состояние конфигураций $\sqrt{d} 5/2 \otimes 3_1^-$ и $\sqrt{g} 3/2 \otimes 3_1^-$ (3_1^- - октупольная вибрация кора). E1-переходы 169,3 и 87,4 кэВ являются заторможенными на фактор 10^4 , что соответствует систематике свойств E1-переходов с состояний $11/2^-$ на уровни вибрационного характера. При распаде ^{137}Ce на уровень 1004,7 кэВ, вероятно, имеет место бета-переход $1h_{11/2} \rightarrow \sqrt{h} 11/2^-$. Довольно большую величину $\log ft = 7,34$ этого β -перехода можно объяснить тем, что в изомерном состоянии ^{137m}Ce вклад конфигурации $(\sqrt{h} 11/2^-)_0^2$ невелик, а подболочка ($\sqrt{h} 11/2^-$) в ^{137}Ce практически заполнена.

Модель слабой связи нечетного протона и вибрационного остова^{26/} предсказывает для небольших энергий возбуждения ^{137}La следующие уровни: $\sqrt{g} 7/2^- + 2_1^+$ и $\sqrt{d} 5/2^- + 2_1^+$ (здесь 2_1^+ - первый квадрупольный фонон-

ный уровень остова: у $^{136}_{56}\text{Ba}$ 80 уровень 2^+_1 имеет энергию 818,5 кэВ. В соответствии с этой моделью ожидаются: один уровень с характеристиками $11/2^+$, по два уровня с $9/2^+$, $7/2^+$, $5/2^+$, $3/2^+$ и один уровень с $1/2^+$. Разумно отнести уровень 762,1 кэВ, $I^\pi = 11/2^+$, к мультиплету $\pi \delta_{7/2^+} + 2^+_1$, а уровень 641,8 кэВ, $I^\pi = 1/2^+$, - к мультиплету $\pi d_{5/2^+} + 2^+_1$.

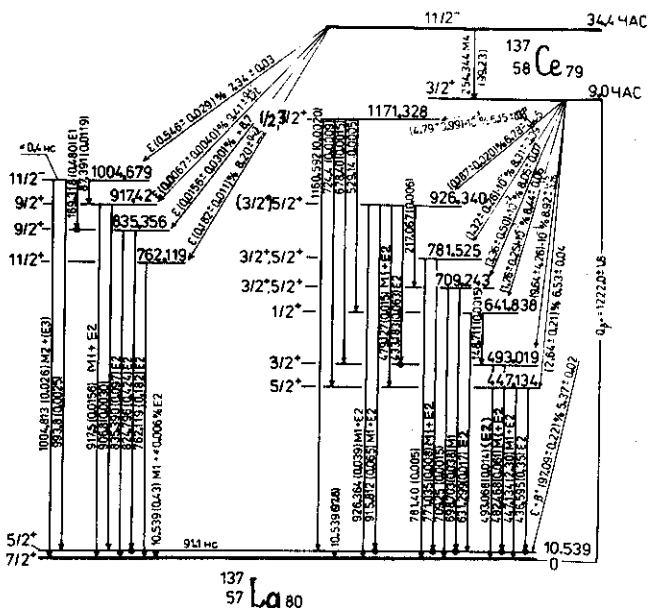


Рис.5. Схемы распада ^{137m}Ce и ^{137g}Ce .

Уровням с $I^\pi = 9/2^+$ исходя из соотношения интенсивностей разряжающих их E2-переходов мы приписываем, как и в /8/, волновые функции $(0,82)^{1/2}(\pi d_{5/2^+} + 2^+_1) + (0,18)^{1/2}(\pi \delta_{7/2^+} + 2^+_1)$ - состоянию 835,4 кэВ, $(0,18)^{1/2}(\pi d_{5/2^+} + 2^+_1) + (0,82)^{1/2}(\pi \delta_{7/2^+} + 2^+_1)$ - состоянию 917,4 кэВ.

Уровни 447,1 кэВ, $I^\pi = 5/2^+$, и 493,0 кэВ, $I^\pi = 3/2^+$, учитывая характер их разрядки, интерпретируем как состояния $\pi \delta_{7/2^+} + 2^+_1$ и $\pi d_{5/2^+} + 2^+_1$ соответственно. Величина $\log ft = 6,53$ β -перехода на уровень 447,1 кэВ указывает на примесь в его волновой функции одночастичного состояния $\pi d_{5/2^+}$ ($\approx 6\%$).

Наши экспериментальные данные не позволяют сделать одночастичного выбора между характеристиками $3/2^+$ и $5/2^+$ для уровней 709,2 и 781,5 кэВ и вывода об их структуре.

Уровню 926,3 кэВ по мультипольностям высвечивающихся γ -переходов можно приписать $I^\pi = 3/2^+, 5/2^+$. В ^{18/} отдано предпочтение $I^\pi = 3/2^+$, а в ^{25/} - $I^\pi = 5/2^+$. Бета-переход на это состояние имеет $\log ft = 6,78$. Отсюда можно предположить, что в его волновую функцию вносит вклад конфигурация $\pi d_{5/2}$ ($\approx 3\%$). Характер разрядки уровня 926,3 кэВ позволяет предположить, что его доминирующей компонентой является $\pi d_{5/2} + 2^+$.

Для переходов, которыми высвечивается уровень $\Pi 71,3$ кэВ, не установлены мультипольности. Уровень заселяется разрешенным β -переходом. Отсутствие γ -перехода в основное состояние послужило в ^{18/} основанием приписать ему $I^\pi = 1/2^+$ и интерпретировать его как $\pi s_{1/2}$. При такой конфигурации не представляется возможным объяснить величину $\log ft = 6,15$. Предпочтительнее принять у уровня $\Pi 71,3$ кэВ $I^\pi = 3/2^+$ и допустить вклад состояния $\pi d_{3/2}$.

Состояния $7/2^+$, ожидаемые по упомянутой выше модели при энергиях 700-900 кэВ, не удалось идентифицировать. Это неудивительно, так как прямыми бета-переходами такие состояния заселяются крайне слабо ($\Delta I = 2$). На эти уровни возможны γ -переходы с состояний $9/2^+$, которые, однако, не могут конкурировать с наблюдаемыми E2-переходами с уровнем $9/2^+$ на два самых нижних состояния ¹³⁷La.

Таким образом, модель слабой связи нечетного протона и вибрационного остова ^{26/} хотя и описывает удовлетворительно свойства низколежащих состояний ¹³⁷La, однако не может предсказать состояния $5/2^+$ при столь низкой энергии, как у уровня 447,1 кэВ. Без включения в рассмотрение одночастичных состояний $2 d_{3/2}$ и $3 s_{1/2}$ не удается объяснить появление двух уровней с $I^\pi = 3/2^+$ и $5/2^+$ при энергиях 709,2 и 781,5 кэВ. Для объяснения скоростей наблюдаемых β -переходов необходимо допустить значительную фрагментацию состояний $d_{5/2}$ и $d_{3/2}$ по ряду уровней.

3.2. Схема распада ¹³⁹Pr

За основу схемы распада ¹³⁹Pr \rightarrow ¹³⁹Ce (рис.6) принят вариант из нашей более ранней публикации ^{10/}. Дополнительно в ^{12/} были введены новые уровни 1842,9 и 1965,5 кэВ и размещены слабые γ -переходы 354,0; 587,4; 664,6 и 1065,7 кэВ между известными состояниями.

Определение интенсивностей γ -переходов в % на распад позволило установить заселенности уровней ¹³⁹Ce электронным захватом и с уточненным значением $Q_\beta = 2129 \pm 3$ кэВ вычислить величины $\log ft$ соответствующих β -переходов.

Значение $\log ft = 5,62$ бета-перехода в основное состояние свидетельствует, что в исходное и конечное состояния доминирующий вклад вносят соответственно $\pi d_{5/2}$ и $\nu d_{3/2}^-$.

Уровень 255,15 кэВ высвечивается в основное состояние переходом, мультипольность которого установлена ^{16/} как $M1 + \leq 10\%$ E2 измере-

нием структуры L-линий. По своим свойствам ($F_{\text{зам.}}(M1) = 63$) данный переход соответствует ℓ -запрещенным переходам типа $\downarrow s_{1/2} \rightarrow \downarrow d_{3/2}$. Одночастичный характер основного ($d_{3/2}^{-1}$), первого возбужденного ($s_{1/2}^{-1}$), а также состояния 754,2 кэВ ($h_{II/2}^{-1}$) подтвержден изучением возбуждения этих состояний в реакциях (d, t) и (${}^3\text{He}, \alpha$)/ II /. Выше энергий 1 МэВ в ${}^{139}\text{Pr}$ возбуждены путем бета-распада ${}^{139}\text{Pr}$ уровни как положительной, так и отрицательной четности. В этой области энергий ожидаются: одноквазичастичное состояние $d_{5/2}^{-1}$ и, по модели слабой связи одночастичных состояний с вибрациями остова, - уровни $\downarrow d_{3/2}^{-1} \otimes 2_1^+$ и $\downarrow s_{1/2}^{-1} \otimes 2_1^+$. Конкретные расчеты для ${}^{139}\text{Ce}$ в рамках указанной модели выполнены Хайдом и Брюссаром /26/. Анализ свойств высоколежащих уровней ${}^{139}\text{Ce}$, возбуждаемых при распаде ${}^{139}\text{Pr}$, и сравнение с расчетами Хайда выполнены в нашей ранней публикации /10/.

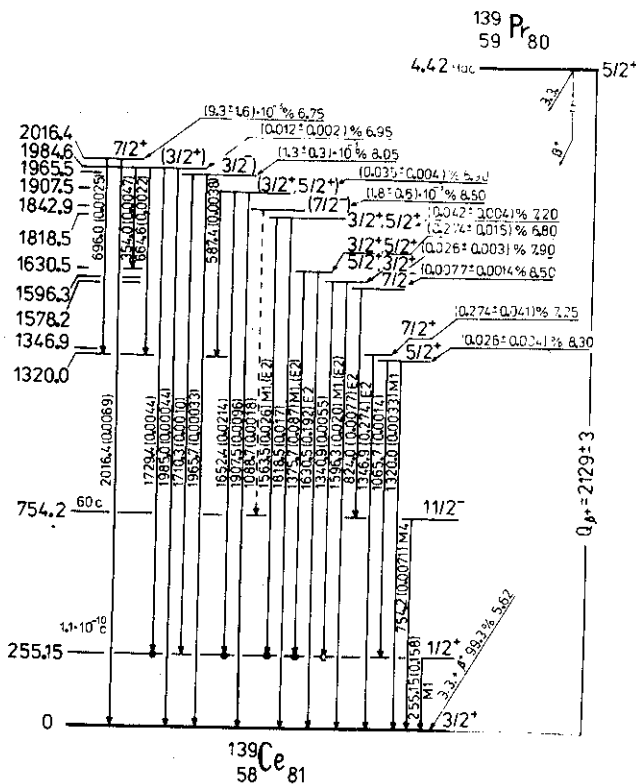


Рис.6. Схема распада ${}^{139}\text{Pr} \rightarrow {}^{139}\text{Ce}$.

Сделаем несколько замечаний в связи с появлением работы /II/, в которой уровни ^{139}Ce исследованы в реакциях (d, t) и $(^3\text{He}, \alpha)$, а также собраны данные других авторов о возбуждении уровней ^{139}Ce в реакциях подхвата или передачи нуклона. Согласно /II/ волновые функции состояний $d_{5/2}$ и $g_{7/2}$ фрагментированы по ряду уровней. Наибольший вклад от состояния $d_{5/2}$ имеет уровень 1320,0 кэВ, заметную долю имеют также уровни в области 2,0 - 2,1 МэВ. Состояние $g_{7/2}$ фрагментировано по группе уровней с энергией возбуждения ≈ 3 МэВ, а его небольшой вклад должен содержаться в уровне 1346,9 кэВ.

Уровни с $E^* > 1300$ кэВ характеризуются небольшими спектроскопическими факторами по сравнению с нижележащими уровнями. Это согласуется с представлениями модели /26/ об их вибрационной природе. Полученные нами величины $\log ft$ соответствующих бета-переходов подкрепляют такой характер состояний положительной четности.

Уровень 1578,2 кэВ уверенно /10/ приписаны $I^\pi = 7/2^-$. В реакции $^{140}\text{Ce}(d, t)$ /II/ такое состояние, по-видимому, также наблюдается (на рис. 1с в /II/ рядом с пиком 1,598 МэВ имеется слабый неидентифицированный пик). Слабое возбуждение в реакции (d, t) такого уровня понятно, если принять его интерпретацию как состояния $f_{7/2}$.

Грошев и др. /27/ нашли, что при распаде образовавшегося после захвата ядром ^{138}Ce теплового нейтрона состояния ^{139}Ce с $I^\pi = 1/2^+$, $B_n = 7456 \pm 27$ кэВ самые интенсивные переходы 5476 и 4938 кэВ заселяют уровни соответственно $\sqrt{p}_{3/2}$, 1980 ± 30 кэВ и $\sqrt{p}_{1/2}$, 2520 ± 30 кэВ, а слабый переход 5540 кэВ заселяет уровень 1916 ± 30 кэВ. Надо полагать, что уровнем $\sqrt{p}_{3/2}$ в ядре ^{139}Ce является состояние 1965,5 кэВ. С таким характером уровня 1965,5 кэВ согласуются величина $\log ft = 8,05$ соответствующего β -перехода, предпочтительный характер разрядки на состояние $S_{1/2}$ (как и в других изотонах с $N = 80$), а также отсутствие соответствующего ему пика в спектрах тритонов в реакции $^{140}\text{Ce}(d, t)$.

Уровень 1842,9 кэВ, $I^\pi = (7/2^-)$ введен /12/. Он высвечивается переходом 1088,7 кэВ на состояние $II/2^-$. По нашим данным, интенсивность λ -перехода 1088,7 кэВ в несколько раз меньше, чем в /12/. Поэтому мы рассматриваем введение уровня 1842,9 кэВ как мало обоснованное. Другого уровня с $I^\pi = 7/2^-$ кроме отмеченного выше состояния $f_{7/2}$ в этой области энергий согласно /26/ нельзя ожидать, если только не принять, что резко опускаются вниз состояния вибрационного характера типа $3^- + q.p.$

Выводы

1. В нечетно-протонном ядре $^{137}_{57}\text{La}_{80}$ и в ядре $^{139}_{58}\text{Ce}_{81}$ (с одной нейтронной дыркой в четно-четном остове - $^{140}_{58}\text{Ce}_{82}$) самые нижние уровни хорошо описываются как одноквaziчастичные.

2. Некоторые состояния в этих ядрах при энергиях возбуждения ≤ 2 МэВ удается интерпретировать как имеющие вибраторную природу (наложение вибраций остова на одночастичное движение неспаренного нуклона). Отмечено сильное опускание состояний типа $3^- + g.p.$

3. Необходимо отметить сильное опускание состояний $3s_{1/2}$ и $2d_{3/2}$ и значительную фрагментацию состояний $2d_{5/2}$ и $2d_{3/2}$ в нечетно-протонном ядре ^{137}La . В ядре ^{139}Ce наблюдается сильное фрагментирование состояний $1g_{7/2}$ и $2d_{5/2}$, дающее вклад в уровни относительно небольшой энергии возбуждения. В том же ядре при β -распаде ^{139}Pr возбуждаются "глубоководырочные" состояния $1f_{7/2}$ и $2p_{3/2}$.

Авторы выражают глубокую благодарность В.М.Вахтелю за полезные обсуждения полученных результатов.

Литература

1. Van Hise J.R., Chilosì G., Stone N.J. Phys. Rev., 1967, 161, p. 1254.
2. Letessier J., Foucher R. Ann. Phys., 1969, 4, p. 55.
3. Bunting R.L. Nucl. Data Sheets, 1975, 15, p. 335.
4. Frankel R.B. Thesis, 1964. Quoted in /3/.
5. Zhelev Zh., Kalinnikov V.G., Lebedev N.A. Conf. Int. Symp. Nucl. Str., Dubna, 1968, Preprint D-3893, p. 22.
6. Ruby S.L., Hazoni Y. and Pasternak M. Phys. Rev., 1963, 129, p. 826.
7. Morinaga A. and Hisatake K. Jour. Phys. Soc. Japan, 1975, 38, p. 322.
8. Henry E.A., Smith N., Johnson P.G., Meyer R.A. Phys. Rev., 1975, C12, p. 1314.
9. Greenwood R.C. Quoted in /3/.
10. Вылов Ц., Громова И.И., Калинин В.Г. и др. Изв. АН СССР, сер. физ., 1975, 39, стр. 1671.
11. Berrier G., Vergnes M., Rotbard G. et al. J. Physique, 1976, 37, p. 311.
12. Zalutsky M.R., Macias E.S., Meyer R.A. Phys. Rev., 1976, C13, p. 1591.
13. Molnar F., Horvath A., Khalkin V.A. J. Chromatography, 1967, 26, p. 225.
14. Спектры излучений радиоактивных нуклидов. (Под ред. К.И. Громова), ФАН, Ташкент, 1980.
15. Hager R.S. and Seltzer E.C. Nucl. Data, 1968, A4, p. 1.
16. Калинин В.Г., Ключников А.А., Музалев П.Н. и др. В кн: Тезисы докл. XXVI совещ. по ядерн. спектр. и структ. атомн. ядра, "Наука", М., 1976, стр. 100.
17. Артамонова К.П., Воронков А.А., Григорьев Е.П. и др. В кн: Программа и тезисы докл. XXV совещ. по ядерн. спектр. и структ. атомн. ядра, "Наука", М., 1975, стр. 129 и 133.
18. Артамонова К.П., Вылов Ц., Григорьев Е.П. и др. В кн: Программа и тезисы докл. XXV совещ. по ядерн. спектр. и структ. атомн. ядра. "Наука", М., 1975, стр. 97.

19. Гасиор М., Громов К.Я., Кузнецов В.В. и др. ОИЯИ, ДБ-7094, Дубна, 1973, стр. 167.
20. Кузнецов В.В., Лизурей Г.И., Муминов Т.М. и др. В сборнике: Прикладная ядерн. спектроскопия. Атомиздат, М., 1980, вып. 10, стр. 269.
21. Аликов Б.А., Будзыньски М., Ион-Михай Р. и др. ЭЧАЯ, 1976, т. 7, стр. 419.
22. Бирюков Е.И., Новиков В.Т., Шиманская Н.С. Изв. АН СССР, сер. физ., 1963, 27, стр. 1408.
23. Лжелепов Б.С., Зырянова Л.Н., Суслов Ю.П. Бета-процессы. "Наука". Л., 1972.
24. Kortelahti M., Pakkanen A., Piiparinen M. et al., Department of Phys., University of Jyväskylä. Research Report No. 3, 1981.
25. Nakai K., Kleinheinz P., Leigh J.R. et al. Phys. Lett., 1973, 44B, p. 443.
26. Heyde K., Brussard P.J. Z. Phys., 1973, 259, p. 15.
27. Грошев Л.В., Лворецкий В.Н., Лемидов А.М. и др. ЯФ, 1969, 10, стр. 681.

Рукопись поступила в издательский отдел
29 июля 1981 года.