

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



8/IX-75

B-926

P6 - 8903

3332/2-75

Ц.Вылов, И.И.Громова, В.Г.Калинников,
В.В.Кузнецов, Т.М.Муминов, В.А.Морозов,
В.И.Фоминых, Р.Р.Усманов, З.Д.Шавгулидзе

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА
НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ЯДЕР
С МАССОВЫМ ЧИСЛОМ $A = 139$

1975

Р6 - 8903

Ц.Вылов, И.И.Громова, В.Г.Калинников,
В.В.Кузнецов, Т.М.Муминов, В.А.Морозов,
В.И.Фоминых, Р.Р.Усманов, З.Д.Шавгулидзе

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА
НЕЙТРОНОДЕФИЦИТНЫХ ЯДЕР
С МАССОВЫМ ЧИСЛОМ $A = 139$

Направлено в "Известия АН СССР" сер. физ.

В данной работе исследован радиоактивный распад генетически связанных изотопов

$^{139m,g}\text{Nd}$ $\frac{5,5 \text{ ч.}; 30 \text{ мин.}}{\text{---}}$, ^{139}Pr $\frac{4,5 \text{ ч.}}{\text{---}}$, ^{139}Ce $\frac{140 \text{ дн.}}{\text{---}}$, ^{139}La .

В последние годы распад $^{139m,g}\text{Nd}$ подробно исследовался рядом авторов /1-5/, в том числе и дубненской группой /1.5/. Однако энергия распада $Q_{\beta^+}(^{139}\text{Nd})$ не была установлена. Кроме того, можно было ожидать (при благоприятных условиях) проявления в γ -спектре ряда малоинтенсивных переходов между установленными уровнями ^{139}Pr .

В распаде ^{139}Pr наиболее полно изучено его γ -излучение /6-8/. В работе Бирюкова и др. /9/ измерена на сцинтилляционном спектрометре граничная энергия позитронного спектра ^{139}Pr ($E_{\text{гр}} = 1090 \pm 20 \text{ кэВ}$). В той же работе сравнением интенсивностей $K\chi$ - и γ^+ -излучений определено отношение $K/\beta^+ = 7,1^{+1,3}_{-0,3}$ для бета-распада между основными состояниями ^{139}Pr и ^{139}Ce . Данное отношение K/β^+ существенно отличается от теоретического (12,1). Имелось некоторое противоречие между значением периода полураспада ^{139}Pr , измеренным Бирюковым и др. ($T_{1/2} = 4,92 \pm 0,08 \text{ ч}$), и результатами других авторов ($T_{1/2} = 4,5 \text{ ч}$).

Уровни ^{139}Ce были возбуждены в реакции (d, t) /10/ и (p, d) /11,12/. Некоторым уровням ^{139}Ce были приписаны значения спинов $(0 \text{ МэВ}, 3/2^+; 0,25 \text{ МэВ}, 1/2^+;$

0,75 МэВ, $11/2^-$; 1,34 МэВ, $7,2^+$; 1,66 МэВ, $7,2^+$)^{/10/}.
 В более поздних работах^{/11, 12/} для состояний 1,33 и 1,61 МэВ даны характеристики $5/2^+$, ряду других уровней (до 3,3 МэВ) приспаны спин и четность. Указанные разногласия между результатами^{/10/} и ^{/11, 12/} не удалось разрешить в работах по исследованию распада $^{139}\text{Pr} \rightarrow ^{139}\text{Ce}^{6-8/}$, т.к. в этих работах приписание спинов и четности уровням ^{139}Ce производилось на основании величин $\log ft$ и соотношений интенсивностей высвечивающих γ -переходов.

В настоящей работе выполнено дополнительное исследование распада изобаров с $A = 139$. Удалось решить ряд перечисленных выше вопросов.

1. Условия эксперимента

Нейтрондефицитные изотопы неодима, празеодима и церия получались в реакции глубокого отщепления гадолиния быстрыми протонами. Мишень весом 1-2 г облучалась в зависимости от задачи 2-10 часов на внутреннем лучке протонов синхротриклотрона ОИЯИ ($E_p = 660$ МэВ, ток 2,3 мкА). Редкоземельные элементы - продукты реакции - были выделены хроматографическим методом. Производилась вторичная хроматографическая очистка препаратов от возможных примесей. После очистки проводилось разделение препаратов по изобарам на электромагнитном масс-сепараторе^{/13/}.

Спектры позитронов нами изучались на тороидальном бета-спектрометре типа "Апельсин"^{/14/}, на бета-спектрометре с однородным магнитным полем с трехкратной фокусировкой (3π)^{/15/}, а также с помощью спектрометра с $\text{Si}(\text{Li})$ -детектором в однородном магнитном поле^{/16/}. Последний спектрометр использован также для изучения спектра электронов внутренней конверсии (при энергетическом разрешении 2,5 кэВ при $E_e \approx 500$ кэВ). Спектрометры типов "Апельсин" и " 3π " были настроены на разрешение 1% при светосиле 8% и 0,2% от полного телесного угла, соответственно.

Одномерные спектры гамма и рентгеновского излучений исследовались с помощью спектрометров с Ge(Li) - детекторами объемами 37 и 1 см³. Разрешение спектрометров составляло 2,5 кэВ (⁶⁰Co) и 700 эВ (⁵⁷Co), соответственно.

Измерения γ - γ -совпадений были выполнены двухмерным спектрометром на базе ЭВМ "Минск-2" /17/ с двумя Ge(Li) - детекторами объемом 40 см³. Разрешающее время установки $2\tau = 100$ нс. С помощью многоканального временного анализатора, созданного на базе магнитно-линзового бета-спектрометра /18/, определено время жизни уровня 255,2 кэВ в ¹³⁹Ce. Кривая "мгновенных" совпадений, измеренная с ⁶⁰Co (β - γ -совпадения, $E_e = 250$ кэВ, $E_\gamma > 200$ кэВ), имеет полуширину $2\tau = 0,7$ нс.

2. Результаты эксперимента

Распад ¹³⁹Nd

Позитронный спектр препарата, представляющего равновесную смесь ^{139m,g}Nd + ¹³⁹Pg, был измерен спектрометром с однородным магнитным полем на базе β (Li) - детектора. График Кюри β^+ -спектра показан на рис. 1. Выделено три компонента с $E_{гр}(I_{отн})$: 1088 ± 25 кэВ (100), 1170 ± 50 кэВ (15 ± 5) и 1770 ± 50 кэВ (31 ± 5). Самая интенсивная компонента относится к распаду ¹³⁹Pg, компоненту с $E_{гр} = 1170 \pm 50$ кэВ, в соответствии с работой /5/, следует отнести к распаду ^{139m}Nd на уровень 822,0 кэВ ($11/2^-$) в ¹³⁹Pg.

Третья компонента с $E_{гр} = 1770 \pm 50$ кэВ наблюдается впервые. Она должна, из энергетических соображений, соответствовать β -переходу между основными состояниями ^{139g}Nd \rightarrow ¹³⁹Pg (переход типа $d_{3/2} \rightarrow d_{5/2}$).

Учитывая интенсивность $I_{\beta+1088}({}^{139}\text{Pg}) = (7,68 \pm 1,75)\%$ (см. ниже), получаем $I_{\beta+1170} = (1,20 \pm 0,45)\%$ и $I_{\beta+1770} = (2,40 \pm 0,60)\%$ за распад ^{139m}Nd. Полная интенсивность измеренного перехода в ¹³⁹Nd с энергией

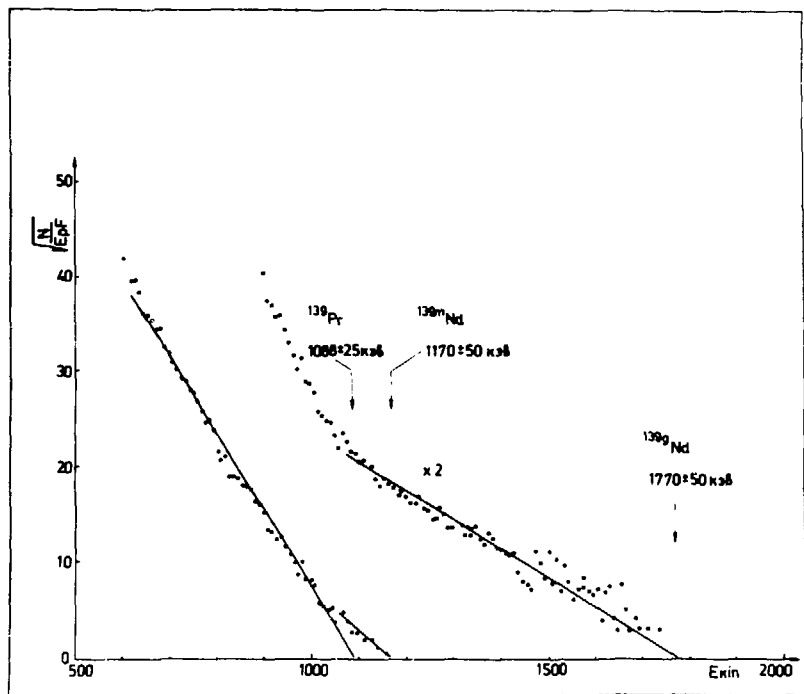


Рис. 1. График Кюри β^+ -спектра равновесной смеси $^{139}\text{Nd} + ^{139}\text{Pr}$.

231,15 кэВ составляет $(14,3 \pm 1,4)\%$ ^{5/}. С учетом этого получаем $I_{\beta^+ 1770} = (16,8 \pm 4,6)\%$ на распад ^{139}Nd . Полученные таким путем вероятности β^+ -переходов 1170 и 1770 кэВ согласуются с величинами $I_{\beta^+}(\%)$, рассчитанными в работе ^{5/} из баланса интенсивностей в схеме распада $^{139m}\text{Nd} \rightarrow ^{139}\text{Pr}$.

Разность масс $^{139}\text{Nd} \rightarrow ^{139}\text{Pr}$ составляет 2800 ± 50 кэВ. Бета-распад $^{139m}\text{Nd} (11/2^-) \rightarrow ^{139}\text{Pr} (822 \text{ кэВ}, 11/2^-)$ характеризуется $\log ft = 6,7 \pm 0,3$, а β -переход $^{139}\text{Nd} (3/2^+) \rightarrow ^{139}\text{Pr} (5/2^+) - \log ft = 5,3 \pm 0,2$.

Использование аппаратуры с лучшей разрешающей способностью, а также источников более высокой удельной активности позволило наблюдать 30 ранее неизвестных малоинтенсивных γ -переходов (табл.1) Ряд переходов размещается между известными уровнями ^{139}Pr , для размещения остальных требуется введение дополнительных состояний (табл. 2).

Специальное внимание было обращено на поиск γ -перехода с трехквaziчастичного уровня 1834,0 кэВ ($9/2^-$, $11/2^-$) на первый возбужденный уровень 113,88 кэВ $^{139}\text{Pr} (7/2^+)$. Наблюдающийся слабый пик с энергией 1720 кэВ объясняется суммированием в детекторе импульсов от находящихся в прямом каскаде самых интенсивных переходов 738,2 и 982,2 кэВ. Если γ -переход 1720 кэВ существует, то его интенсивность $I_{\gamma} \leq 0,05$ (в отн. единицах табл. 1). С учетом этой интенсивности и принимая во внимание слособы разрядки уровней 1624 и 2174 кэВ с $I^{\pi} = 9/2^-$ (наличие сильного перехода на состояние 113,8 кэВ), мы приходим к заключению, что наиболее вероятные характеристики уровня 1834 кэВ $I^{\pi} = 11/2^-$.

Распад ^{139}Pr

Измерение β^+ -спектра выполнено на тороидальном бета-спектрометре и на спектрометре типа "3п". График Кюри бета-спектра приведен на рис. 2. Граничная энергия позитронов установлена равной $E_{\text{гр}} = (1150 \pm 10)$ кэВ.

Таблица I. Данные о новых гамма-переходах, сопровождающих распад ^{139}Nd .

E_{γ} , кэВ	I_{γ} , отн.	E_{γ} , кэВ	I_{γ} , отн.
171,2 ± 0,2	0,18 ± 0,04	1173,5 ± 0,5	0,10 ± 0,03
204,7 ± 0,3	0,40 ± 0,06	1204,2 ± 0,5	0,25 ± 0,04
340,3 ± 0,4	1,45 ± 0,27	1250,0 ± 0,5	0,20 ± 0,04
342,6 ± 0,4	1,45 ± 0,22	1256,5 ± 0,5	0,17 ± 0,04
419,3 ± 0,5	0,50 ± 0,17	1269,2 ± 0,6	0,10 ± 0,03
431,0 ± 0,5	0,60 ± 0,24	1305,8 ± 0,5	0,18 ± 0,03
464,1 ± 0,4	1,20 ± 0,20	1400,0 ± 0,6	0,20 ± 0,04
559,9 ± 0,5	0,90 ± 0,14	1411,5 ± 0,6	0,17 ± 0,04
695,5 ± 0,3	1,46 ± 0,23	1421,0 ± 0,6	0,19 ± 0,05
732,2 ± 0,4	1,64 ± 0,26	1440,1 ± 0,6	0,11 ± 0,03
758,2 ± 0,2	100 ^{a)}	1590,9 ± 0,4	0,85 ± 0,09
772,7 ± 0,5	1,15 ± 0,20	1681,8 ± 0,5	0,85 ± 0,09
845,2 ± 0,5	0,22 ± 0,06	1943,0 ± 0,7	0,10 ± 0,03
870,2 ± 0,5	0,50 ± 0,09	1955,0 ± 0,7	0,09 ± 0,03
962,8 ± 0,5	0,3 ± 0,1	2051,0 ± 0,7	0,16 ± 0,05
1031,7 ± 0,5	0,65 ± 0,09	2285,5 ± 0,8	0,06 ± 0,02
1150,6 ± 0,5	0,35 ± 0,07		

a) Интенсивность γ -лучей принята за 100 относительных единиц.

Таблица 2. Сведения о размещении в схеме распада $^{139}\text{m.g Nd} \rightarrow ^{139}\text{Pr}$ новых γ -переходов

Энергия γ -перехода (кэВ)	Размещение перехода в схеме $E_{\text{гр}}^i (I_i^{\pi}) \rightarrow E_{\text{гр}}^j (I_j^{\pi})$	$\log ft$ а)
$732,2 \pm 0,4$	$846,1 (?) \rightarrow 113,9 (7/2^+)$	$7,8 \pm 0,5$ (м)
$845,2 \pm 0,5$	$846,1 (?) \rightarrow 0 (5/2^+)$	$6,7 \pm 0,5$ (г)
$171,2 \pm 0,2$	$1024,0(9/2^+, 11/2^+) \rightarrow 852,1 (11,2^+)$	$\geq 7,2$ (м)
$1256,5 \pm 0,5$	$1369,6 (9/2^-, 11/2^-) \rightarrow 113,9 (7/2^+)$	$7,1 \pm 0,1$ (м)
$695,5 \pm 0,3$	$1523,2 (9/2^-, 11/2^-) \rightarrow 827,8 (7/2^+, 9/2^+)$	$\geq 6,1$ (м)
$204,7 \pm 0,3$	$1532,7 (?) \rightarrow 1328,4 (5/2^+)$	$6,8 \pm 0,5$ (г)
$772,7 \pm 0,5$	$1624,3 (9/2^-) \rightarrow 852,1 (11/2^+)$	$6,1 \pm 0,1$ (м)
$464,1 \pm 0,4$	$1834,0 (11/2^-) \rightarrow 1369,6(9/2^-, 11/2^-)$	$5,60 \pm 0,05$ (м)
$431,0 \pm 0,5$	$2055,7 (9/2^-) \rightarrow 1624,3 (9/2^-)$	$6,9 \pm 0,4$ (м)
$1031,7 \pm 0,5$	$2055,7 \rightarrow 1024,0 (9/2^+, 11/2^+)$	
$1204,2 \pm 0,5$	$2055,7 \rightarrow 852,1 (11/2^+)$	
$1234,6 \pm 0,5$	$2055,7 \rightarrow 822,0 (11/2^-)$	
$1943,0 \pm 0,7$	$2055,7 \rightarrow 113,9 (7/2^+)$	
$1150,6 \pm 0,5$	$2174,5(9/2^-) \rightarrow 1024,0(9/2^+, 11/2^+)$	$5,9 \pm 0,7$ (м)
$1269,2 \pm 0,8$	$2292,2 (9/2^-, 11/2^-) \rightarrow 1024,0(9/2^+, 11/2^+)$	$6,2 \pm 0,1$ (м)
$1440,1 \pm 0,5$	$2292,2 (9/2^-, 11/2^-) \rightarrow 852,1 (11/2^+)$	

а) Принадлежность бета-перехода распаду изомера или основного состояния ^{139}Nd обозначена буквами m и g, соответственно.

б) Размещение γ -переходов в схеме предлагается на основе энергетического баланса.

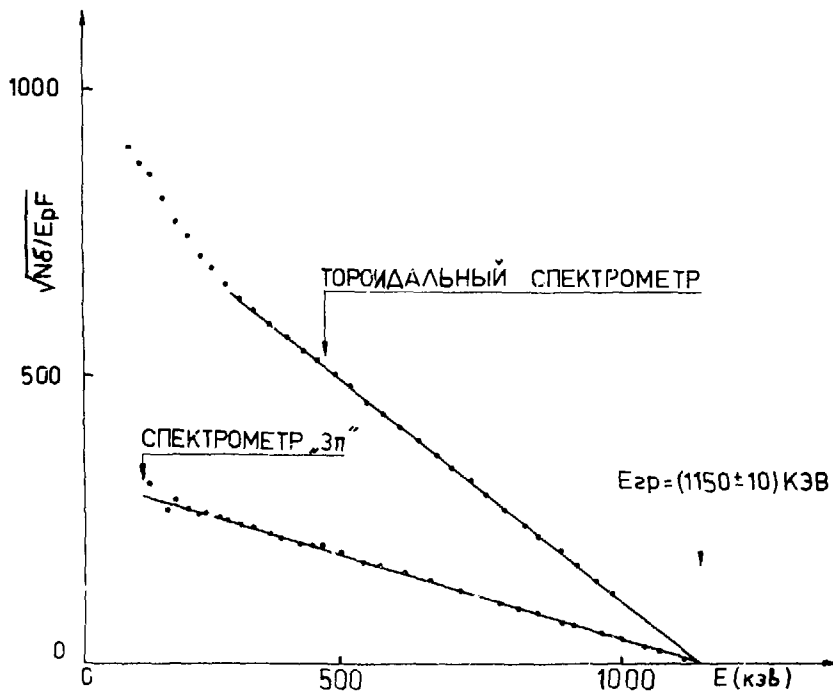


Рис. 2. График Кюри позитронного спектра ^{139}Pr .

По спаду интенсивности позитронного излучения определен период полураспада ^{139}Pr : $T_{1/2} = (4,42 \pm 0,08)$ ч. Значение периода отличается от величины, измеренной Бирюковым и др.^{19/}. Соотношение интенсивностей I_{β^+} и I_{K255} , по нашим данным, равно 1832 ± 55 .

Полученные нами данные об энергиях, относительных интенсивностях гамма-лучей и электронов внутренней конверсии приведены в табл. 3. Представляющие наибольший интерес участки гамма-спектра и спектра конверсионных электронов изображены на рис. 3 и 4. К распаду ^{139}Pr отнесено 17 γ -переходов, причем переходы с энергиями 754,2; 824,0; 1091,4 и 1340,9 кэВ обнаружены нами впервые. Также впервые были получены данные об электронах внутренней конверсии. Сведения об интенсивностях γ -лучей и электронов конверсии позволили установить коэффициент внутренней конверсии ряда переходов (см. табл. 3). Нормировка интенсивностей I_{γ} и I_K произведена по α_{K255} в предположении мультипольности M1. Определены типы мультипольностей 8 переходов.

В опытах по γ - γ -совпадениям изучен спектр γ -лучей, совпадающих с γ -переходом 255 кэВ. Для подавления сильных КХ и γ^{\pm} -излучений использован фильтр РЬ(5 мм). В задающем канале (тракт А) детектор был экранирован фильтром Сu(1,5 мм) + Сd(1,5 мм). Однозначно установлены совпадения γ -лучей 255 кэВ с переходами 1375; 1563; 1653 и 1730 кэВ (рис. 5). Из-за небольшой статистики не удалось определенно установить наличие совпадений (γ 255) (γ 1342). Показано, что γ -переходы 754, 824, 1320, 1347, 1596, 1631, 1818, 1908 и 2016 кэВ не совпадают с γ -лучам[»] 255 кэВ.

Время жизни уровня 255 кэВ ^{139}Ce определено по сдвигу центра тяжести кривой задержанных совпадений (L 255) (γ , $E_{\gamma} > 200$ кэВ) ^{139}Pr относительно кривой "мгновенных" совпадений, измеренной в тех же условиях с источником ^{60}Co . Временные спектры показаны на рис. 6. Период полураспада равен $T_{1/2} = 110 \pm 20$ пс.

Таблица 3. Гамма-лучи и конверсионные электроны, сопровождающие распад ^{139}Pr (4,43 час)

E_{γ} , кэВ	I_{γ} , отн.	Оболочка	I_c , отн.	α_k , экп	Вывод о мульти-типальности
255,15±0,020	52,6±4,4	K	≅ 1000	≅ 0,0767	M1
		L	191± 20		
		M+N	50± 6		
754,2±0,2	2,6±0,4	K	41± 4	0,064±0,018	M4
		L+M	6,7±1,1		
824,0±0,2	2,8±0,5	K	1,6±0,3	(2,3±1,1)·10 ⁻³	E2, (M1)
1091,4±0,7	1,3±0,3	-	-	-	-
1321,0±0,3	12,2±1,4	K	2,3±0,4	(7,5±3,3)·10 ⁻⁴	E2 (M1)
1340,9±0,5	2,0±0,6	-	-	-	-
1346,9±0,3	100	K	21,6±3,3	(8,7±2,6)·10 ⁻⁴	E2+M1
1375,7±0,2	31,8±1,6	K	8,2±1,2	(1,04±0,32)·10 ⁻³	M1, E2
1563,3±0,3	9,4± 1,3	K	2,6±0,6	(1,1±0,5)·10 ⁻³	M1, E2
1596,3±0,3	7,3±0,9	K	3,1±0,6	(1,7±0,7)·10 ⁻³	M1, E2
1630,5±0,2	69,9±5,3	K	16,5±2,2	(9,5±2,8)·10 ⁻⁴	M1
1652,4±0,4	7,8±1,1				
1729,4±0,4	1,6±0,4				
1818,5±0,3	6,0±0,6				
1907,5±0,4	3,5±0,4				
2016,4±0,5	2,5±0,3				

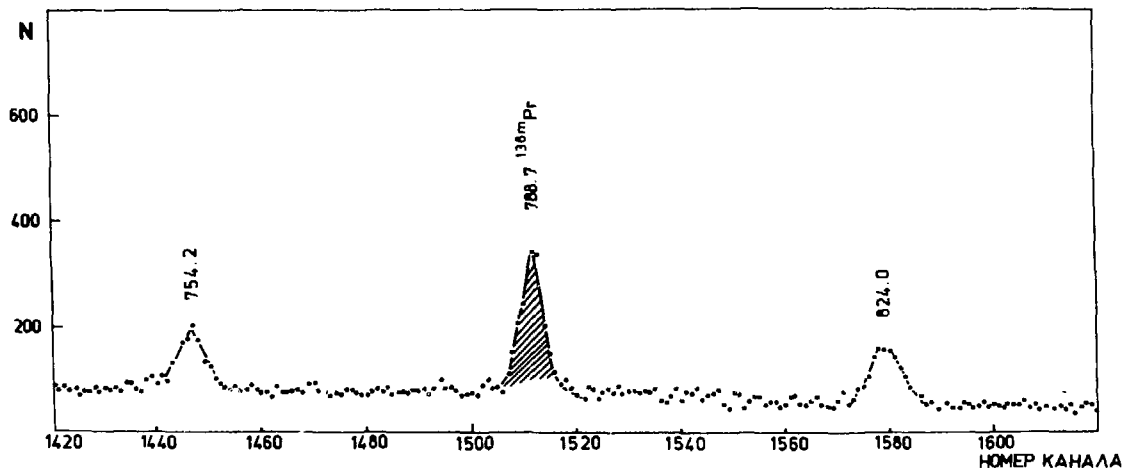


Рис. 3. Участок гамма-спектра ^{139}Pr с линиями $E_\gamma = 754$ и 824 кэВ. Линия $798,7$ кэВ относится к распаду ^{138}Pr , присутствующему в источнике как небольшая примесь.

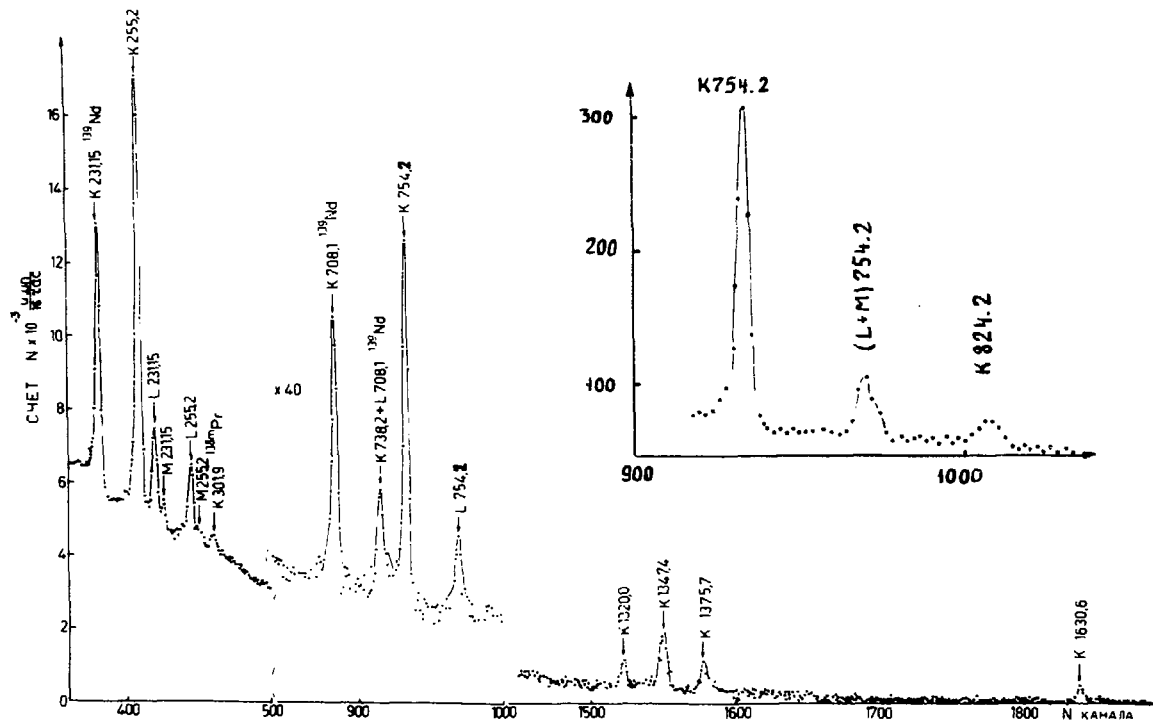


Рис. 4. Спектр электронов внутренней конверсии γ -переходов ^{139}Pr . Некоторые линии принадлежат распаду ^{139}Nd и ^{138}Pr , присутствующим в источнике как примесь.

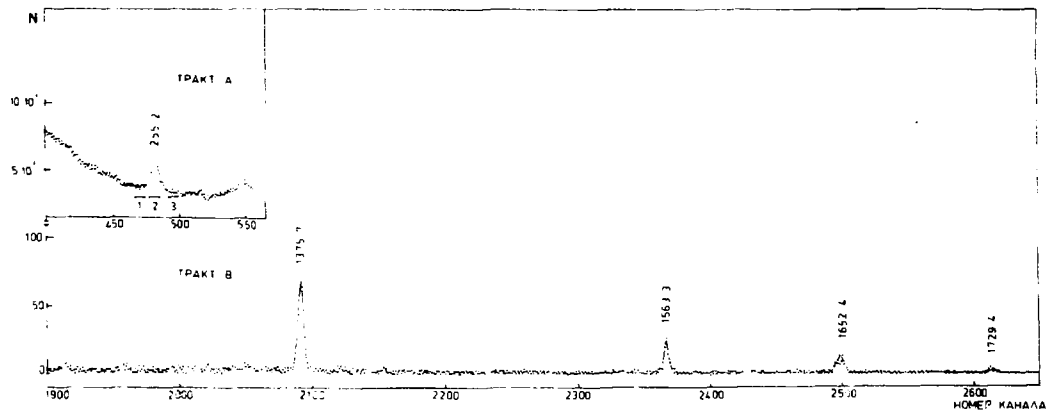


Рис. 5. Спектр γ -лучей, совпадающих с γ -переходом 255 кэВ. На вставке показаны позиции задающего совпадения "окна" 2 и двух (1 и 3) фоновых "окон".

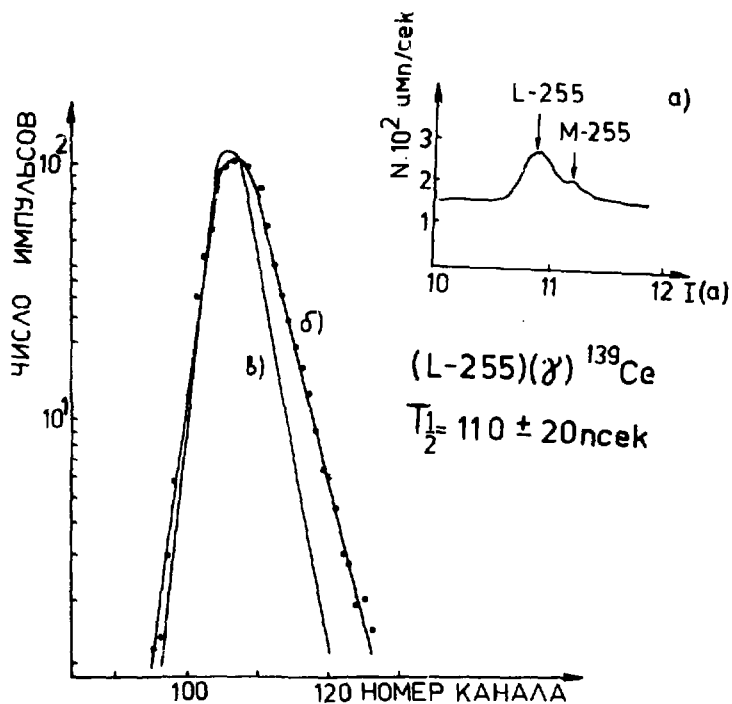


Рис. 6. Спектр временных совпадений $(L 255, \gamma) {}^{139}\text{Pr}$ (б).
 Отдельно показан участок спектра конверсионных электронов с L, M -линиями 255 кэВ (а) и кривая мгновенных совпадений (в).

Схема распада $^{139}\text{Pr} \rightarrow ^{139}\text{Ce}$, которую мы предлагаем на основании изучения γ -лучей, конверсионных электронов, спектров позитронов и γ - γ -совпадений, изображена на рис. 7. Ранее большие затруднения при построении схемы распада были вызваны противоречивостью данных работ [9, 19-22] о соотношении K/β^+ бета-перехода в основное состояние. Знание этого соотношения позволяет рассчитать баланс интенсивностей в схеме распада ^{139}Pr . Так как наиболее интенсивным ($\epsilon + \beta^+$)-переходом ^{139}Pr является переход в основное состояние ^{139}Ce , то даже небольшие изменения соотношения K/β^+ приводят к весьма значительным изменениям вероятностей заселения верхних уровней.

Эту трудность мы обошли, определив вероятности γ -переходов ^{139}Pr в % на распад. Для этого был изучен γ -спектр равновесной смеси изотопов $^{139}\text{Nd} + ^{139}\text{Pr}$. Интенсивность γ -линии 1631 кэВ ^{139}Pr в спектре такой смеси сравнили с интенсивностью самых сильных γ -переходов $^{139\text{m}}\text{Nd}$ и, привлекая результаты работы [5] о вероятностях γ -переходов ^{139}Nd в % на распад, мы получили $I_{\gamma 1631} = 0,073\%$ на один распад. Принимая во внимание I_{β^+}/I_{K255} , мы рассчитали баланс интенсивностей. На схеме (рис. 7) указаны полученные заселенности уровней и величины $\log ft$ соответствующих бета-переходов ^{139}Pr .

Обсудим квантовые характеристики уровней ^{139}Ce . Экстрем и др. [23, 24] методом атомного пучка измерили спины основных состояний ^{139}Pr и ^{139}Ce , оказавшиеся равными $5/2$ и $3/2$. Согласно модели оболочек, для ядер $^{139}\text{Pr}_{80}$ и $^{139}\text{Ce}_{81}$ следует ожидать конфигурации $\pi(g_{7/2})^8 \pi(d_{5/2})^1$ и $\pi(g_{7/2})^8 \nu(d_{3/2})^{-1}$. Бета-распад ^{139}Pr на основное состояние ^{139}Ce связан с превращением $\pi(d_{5/2}) \rightarrow \nu(d_{3/2})$ и имеет разрешенный характер. Величина $\log ft = 5,62 \pm 0,02$ бета-перехода $^{139}\text{Pr} \rightarrow ^{139}\text{Ce}$ согласуется с систематикой свойств бета-переходов данного типа.

Однозначно установлены квантовые характеристики первого возбужденного состояния ^{139}Ce с энергией 255,2 кэВ $1^\pi = 1/2^+$. По модели оболочек этот уровень

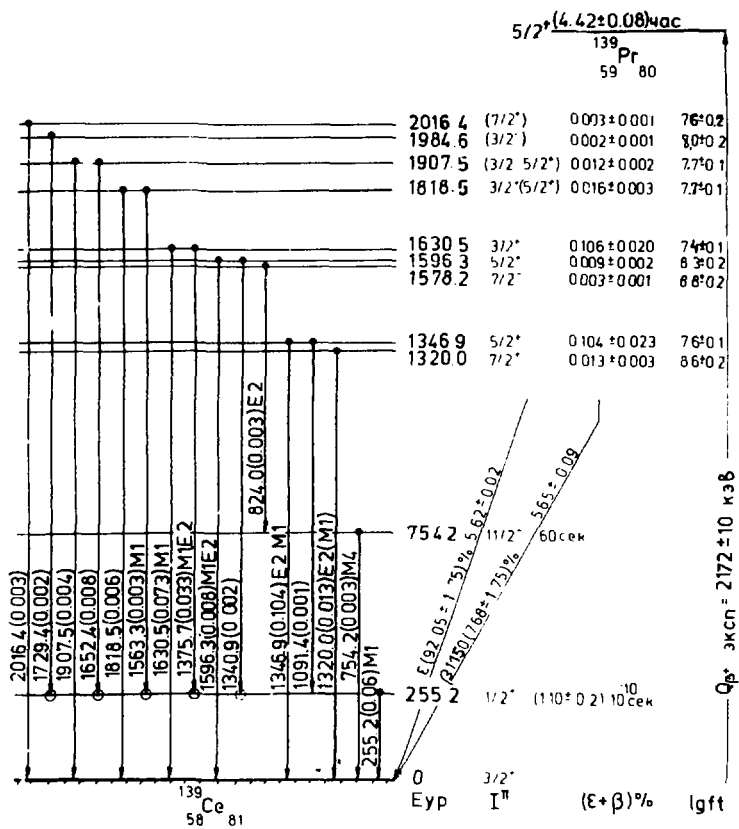


Рис. 7. Схема распада $^{139}\text{Pr} \rightarrow ^{139}\text{Ce}$.

является состоянием $S_{1/2}$. Установленные нами свойства перехода 255,2 кэВ (фактор запрета $F_3(M1) = 63 \pm 13$; квадрат матричного элемента $\eta^2 = 0,167$) характерны для ℓ -запрещенных переходов $S_{1/2} \rightarrow d_{3/2}^{25/}$.

До наших опытов отрицалось^{/6-8/}, что при распаде ^{139}Pr ($5/2^+$) возбуждается изомерный уровень ^{139}Ce с $I^\pi = 11/2^-$. Такой уровень ^{139}Ce был возбужден в некоторых ядерных реакциях. Согласно^{/26/}, энергия уровня $754,4 \pm 0,7$ кэВ, а период полураспада равен 60 с. Нами обнаружен в γ -спектре ^{139}Pr переход с близкой энергией. Из разности $E_\gamma - E_{eK}$ установлено, что переход происходит в ядре Ce ($Z = 58$). Определена его мультипольность ($M4$). На основании этих аргументов мы считаем, что обнаруженный γ -переход высвечивает изомерное состояние ^{139}Ce с $E = 754,2$ кэВ. Из-за большой разности в спинах ($\Delta I = 3, \Delta\pi = ga$) этот уровень не может заселяться непосредственно β -распадом. В спектре γ -лучей и конверсионных электронов обнаружен γ -переход 824,0 кэВ ($E2$), полная интенсивность которого равна интенсивности перехода 754,2 кэВ. Учитывая этот факт, мы вводим новый уровень 1578,2 кэВ и приписываем ему характеристики $I^\pi = 7/2^-$.

Некоторые уровни ^{139}Ce были идентифицированы Яги и др.^{/11/}, изучавшими энергетическое и угловое распределение дейтонов в реакции $^{140}\text{Ce}(p,d)$. Большие величины спектроскопического фактора возбуждения отдельных уровней позволили авторам^{/11/} установить их одночастичную природу: $d_{3/2}$ (0 МэВ), $S_{1/2}$ (0,25 МэВ), $h_{11/2}$ (0,75 МэВ), $d_{5/2}$ (1,58 МэВ), $g_{7/2}$ (2,81 МэВ). Возможно, что указанному состоянию $d_{5/2}$ (1,58 МэВ) соответствует наблюдаемый нами в распаде ^{139}Pr уровень 1596,3 кэВ.

Хайд и др.^{/27/} выполнили расчеты свойств уровней $^{139}_{58}\text{Ce}_{81}$ в обобщенной модели с промежуточной связью. Энергия фононных возбуждений остова, сила связи фононов с одночастичным движением, а также энергии одночастичных состояний нейтронной "дырки" рассматривались как свободные параметры и определялись по

экспериментальным данным процедурой подгонки по методу наименьших квадратов. В качестве остова принято ядро $^{140}_{58}\text{Ce}_{82}$ (энергия фонона 2^+ равна 1596 кэВ). "Дырка" может занимать состояния $2d_{3/2}$, $3S_{1/2}$, $h_{11/2}$, $1g_{7/2}$ и $2d_{5/2}$. Хайдом и др./27/ приведен полученный для ^{139}Ce энергетический спектр возбуждений, вероятности M1- и E2-переходов, величина магнитного дипольного момента основного состояния, время жизни изомера $11/2^-$, а также спектроскопические факторы для реакции $^{140}\text{Ce}(^3\text{He}, \alpha)^{139}\text{Ce}$. На рис. 8 сравнивается спектр уровня ^{139}Ce , установленный в наших опытах, и рассчитанный по Хайду и др./27/. Можно отметить, что экспериментально установленный спектр неплохо воспроизводится моделью. Уровни 0, $3/2^+$, 255,2, $1/2^+$ и 754,2 кэВ, $11/2^-$, несомненно, являются одночастичными типа $d_{3/2}$, $S_{1/2}$ и $h_{11/2}$. Моделью Хайда правильно предсказывается магнитный момент основного состояния ($\mu_{\text{экс.}} = 0,85$, $\mu_{\text{теор.}} = 0,87$ при $g_S^{(n)} = -2,686$) и период полураспада изомера $h_{11/2}$ ($T_{1/2} = 40$ с).

Как видно из рис. 7, большинство уровней ^{139}Ce с $E^* \geq 1,32$ МэВ высвечивается γ -переходами на основное ($3/2^+$) и первое возбужденное состояние ($1/2^+$). В работе Хайда и др./27/ рассчитаны соотношения интенсивностей таких переходов. Поэтому в табл. 4 мы приводим сравнение экспериментальных отношений интенсивностей с расчетными по Хайду/27/ и одночастичными вероятностями γ -переходов. Для уровня 1907 кэВ величина $R_{\text{экс.}} = 0,45 \pm 0,06$ согласуется со значением

Хайда, в то же время наблюдается значительное расхождение между экспериментом и расчетом Хайда для вероятности γ -переходов, высвечивающих уровень 1596 кэВ. Провести сравнение значений Хайда с экспериментальными отношениями для остальных уровней нельзя, так как уровни имеют характеристики, отличающиеся от принятых в расчетах. Для таких состояний проведено сравнение с отношениями вероятностей переходов, рассчитанных по формуле Вайскопфа-Мошковского. При соответствующем подборе типов мультипольностей можно

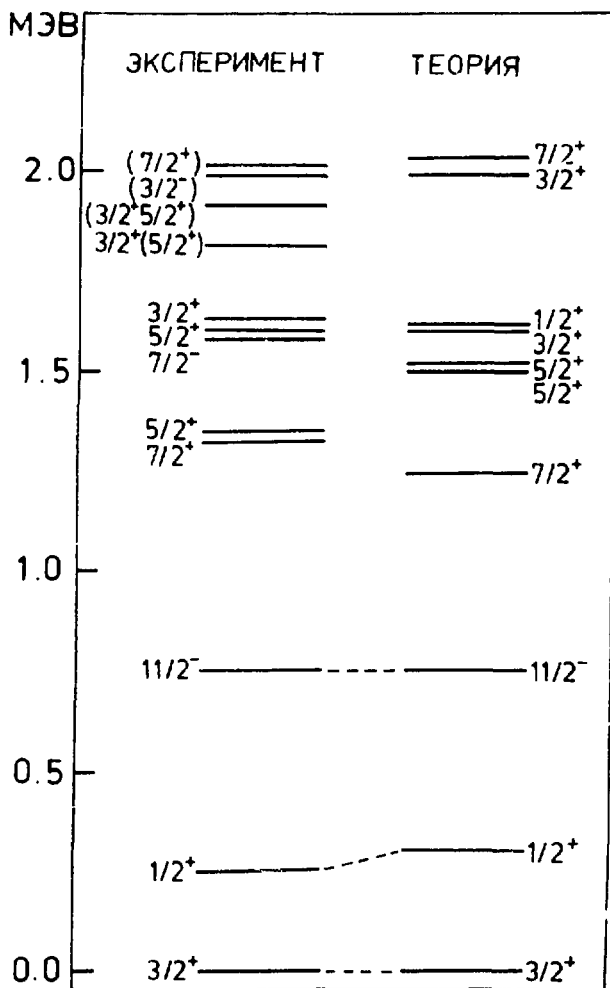


Рис. 8. Сопоставление энергетического спектра $^{139}\text{Ce}_{27}^{+}$ известного из эксперимента, с расчетным по Хайду $^{139}\text{Ce}_{27}^{+}$.

Таблица 4. Сравнение вероятностей M1 и E2-переходов ^{139}Ce с "одночастичными" вероятностями и вероятностями, рассчитанными Хайдом /27/

Уровень, кэВ	Энергия перехода, кэВ	$I_i^{\pi} \rightarrow I_f^{\pi}$	$P(\alpha I \rightarrow 3/2^+) / P(\alpha I \rightarrow 1/2^+)$		
			Вайскопф-Московский	Хайд /27/	Эксперимент
1320,0	1320,0 1064,8	$(7/2^+) \rightarrow 3/2^+$ $(7/2^+) \rightarrow 1/2^+$	$2,3 \cdot 10^6$	-	$\geq 17,5$
1346,9	1346,9 1091,4	$5/2^+ \rightarrow 3/2^+$ $5/2^+ \rightarrow 1/2^+$	(M1/E2) ^{a)} (E2/E2) 2,9	383 2,9	- 77 ± 15
1596,3	1596,3 1340,9	$5/2^+ \rightarrow 3/2^+$ $5/2^+ \rightarrow 1/2^+$	(M1/E2) (E2/E2) 2,4	228 34 0,43	3,65 ± 1,10
1630,5	1630,5 1375,7	$3/2^+ \rightarrow 3/2^+$ $3/2^+ \rightarrow 1/2^+$	(M1/M1) (M1/E2) 214	1,67 -	2,20 ± 0,20
1818,5	1818,5 1563,5	$(3/2^+) \rightarrow 3/2^+$ $(3/2^+) \rightarrow 1/2^+$	(M1/M1) (E2/E2) 2,13 δ)	1,57 -	0,64 ± 0,15
1907,5	1907,5 1652,4	$(3/2^+) \rightarrow 3/2^+$ $(3/2^+) \rightarrow 1/2^+$	(M1/M1) (E2/E2) 2,08 δ)	1,54 0,33	0,45 ± 0,06
2016,4	2016,4 1761,2	$(7/2^+) \rightarrow 3/2^+$ $(7/2^+) \rightarrow 1/2^+$	$5,7 \cdot 10^5$	-	$\geq 12,5$

a) Запись типа M1/E2 обозначает, что отношение интенсивностей вычислено при мультипольности M1-перехода в основное состояние и мультипольности E2-перехода на первый возбужденный уровень

b) Для отношения интенсивностей переходов с мультипольностями (M1/E2) или (E2/M1) получается величина, отличающаяся от экспериментального отношения на два порядка.

получить согласие между расчетными и экспериментальными вероятностями.

В модели Хайда и др.^{/2./} не удалось правильно рассчитать вероятность ℓ -запрещенного перехода $S_{1/2} \rightarrow d_{3/2}$: $\lambda_{\text{экс.}} = 6,3 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$, $\lambda_{\text{теор.}} = 1,3 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$.

Уровней отрицательной четности, кроме состояния $h_{11/2}$, в модели не предусматривалось.

Для интерпретации состояний отрицательной четности 1578 и 1984 кэВ сравним свойства ядер-изотонов ^{139}Ce и ^{137}Ba . Уровни одинаковой прирсыды в этих ядрах имеют близкие энергии. В ^{137}Ba Фулмер и др.^{/10/} из энергетического и углового распределений протонов в реакции $^{136}\text{Ba}(d, p)$ установили характеристики уровня 1,80 МэВ, $7/2^-$ и рассматривают его как одночастичное состояние $f_{7/2}$. Обнаруженный нами в ^{139}Ce уровень $7/2^-$ имеет близкую энергию.

Уровни ^{139}Ce с энергией ≥ 2 МэВ изучались Грошевым и др.^{/28/} при захвате тепловых нейтронов ядрами ^{138}Ce . Авторы предполагают, что при распаде образовавшегося после захвата нейтрона состояния ($1\pi = 1/2^+$, $V_n = 7456 \pm 27$ кэВ) самые интенсивные переходы 5476 и 4938 кэВ заселяют нейтронные уровни, соответственно, $p_{3/2}$ (1980 ± 30 кэВ) и $p_{1/2}$ (2520 ± 30 кэВ). Также наблюдался слабый переход 5540 кэВ на состояние с энергией 1916 ± 30 кэВ.

Мы считаем, что наблюдаемый в (n, γ) -реакции уровень 1980 ± 30 кэВ идентичен уровню 1984 кэВ, установленному из распада ^{139}Pr . Состояние 1984 кэВ разряжается лишь на уровень $S_{1/2}$. Такой же способ разрядки имеет аналогичный уровень 2179 кэВ, $p_{3/2}$ в ^{137}Ba , с которого, согласно ^{/28/}, происходит интенсивный переход на состояние $S_{1/2}$ и не наблюдается перехода в основное состояние ($d_{3/2}$).

Состояние 2016,4 кэВ ($7/2^+$) рассматривается в расчетах Хайда^{/27/} как одночастичное типа $g_{7/2}$. Такое рассмотрение находится в противоречии с результатами изучения реакции $^{140}\text{Ce}(p, d)$ ^{/11/}. Согласно Яги и др.^{/11/}, уровень $g_{7/2}$ проявляется в ^{139}Ce при энергии 2,81 МэВ.

По-видимому, для объяснения некоторых уровней ^{139}Ce следует принять во внимание, кроме рассмотренного Хэйдом фононного (2^+) возбуждения остова, другие типы коллективного движения (например, в ^{140}Ce вблизи фонона 2^+ , 1596 кэВ, имеются состояния 0^+ , 1903 кэВ и 4^+ , 2084 кэВ).

Рис. 9. ^{139}Ce

Известно [25], что при распаде ^{138}Ce ($T_{1/2} = 140$ дн) в 100% случаев происходит заселение уровня ^{139}La с энергией 165 кэВ ($I^\pi = 5/2^+$). Рядом авторов [30-36] измерялась энергия распада (Q_β) ^{138}Ce . Однако результаты этих работ довольно значительно различаются. Поэтому мы попытались провести новые измерения энергии Q_β , используя хорошо отградуированный по эффективности спектрометр рентгеновских лучей. Ge(Li) -детектор объемом $0,5 \text{ см}^3$ имел разрешение около 650 эВ на γ -линии с $E_\gamma = 26$ кэВ. Сопоставляя интенсивности γ -лучей 165 кэВ и K_α и K_β -рентгеновского излучения, с учетом теоретических величин $a_{K_\alpha, K_\beta}^{L, M}$ (M1) для перехода 165 кэВ и выхода флуоресценции $a_{K_\alpha, K_\beta}^{L, M}$ ($Z=57$), получаем $P_{K_\alpha, K_\beta}/\epsilon = 0,68 \pm 0,04$. Используя теоретическую зависимость величины P_{K_α, K_β} от энергии Q_β (рис. 9) и энергию бета-перехода ^{138}Ce на уровень 165 кэВ, находим $Q_\beta = 92_{-9}^{+10}$ кэВ. Эта величина находится в согласии с результатами [31, 33, 34]. Бета-переход $^{138}\text{Ce} \rightarrow ^{139}\text{La}(d_{3/2})$ характеризуется величиной $\log ft = 5,3 \pm 0,1$.

Авторы сердечно благодарят Н.А.Лебедева за тщательное выполнение работы по изготовлению источников, К.Я.Громова и Р.В.Джолоса за полезные обсуждения. Благодарим В.М.Горожанкина за существенную помощь в работе, Я.Полаховой и Н.Н.Тихомировой авторы благодарны за помощь в оформлении публикации.

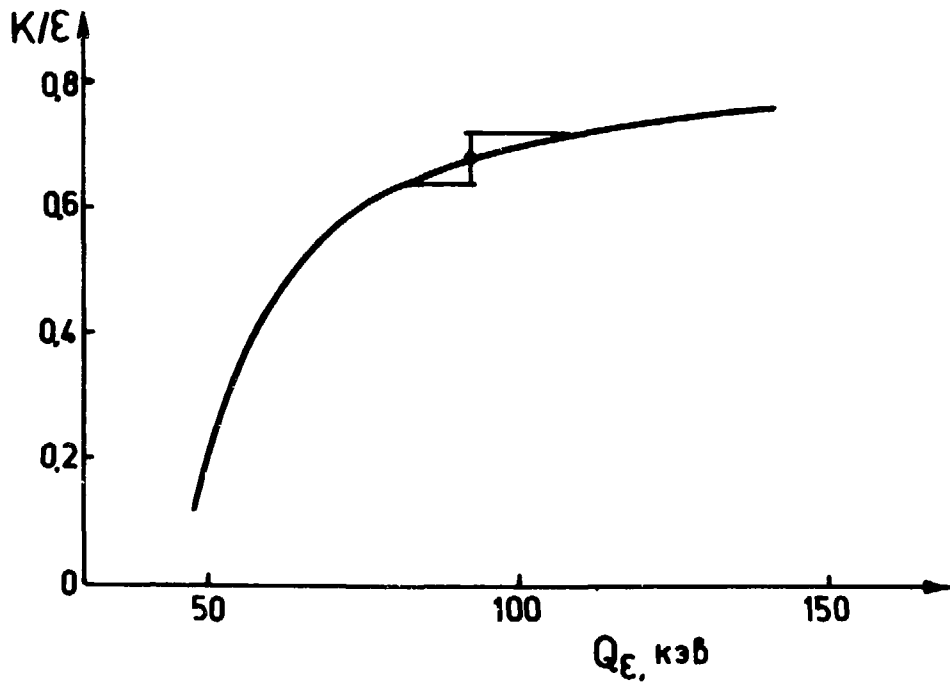


Рис. 9. К определению энергии распада ^{139}Ce .

Литература

1. К.Я.Громов, А.С.Данагулян, Л.Н.Никитюк, В.В.Муравьева, А.А.Сорокин, М.Э.Шталь, В.С.Шпинель. ЖЭТФ 47, 1645 (1964).
2. J.Gilat, W.J.Treatl. Nucl. Chem. Ann. Rep., 1966, UCRL 17299, p. 20.
3. D.V.Beery, W.H.Kelly, Wm.C.McHarris. Phys. Rev., 188, 1851 (1969).
4. K.Hesse. Z.Physik. 226, 328 (1969).
5. В.С.Бутцев, Ц.Вылов, В.Г.Каливников, Н.А.Тихонов, Э.Херрманн. Изв. АН СССР, сер. физ. 35, 1618 (1971).
6. J.D.King, N.Neft and H.W.Taylor. Nucl.Phys. A99, 433 (1967).
7. D.De Frenne, J.Demuynck, K.Heyde, E.Jacobs, H.Dorikens, L.Dorikens-Vanpraet. Nucl.Phys. A106, 350 (1968).
8. D.V.Beery and W.H.Kelly. Wm.C.McHarris. Phys.Rev., 186, 1875 (1969).
9. Е.П.Бирюков, В.Т.Новиков, И.С.Шиманская. Изв. АН СССР, сер. физ., 27, 1408 (1963).
10. R.H.Fulmer, A.L.McCarthy and B.L.Cohen. Phys.Rev., 128, 1302 (1962).
11. K.Yagi, T.Jshimatu, Y.Ishizaki and Y.Saji. Nucl. Phys., A121, 161 (1968).
12. G.Brüge, A.Chaumeaux, Ha Duc Long and J.Picard. Contr. Int. Conference on Properties of Nucl.States. Montreal, 1969, p.270.
13. В.П.Афанасьев, А.Т.Василенко, И.И.Громова, Ж.Т.Желев, В.В.Кузнецов, М.Я.Кузнецова, Д.Мончка, Ю.Поморски, В.И.Райко, А.В.Ревенко, В.М.Сороко, В.А.Уткин. Сообщение ОИЯИ, 13-4763, Дубна (1969).
14. М.Гасиор, К.Я.Громов, В.В.Кузнецов, Г.И.Лизурей, А.В.Потемня, Е.Дец, Е.Корецки, Е.Стажевски, П.Яницки. ОИЯИ Д6-7094, Дубна, 1973, стр. 167.

15. Б.С.Джелелов, Д.А.Енчев, Ж.Т.Желев. Прогр. и тезисы докладов XIII совещания по ядерной спектроскопии. Киев, М-Л. Изд. АН СССР (1963).
16. Е.Береги, Ц.Вылов, Й.Крапикова, Ли Чен Сон, Б.П.Осипенко, Л.А.Пермякова, В.Т.Тишин. Сообщение ОИЯИ P13-6830, Дубна (1972).
17. В.С.Александров, Ф.Дуда, О.И.Елизаров, Г.П.Жуков, Г.И.Забиякин, З.Зайдлер, И.Звольски, Е.Т.Кондрат, З.В.Лысенко, В.И.Приходько, В.Г.Тишин, В.И.Фоминных. Изв. АН СССР, сер. физ. 34, №1, 68 (1970).
18. В.А.Морозов, Т.М.Муминов. ПТЭ 2, 53 (1970).
19. B.Stover. Phys.Rev., 81, 8 (1951).
20. G.Danly, J.Foster, A.Thompson. Can.J.of Phys., 36, 1487 (1958).
21. Y.Carver, W.Tuchinetz. Proc.Phys.Soc., 73, 110 (1969).
22. O.Borello, S.Costa, F.Ferrero. Nucl.Phys., 27, 25 (1961).
23. C.Exstrom, S.Engelman, M.Olsmats and B.Wannreng. Nucl.Phys., A196, 178 (1972).
24. S.Engelman, C.Exstrom, M.Olsmats and B.Wannberg. Physica Scripta Vol. 7, 24-30 (1973).
25. Э.Е.Берлович, Г.М.Букат. Изв. АН СССР, сер.физ., 28, 214 (1964).
26. G.Jansen, H.Morinaga and C.Signorini. Nucl. Phys., A129, 247 (1969).
27. K.Heyde and G.Vanden Berghe. Nucl.Phys., A126, 38 (1969).
28. Л.В.Грошев, В.Н.Дворецкий, А.М.Демидов, М.С.Альваш. Ядерная физика, 10, 4, 681 (1969).
29. С.М.Lederer, J.H.Hollander, I.Perman. Table of Isotopes Sixth Ed. John Willey., New-York (1967).
30. B.Kettelle, H.Thomas and A.Brosi. Phys. Rev., 103, 190 (1956).
31. A.Marelius, P.Sparrman and S.E.Hagglund. Nucl.Phys., A95, 632 (1967).

32. B.Adamovicz, Z.Moroz, Z.Preibisz and A.Zglinski. Acta Physica Polonica 34, 529 (1968).
33. E.Vatai and K.Hohmuth. Proc. of the Conf. on the Electron Capture and Higher Order Processes in Nuclear Decays. Debrecen, 1968, Vol. 1, p. 88.
34. W.D.Schmidt-Ott, R.W.Fink. Z.F.Physik 249, 286 (1972).

Рукопись поступила в издательский отдел
21 мая, 1975 года.